

WERKSTATTBÜCHER
HERAUSGEBER H.HAAKE

HEFT 45

R.HINZMANN

**NICHTEISEN-
METALLE**

I. TEIL
ZWEITE AUFLAGE



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. H. HAAKE VDI

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen
Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)
Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

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.

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 4. Aufl. Von H. Herbers	7
Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles. 4. Aufl. Von P. Klostermann	8
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. Von F. Spitzer	9
Furniere — Sperrholz — Schichtholz I. Von J. Bittner	76
Furniere — Sperrholz — Schichtholz II. Von L. Klotz	77

II. Spangebende Formung

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselräderberechnung für Drehbänke. 4. Aufl. Von G. Knappe	4
Bohren. 2. Aufl. Von J. Dinnebier und H. J. Stoewer	15
Senken und Reiben. 2. Aufl. Von J. Dinnebier	16
Räumen. Von L. Knoll	26
Außenräumen. Von A. Schatz	80
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 2. Aufl. Von P. Zieting und E. Brödner	22
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindig- keiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung von Einspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	81
Die wirtschaftliche Verwendung von Mehrspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	71
Werkzeugeinrichtungen auf Einspindelautomaten. Von F. Petzoldt	83
Maschinen und Werkzeuge für die spangebende Holzbearbeitung. Von H. Wichmann	78

(Fortsetzung 3. Umschlagseite)

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACH-
ARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. H. HAAKE VDI

HEFT 45

Nichteisenmetalle

Von

Dr.-Ing. R. Hinzmann

Berlin

Erster Teil

Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß

Zweite, verbesserte Auflage

(6.—11. Tausend)

Mit 54 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1941

ISBN 978-3-662-37155-8 ISBN 978-3-662-37870-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-37870-0

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
I. Kupfer.	
A. Handelskupfer	3
1. Gewinnung und Herstellung	3
a) Rohkupfer S. 3. — b) Feinkupfer S. 4.	
2. Gefügebau und Gefügeveränderung	5
a) Gußgefüge S. 5. — b) Rekristallisationsgefüge S. 5. — c) Reckgefüge S. 6.	
3. Verarbeitung	6
a) Gießen S. 6. — b) Warm- und Kaltkneten S. 7. — c) Schnittbearbeitung S. 10. — d) Löten und Schweißen S. 10.	
4. Physikalische Eigenschaften	11
a) Thermische Eigenschaften S. 11. — b) Elektrische Eigenschaften S. 12. — c) Mechanische Eigenschaften S. 13.	
5. Chemische Eigenschaften	16
B. Kupfer und seine Hauptbeimengungen	16
II. Messing.	
A. Handelsübliches Messing	19
1. Bezeichnung und Zusammensetzung	19
a) Allgemeines S. 19. — b) Cu-Zn-Zustandsschaubild S. 20. — c) Gußlegierungen S. 22. — d) Knetlegierungen S. 25.	
2. Herstellung und Verarbeitung	25
a) Schmelzen und Gießen S. 25. — b) Warm- und Kaltkneten S. 27. — c) Schnittbearbeitung S. 35. — d) Löten und Schweißen S. 36. — e) Oberflächenbehandlung S. 36.	
3. Physikalische Eigenschaften	37
a) Thermische Eigenschaften S. 37. — b) Elektrische Eigenschaften S. 37. — c) Mechanische Eigenschaften S. 38.	
4. Chemische Eigenschaften	40
B. Sondermessing	41
1. Allgemeines	41
2. Herstellung und Verarbeitung	41
a) Einfluß der Zusätze S. 41. — b) Verarbeitung und Verwendung S. 43.	
3. Physikalische Eigenschaften	43
a) Thermische Eigenschaften S. 43. — b) Elektrische Eigenschaften S. 43. — c) Mechanische Eigenschaften S. 43.	
4. Chemische Eigenschaften	44
III. Bronze.	
A. Zinnbronze	44
1. Allgemeines	44
2. Herstellung und Eigenschaften	46
a) Cu-Sn-Zustandsschaubild S. 46. — b) Gußlegierungen S. 47. — c) Knetlegierungen S. 49.	
B. Sonderbronze	50
1. Allgemeines	50
2. Verschiedene Sonderbronzen	51
a) Aluminiumbronze S. 51. — b) Berylliumbronze S. 51. — c) Bleibronze S. 51. — d) Leitungsbronze S. 55. — e) Manganbronze S. 56. — f) Nickelbronze S. 57. — g) Sonderzinnbronze S. 57.	
IV. Rotguß.	
1. Allgemeines	60
2. Herstellung Verarbeitung	60
a) Schmelzen S. 60. — b) Gießen S. 61.	
3. Physikalische Eigenschaften und Verwendung	61

Vorwort.

Die Nichteisenmetalle Kupfer, Messing, Bronze und Rotguß bestehen hauptsächlich aus den Grundmetallen Kupfer, Zinn, Zink und Blei, von denen Kupfer und besonders Zinn in Deutschland nicht in genügender Menge vorhanden sind. Hieraus ergibt sich die Forderung, diese Werkstoffe nur da zu verwenden, wo sie ihrer besonderen Eigenschaften wegen technisch notwendig und noch nicht durch gleichwertige Austauschwerkstoffe zu ersetzen sind. Für diese Fälle behalten diese Nichteisenmetalle nach wie vor ihre Bedeutung bei. Es gibt jedoch zahllose Fälle, in denen sie weder aus technischen noch aus wirtschaftlichen Gründen, sondern lediglich aus Gewohnheit, wenn nicht sogar aus Gedankenlosigkeit umfangreiche Verwendung gefunden haben. Um nur ein Beispiel herauszugreifen, sei auf die Beschlagteile hingewiesen. Wenn auch durch behördliche Vorschriften bereits eine weitgehende, planmäßige Verbrauchslenkung vorgenommen worden ist, wird zweifellos auch in Zukunft eigene Überlegung bei der Wahl neuer, geeigneter Werkstoffe an Stelle der üblichen Nichteisenmetalle zu Lösungen führen, die eine technische Bereicherung bedeuten.

I. Kupfer.

A. Handelskupfer.

Im Metallhandel gibt es aus deutschen und ausländischen Hütten eine große Zahl von Kupfermarken, deren Verwendungszweck und Eignung sich nach den Hauptmerkmalen richtet, die sie durch ihre Herkunft und Herstellungsart erhalten

1. Gewinnung und Herstellung.

a) **Rohkupfer.** In der Natur ist Kupfer ein ziemlich verbreitetes Metall und kommt vor:

Als gediegenes Kupfer. In größeren abbaulohnenden Mengen wird es nur am Oberen See im Staate Michigan (Nordamerika) gefunden.

Als Sulfidkupfererze. Hiervon sind zu nennen: Kupferkies (CuFeS_2), Kupferglanz (Cu_2S), Buntkupferkies (Cu_3FeS_3), Fahlerz und viele andere sulfidische Kupfererze. Die Hauptfundorte dieser Erze sind in Amerika (Montana, Nevada, Kalifornien, Chile), Australien und Rußland gelegen. In Deutschland gibt es beschränkte Kupfervorkommen bei Mansfeld, im Unterharz, im Rheinland, in Hessen-Nassau und in Schlesien.

Als Oxydkupfererze. Diese werden als Rotkupfererz (Cu_2O) und Malachit [$(\text{CuCO}_3) + \text{Cu}(\text{OH})_2$] in Amerika, Australien, Afrika (Katanga) und im Ural gefunden.

Aus allen diesen Erzen wird durch Lauge- und Schmelzverfahren, die je nach der Art der Rohprodukte sehr verschieden sein können, das Rohkupfer gewonnen. Zunächst werden im allgemeinen die Erze im Röstverfahren auf Kupferstein mit 20...80% Kupfer, 10...40% Eisen und 18...24% Schwefel verarbeitet und anschließend reduzierend im Hoch- oder Flammofen auf Rohkupfer zu folgenden Produkten erschmolzen: Hüttenkupfer, Blasenkupfer (Blistercopper), Konverterkupfer, Schwarzkupfer und Zementkupfer.

Altkupfer kann, sofern es für die Raffination in Frage kommt, wie Rohkupfer aufgearbeitet werden. Im Handel haben sich bestimmte Sorten, wie Altelektrolyt,

Schwerkupfer, Kupferspäne und Schichtkupfer herausgebildet, die bestimmten Vereinbarungen unterworfen sind und dementsprechend bewertet werden.

b) Feinkupfer. Die vorgenannten Rohprodukte enthalten noch so viel Verunreinigungen, daß nunmehr die Verarbeitung zum gebrauchsfähigen Feinkupfer durch den Raffinationsprozeß einsetzt. Die Verunreinigungen, die einen schädlichen Einfluß auf die Verarbeitbarkeit und auf die physikalischen Eigenschaften des Kupfers ausüben können, werden durch die Raffination im Schmelzfluß (im Flammofen) oder durch Elektrolyse entfernt.

Die Raffination im Schmelzfluß besteht in einem oxydierenden Schmelzen, bei dem die Verunreinigungen je nach ihrem Verhalten bei höherer Temperatur in Anwesenheit von Sauerstoff in Gasform übergeführt werden und sich aus dem Bade verflüchtigen oder in oxydische Schlacken verwandelt werden, die infolge ihres niedrigen spezifischen Gewichtes an die Badoberfläche steigen und dort leicht abgezogen werden können. Der überschüssige Sauerstoff, der sich bis zu 7% als Kupferoxydul (Cu_2O) im Kupfer befindet, wird dann durch das sogenannte „Polen“ bis auf geringe Restmengen (0,35...0,9% Cu_2O) entfernt. Hierzu werden Stämme frischen (grünen) Holzes in das Bad getaucht, das durch das heftige Entweichen der Feuchtigkeit und der Destillationsprodukte des Holzes kräftig bewegt wird.

Die Raffination durch Elektrolyse geschieht derart, daß das in Plattenform gegossene Rohkupfer als Anode in ein Schwefelsäure-Kupfersulfatbad gehängt wird. Als Kathoden dienen dünne Kupferbleche. Beim Hindurchleiten eines elektrischen Stromes löst sich die Anode auf, und das reine Kupfer schlägt sich an der Kathode nieder. Die Verunreinigungen, wie Nickel, Kobalt, Zink, Eisen und Arsen, bleiben in Lösung und werden von Zeit zu Zeit aus dem Elektrolyten entfernt, oder andere, wie die Edelmetalle, Wismut und Antimon, bleiben ungelöst und bilden einen Teil des Anodenschlammes. Die so gewonnenen Kathoden sind im allgemeinen für unmittlere, mechanische Verarbeitung noch nicht brauchbar, sondern werden erst mittels raffinierender Schmelzens zu Drahtknüppeln, Blechplatten und Blöckchen umgeschmolzen.

Die handelsüblichen Kupfermarken, die für die Weiterverarbeitung unmittelbar Verwendung finden, sind in DIN 1708 genormt worden und unterliegen folgender Einteilung:

Hüttenkupfer A (Kurzzeichen: A-Cu) mit einem Mindestkupfergehalt von 99% kann arsen- und nickelhaltig sein und wird für Feuerbüchsen und Stehbolzen verwendet.

Hüttenkupfer B (B-Cu) muß im Gegensatz zur Qualität A arsenarm sein und einen Mindestkupfergehalt von 99% aufweisen. Es wird in Legierungen für Gußzeugnisse und in Legierungen unter 60% Kupfergehalt für Walz-, Preß- und Schmiedeerzeugnisse verwendet.

Hüttenkupfer C (C-Cu) zeigt einen Mindestkupfergehalt von 99,4% und wird für Kupferrohre und Kupferbleche (Baubleche) gebraucht.

Hüttenkupfer D (D-Cu) dient mit einem Mindestkupfergehalt von 99,6% als Einsatzmaterial in Legierungen über 60% Kupfergehalt für Walz-, Preß- und Schmiedeerzeugnisse.

Kupfer E (E-Cu) für elektrische Leitungen und hochwertige Legierungen ist Elektrolytkupfer sowie jedes andere Kupfer, das den Bedingungen für die elektrische Leitfähigkeit nach VDE 0201/1934 (S. 12) entspricht, wie z. B. umgeschmolzene und raffinierte Elektrolytkupferabfälle sowie Hekla-Kupfer und Rhodesia-Kupfer.

Die üblichen Lieferformen für diese Kupfermarken sind Drahtknüppel (wire

bars) für Drahtherstellung in Gewichten von 60···250 kg, Platten (cakes) für Blechherstellung im Gewicht von 60···3000 kg, Gußblöckchen im Gewicht von 9···10 kg, Barren im Gewicht von 30···50 kg, Anoden- und Kathodenbleche.

2. Gefügebau und Gefügeveränderung.

a) Gußgefüge. Das reine Kupfer, das aus dem Schmelzfluß erstarrt ist, besteht aus einem Haufwerk unregelmäßig nebeneinander gelagerter Kupferkristalle (Kristallite), die kristallographisch dem regulären oder kubischen System angehören. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kristallachsen gleich lang sind und sich unter rechten Winkeln halbieren. In Abb. 1 ist ein Gußgefüge im Schliffbild dargestellt, in dem die einzelnen Kristallite durch ihren Farbunterschied infolge ihrer verschiedenartigen Orientierung deutlich zu erkennen sind. Durch eine reine Glühbehandlung des Kupfergusses wird die Art des Kristallgefüges nicht beeinflusst.

b) Rekristallisationsgefüge. Die Warmverarbeitung von gegossenem Kupfer oberhalb einer bestimmten Temperatur, also das Walzen, Ziehen, Pressen oder Schmieden von Gußplatten und -barren zu Blechen, Stangen oder



Abb. 1. Kupfer-Gußgefüge.



Abb. 2. Kupfer-Rekristallisationsgefüge.

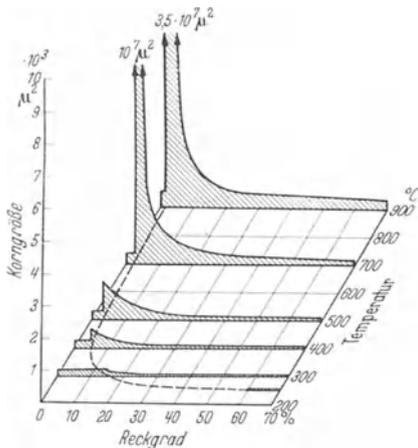


Abb. 3. Rekristallisationsschaubild von Kupfer (HANEMANN-LUCKE).

Drähten in warmem Zustand bringt ein Gefüge nach Abb. 2 hervor. Die einzelnen Kristallite sind hier von mehr oder weniger breiten, parallel verlaufenden Streifen durchzogen, die als Zwillinge bezeichnet werden. Derartiges Gefüge ist durch Rekristallisation¹ entstanden, die einer ganz bestimmten Gesetzmäßigkeit untersteht. In Abb. 3 ist das Rekristallisationsschaubild für Kupfer dar-

¹ Rekristallisation ist die Rückbildung von durch Warm- oder Kaltreckung verformten Kristallen, die bei einer ganz bestimmten Temperatur — der Rekristallisationstemperatur — vor sich geht. Bei dieser Rekristallisationstemperatur — gestrichelte Linie auf der Reckgrad-Temperatur-Fläche der Abb. 3 — stellt sich bei einem bestimmten Reckgrad eine ganz bestimmte Korngröße ein, und zwar ist diese um so größer, je geringer, und um so kleiner, je stärker der Reckgrad war. Unterhalb eines gewissen, geringen Reckgrades, des Schwellenwertes, und unterhalb der Rekristallisationstemperatur findet keine Rekristallisation und damit auch keine Korngrößenveränderung statt.

gestellt, das den Zusammenhang zwischen Reckgrad, Temperatur und erreichter Korngröße aufzeigt. Der Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeit kommt große praktische Bedeutung zu, da man es dadurch in der Hand hat, zwangsläufig eine gewünschte Korngröße in dem Enderzeugnis hervorrufen zu können. Das Rekristallisationsschaubild hat nicht nur Gültigkeit bei der Warmverformung des Kupfers, sondern gilt auch in gleicher Weise für Material, das zuerst kalt gereckt und dann nachfolgend gegläht worden ist.

Für kalt gerecktes Kupfer ist die Rekristallisationstemperatur außerdem noch diejenige Grenze, bei der die Merkmale des Reckgefüges verschwinden und sich das normale Gefüge nach Abb. 2 wieder einstellt.

c) **Reckgefüge.** Mit der Kaltbearbeitung des Kupfers geht neben der Erhöhung der Festigkeitseigenschaften eine Veränderung des Gefügebauaufbaues vor sich. Im geglähten und rekristallisierten Gefüge besitzen die Kristallkörner keine bevorzugte Streckrichtung, sie sind regellos angeordnet. Bei der Kaltreckung strecken

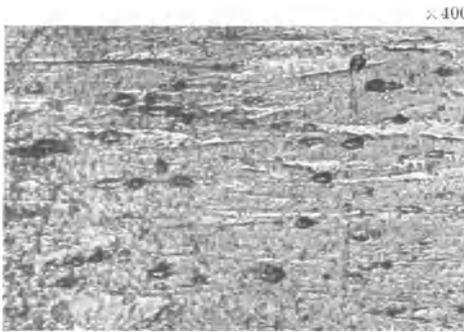


Abb. 4. Kupfer-Reckgefüge.

sich die Kristallite in der Streckrichtung, die zwar bei schwachen Verformungsgraden noch nicht recht erkennbar ist, bei starken und stärksten Reckungen aber deutlich in Erscheinung tritt. Abb. 4 zeigt das Gefüge eines hart gezogenen Kupferdrahtes. Hierin sind die einzelnen Kristallkörner kaum noch voneinander zu unterscheiden, das Gefüge bildet vielmehr eine scheinbar homogene (gleichmäßige), strukturlose Grundmasse.

Die Gefügemerkmale der Kaltreckung: Streckung der Kristallite und Gleitlinienbildung, werden wieder rückgängig gemacht durch eine nachfolgende Glühung, die die Temperatur der Rekristallisationskurve in Abb. 3 erreicht bzw. sie überschreitet. Das Gefügebild entspricht dann wieder dem nach Abb. 2 im rekristallisierten Werkstoff.

3. Verarbeitung.

a) **Gießen.** Kupfer kann in Sandformen vergossen werden, doch treten hierbei nicht unerhebliche Schwierigkeiten auf; sie entstehen durch starke Sauerstoffaufnahme des flüssigen Metalles und durch das Entweichen von Gasen bei der Erstarrung, wodurch poröse Gußstücke anfallen. Zum Niederschmelzen des Metalles werden Flammöfen und hauptsächlich mit Koks gefeuerte Tiegelöfen genommen, die mit Graphittiegeln besetzt werden. Um die Ofengase von der Schmelze fernzuhalten und eine zu starke Sauerstoffaufnahme zu verhindern, wird auf das Metallbad eine Deckschicht von Holzkohlen, gewöhnlichem Kochsalz, Glas oder Borax aufgebracht. Die Gießtemperatur kann, um eine leichtflüssige Schmelze zu erhalten, ohne Gefahr bis auf 1300° gebracht werden, besonders wenn gut abgedeckt wird und Desoxydationsmittel gebraucht werden. Meist werden die Kupfergußstücke in grünem Sand gegossen, wobei für gute Luftdurchlässigkeit durch reichliche Luftpfeifen und -stiche zu sorgen ist. Zweckmäßig ist es, steigend mit genügend großen Eingüssen und Steigern zu gießen. Beim Gießen ist zur Verringerung der Oxydation der Weg des Gießstrahles möglichst kurz zu halten und die Schmelze tunlichst nicht umzufüllen, sondern unmittelbar aus dem Tiegel in die Form zu gießen. Außerdem ist beim Guß das ziemlich hohe Schwindmaß von

Kupfer — etwa 1,4% — zu beachten, um Lunker, Hohlräume und Risse zu vermeiden.

Gußstücke aus reinem Kupfer sind, wenn auch mit einiger Schwierigkeit, einwandfrei herzustellen. Man bedient sich in der Praxis meist einiger Desoxydationsmittel, die dem geschmolzenen Kupfer vor dem Gießen zugesetzt werden. Die Desoxydationsmittel haben gegenüber Kupfer eine größere Verwandtschaft zum Sauerstoff, bilden mit diesem Oxyde und werden als unlösliche Schlacke aus dem Schmelzbad entfernt. Da jeder Zusatz zum reinen Kupfer die elektrische Leitfähigkeit, die bei Armaturteilen in der Elektrotechnik eine ausschlaggebende Rolle spielt, mehr oder weniger stark ungünstig beeinflusst (s. S. 13), wird die Menge des zugesetzten Desoxydationsmittels nur so hoch bemessen, wie zur Entfernung des Sauerstoffes unbedingt notwendig ist, so daß keiner der Zusätze, außer in geringen Spuren, im erstarrten Kupfer gelöst zurückbleibt. Gebräuchliche Desoxydationsmittel sind u. a.:

Phosphorkupfer, das als eines der besten Mittel anzusehen ist. Da aber Phosphor die elektrische Leitfähigkeit besonders stark herabdrückt, ist die Zusatzmenge sehr sorglich nur so hoch zu halten, daß im Gußstück kein Phosphor zurückbleibt.

Siliziumkupfer, mit dem ebenfalls eine gute Wirkung erzielt wird, und das die mechanischen und elektrischen Eigenschaften nicht so stark beeinflusst wie Phosphor.

Zink, Magnesium, Titankupfer, wobei die beiden letzteren den Nachteil besitzen, daß sich ihre Oxyde nicht so leicht vom flüssigen Kupfer trennen.

Borkarbid, dessen Vorteil darin besteht, daß es im Kupferbad nicht zurückbleiben kann, da es als unlösliches Oxyd in die Schlacke übergeht.

Berylliumkupfer, das neuerdings Verwendung findet, weil es die mechanischen Eigenschaften des Kupfergusses günstig beeinflusst, ohne die elektrische Leitfähigkeit zu sehr herabzudrücken.

Kupferguß, dessen einwandfreie Herstellung aus den vorgenannten Gründen mit Schwierigkeiten verknüpft ist, ist daher naturgemäß in seinen mechanischen und elektrischen Eigenschaften größeren Schwankungen unterworfen.

Das spezifische Gewicht beträgt bei einwandfreien Gußstücken $8,9 \text{ g/cm}^3$.

Bei reinem Kupferguß wird erreicht:

$$\begin{aligned} \text{Zugfestigkeit} & \dots\dots\dots = 15 \cdot 18 \text{ kg/mm}^2, \\ \text{Bruchdehnung} & \dots\dots\dots = 15 \cdot 20 \% \text{ (Meßlänge } l = 10 \text{ d)}, \\ \text{elektrische Leitfähigkeit} & \dots\dots = 18 \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2} \text{ bei } 20^\circ. \end{aligned}$$

Bei sorgfältiger Anwendung von Desoxydationsmitteln können unter günstigen Bedingungen folgende Werte erreicht werden:

$$\begin{aligned} \text{Zugfestigkeit} & \dots\dots\dots = 18 \cdot 20 \text{ kg/mm}^2, \\ \text{Bruchdehnung} & \dots\dots\dots = 15 \cdot 20 \% \text{ (Meßlänge } l = 10 \text{ d)}, \\ \text{elektrische Leitfähigkeit} & \dots\dots = 40 \cdot 53 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2} \text{ bei } 20^\circ. \end{aligned}$$

b) Warm- und Kaltkneten. Kupfer kann spanlos durch Kneten im warmen und kalten Zustande weitgehendst verformt werden. Unter Warmkneten versteht man die spanlose Formung bei Temperaturen, die oberhalb der Rekristallisationstemperatur liegen. Hierbei erfährt das Kupfer keine Härtesteigerung, bleibt also weich, und das Kleingefüge zeigt die regellose Anordnung der Kristallite ohne Streckrichtung und Gleitlinienbildung (s. Abb. 2). Beim Kaltkneten dagegen, d. h. Verformung unterhalb der Rekristallisationstemperatur bzw. bei Zimmertemperatur, erhält das Kupfer eine Festigkeitssteigerung, und die Kristallite

werden unter Bildung zahlreicher Gleitlinien gestreckt (s. Abb. 4). Zur Herstellung der Halbzeuge, wie Bleche, Bänder, Drähte, Stangen und Rohre, wird meist eine vereinigte Warm- und Kaltverarbeitung in der Weise angewandt, daß im Anfang bei den großen Querschnittsabnahmen warm und zum Schluß bei den schwächeren Abmessungen kalt verformt wird. Die Beschaffenheit des zu diesen Halbzeugen verarbeiteten Kupfers ist in DIN 1787 zu finden. Die Bezeichnung und das Kurzzeichen für Härtezustand und Oberflächenbeschaffenheit dieser Kupferhalbzeuge sind in DIN 1750 Blatt 1 und 3 festgelegt worden. Der Härtezustand des Werkstoffes mit vorgeschriebener Festigkeit wird durch Anhängen der Mindestzugfestigkeit in kg/mm^2 an die Markenbezeichnung unter Einschaltung des Buchstabens F (= Festigkeit) gekennzeichnet, also z. B. A-Cu F 23, d. h. A-Kupfer mit einer Mindestzugfestigkeit von 23 kg/mm^2 . Ist keine Festigkeit vorgeschrieben, dann wird an die Markenbezeichnung nur der Buchstabe p für gepreßtes, w für weiches und h für hartes Material angehängt. Die Begriffe für die einzelnen Härtezustände sind folgendermaßen gekennzeichnet:

gepreßt, d. h. der Werkstoff ist warm in Strangform auf der Strangpresse gepreßt ohne weitere Warmbehandlung oder Kaltverformung. Die technologischen Werte liegen je nach Abkühlungsgeschwindigkeit meistens in den Grenzen der Werte für die Härtezustände weich und halbhart;

weich, d. h. der Werkstoff ist nach etwaiger Kaltbearbeitung gut gegläht oder ausschließlich in solcher Weise warm bearbeitet, daß seine technologischen Werte mit denen eines ausgegühten Werkstoffes übereinstimmen;

halbhart, d. h. der Werkstoff ist durch Kaltverformung (Kaltwalzen, Kaltziehen usw.) auf die etwa 1,2fache Zugfestigkeit des weichen Zustandes gebracht worden;

hart, d. h. der Werkstoff ist durch Kaltverformung auf die etwa 1,4fache Zugfestigkeit des weichen Zustandes gebracht worden. (Bei Messingrohren gleich „hart gezogen“);

federhart, d. h. der Werkstoff ist durch Kaltverformung auf die etwa 1,8fache Zugfestigkeit des weichen Zustandes gebracht worden;

angelassen (nur bei Rohren für Wärmeaustauschapparate), d. d. die Rohre sind durch Erwärmen spannungsfrei gemacht worden.

Für die Oberflächenbeschaffenheit gelten folgende Abkürzungen: plötz (abgeplötzt, d. i. in Wasser abgeschreckt), schw (schwarz), gb (gebeizt), bl (blank), hopolf (hochglanzpolierfähig), ätz (ätzfähig), pol (einseitig poliert), dopol (doppelseitig poliert), schliff (geschliffen) und scheu (gescheuert).

Bleche und Bänder werden aus Walzplatten (cakes) von $60 \cdots 400 \text{ mm}$ Dicke und einem Gewicht von 200 kg bis etwa 8 t hergestellt. Die Platten werden auf $800 \cdots 900^\circ$ erhitzt und je nach der Endstärke auf $6 \cdots 20 \text{ mm}$ Dicke warm vorgewalzt und gebeizt. Sodann wird das Vormaterial aufgeteilt und kalt fertiggewalzt, wobei je nach der Endstärke und dem gewünschten Härtegrad noch bei $500 \cdots 600^\circ$ zwischengeglüht werden muß. Die handelsüblichen Qualitäten sind: schwarzweiches Kupfer mit einer letzten Glühung ohne Beseitigung der auf der Oberfläche anhaftenden Zunderschicht, gebeiztweiches Kupfer mit sauberer Oberfläche ohne Zunderschicht, weichblankes Kupfer, wobei die letzte Glühung in luftdicht abgeschlossenen Töpfen oder in Blankglühöfen unter Vakuum bzw. neutraler Atmosphäre erfolgt und schließlich Material mit bestimmter Härte, wobei die verschiedenen Härtegrade durch Regelung der letzten Abwalzstiche erreicht werden.

Stangen und Drähte werden in ihrem Vormaterial auf zwei verschiedene Arten hergestellt. Erstens werden aus gegossenen Rundblöcken im Gewicht von

100...200 kg auf der hydraulischen Strangpresse (Abb. 34) bei etwa 900° Rund- und Profilstangen vorgepreßt, die dann gebeizt und kalt auf Fertigmaß gezogen werden. Und im zweiten Falle werden Drahtbarren (wirebars) auf einem Walzwerk, in dem die Querschnittsverminderung und Durchknetung hintereinander durch Flach-, Spießkant-, Oval- und quadratische Kalibrierung vorgenommen wird, warm zu Walzdraht bis auf etwa 6 mm herunter gewalzt, der dann gebeizt und kalt auf Einzeldrahtzügen oder, wirtschaftlicher, auf Mehrfachziehmaschinen fertiggezogen wird. Dünne Drähte, die bis zu dem geringen Durchmesser von 0,020 mm hergestellt werden können, erhalten noch ein oder mehrere Zwischenglühungen. In den Endzügen werden die geringen Abmessungen meist durch Diamantsteine gezogen, um einen gleichen Drahtdurchmesser innerhalb eines Ringes zu bekommen. Die gezogenen Drähte befinden sich in hartem Zustande und müssen, wenn sie in weichblanker Qualität verlangt werden, noch in Töpfen oder in Blankglühöfen unter Luftabschluß bzw. in neutraler Atmosphäre nachgeglüht werden.

Auftretende Fehler sind: schiefrige oder splittrige Stangen und Drähte, die meist erst dann zum Vorschein kommen, wenn das Material gebogen wird und sich Splitter ablösen. Für diesen Fehler sind Gasblasen und stärkerer Kupferoxydulgehalt im Kupfer (s. S. 17) sowie Gratbildungen und Überlappungen verantwortlich zu machen, die zur Folge haben, daß einzelne Schichten nicht mit dem übrigen Material verschweißen und sich später als Splitter und lange Strähnen wieder loslösen. Dasselbe kann auch eintreten, wenn die Gußbarren nicht ein feinkörniges Gefüge (Abb. 5), sondern ein grobes, eingestrahktes Gefüge, sogenannte Stengelkristalle (Abb. 6), aufweisen. Beim Walzen bilden sich dann, besonders an den Kanten,



Abb. 5. Kupferbarren mit feinkörnigem Gefüge.

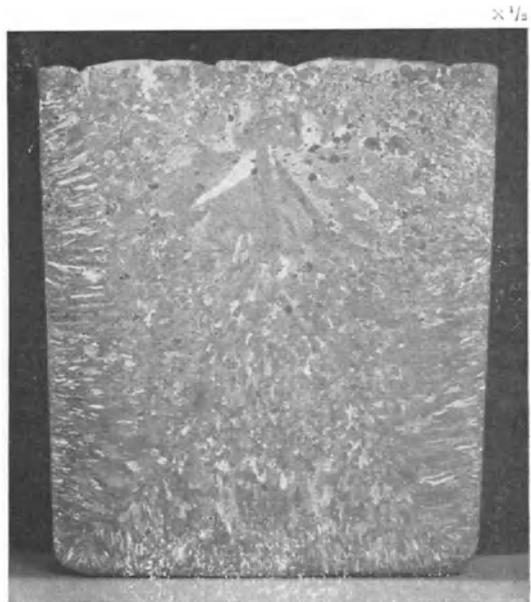


Abb. 6. Kupferbarren mit grobnadligem Gefüge.

starke Anrisse (Abb. 7), deren oxydierte Oberflächen beim weiteren Walzen und Ziehen nicht mehr verschweißen können, und die ebenfalls zu schiefrigem und splittrigem Material führen. Ein weiterer Fehler kann beim Ziehen von Stangen und Drähten auftreten: das Überziehen. Hierbei reißt das Innere des

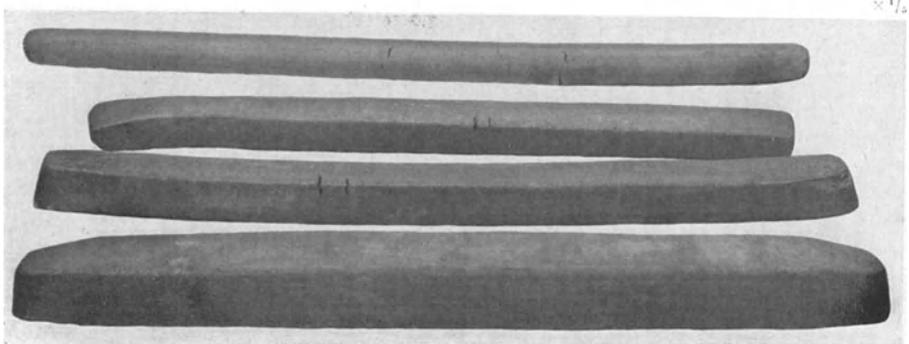


Abb. 7. Kupferbarren mit Kantenrissen.

Werkstoffes kegelförmig auseinander (Abb. 8), wobei die Kegelspitze in die Ziehrichtung zeigt. Dieser Fehler tritt leicht bei stärkeren Abmessungen auf, wenn die Querschnittsabnahme bei den einzelnen Ziehstufen so gering ist, daß der Druck nicht bis in den Kern durchdringt.

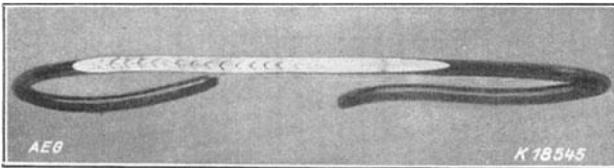


Abb. 8. Überzogener Kupferdraht.

Nahtlose Rohre werden teils auf der hydraulischen Strangpresse warm gepreßt oder im Schrägwalzwerk, Scheibenwalzwerk oder Kegel- oder Tonnenwalzwerk warm ge-

walzt. Die durch Pressen oder durch Walzen gegen einen Dorn hergestellten dickwandigen Rohre werden gebeizt und auf Ziehbanken mittels Ziehring und Zieh-dorn (Mandrill) in mehreren Zügen unter Einschaltung von Zwischenglühungen auf das gewünschte Endmaß kalt fertiggezogen.

c) **Schnittbearbeitung.** Die spangebende Formung durch schneidende Werkzeuge ist bei weichem, reinem Kupfer als schlecht zu bezeichnen. Wegen seiner geringen Härte neigt reines Kupfer zum „Schmieren“. Eine Verbesserung der Schnittbearbeitung kann bei Kupfer dadurch erreicht werden, daß es hart gezogen wird, oder daß ihm kleine Mengen von Zinn, Zink und anderen Stoffen, wofern diese für den gedachten Zweck nicht schädlich wirken, zulegiert werden. Auch Sauerstoff wirkt in dieser Richtung. Zu beachten ist ferner noch, daß bei der Bearbeitung mit schneidenden Werkzeugen nicht nur eine Verspannung, sondern auch eine Verdrängung des weichen Kupfers auftritt, das Material also gewissermaßen „wächst“. Beim Gewindeschneiden mit dem Schneideisen beispielsweise darf demnach der Stangendurchmesser nicht zu groß sein, da sich sonst das Schneideisen festklemmt und das ganze Gewinde ausreißt.

d) **Löten und Schweißen.** Kupfererzeugnisse können durch Weich- oder Hartlöten und durch Schweißen zusammengefügt werden. Beim Löten¹ werden die

¹ Näheres s. BURSTYN: Das Löten. Werkstattbücher Heft 28.

Teile durch eine andere Legierung, eine Zinnlegierung beim Weichlöten und eine Messinglegierung beim Hartlöten, miteinander verbunden. Beim Weichlöten werden die Lötflächen mechanisch gereinigt oder gebeizt, meist erst noch verzinkt, und dann wird das Lot unter Verwendung von Flußmitteln mit dem LötKolben aufgetragen. Beim Hartlöten werden die Lötflächen mit Lot und Borax bestreut und in eine Schmelzflamme gebracht. Müssen die Lötstellen noch weiter stark verformt werden und außerdem eine gute elektrische Leitfähigkeit besitzen, wie beispielsweise die hartgezogenen Fahrleitungsdrähte, dann verwendet man Silberlot und reines Silber.

Beim Schweißen¹ wird das Kupfer an der Verbindungsstelle bis zum Schmelzen erhitzt und unter Druck zusammengefügt, wobei man sich meist eines Schweißmittels und — bei den neueren Verfahren — eines Füllmaterials von gleicher oder fast gleicher Zusammensetzung bedient. Schwierigkeiten bei der Schweißung, die aber immerhin bei einiger Übung überwunden werden können, bestehen insofern, als Kupfer bei der hohen Schweißtemperatur sehr zur Oxydation neigt und eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Übliche Verfahren der Schweißung sind:

Hammerschweißung. Die metallisch reinen Nahtflächen werden mit einem Flußmittel — Borax, Borax-Natriumphosphat oder Borax-Kaliumferrozyanid — bestreut und in der Rotwärme mit kräftigen Hammerschlägen zusammengefügt.

Gasschmelzschweißung. Diese Art unter Verwendung einer Sauerstoff-Azetylenflamme ist am weitesten verbreitet. Wichtig ist die richtige Brennergröße, die größer sein muß als bei entsprechenden Eisenabmessungen, und eine gute Flammenführung, die weder reduzierend noch oxydierend wirkt. Die Schweißkanten werden keilförmig gehalten, mit einem Flußmittel bestrichen und unter Zuhilfenahme marktgängiger Schweißdrähte zusammengefügt. Als Schweißdraht benutzt man hauptsächlich Phosphorkupfer, aber auch Kupferlegierungen mit Silizium, Bor, Vanadium, Mangan, Silber und anderen Elementen. Zweckmäßig ist es, die Schweißnähte noch in der Rotwärme durch Hämmern gut durchzukneten, um die durch das Schmelzschweißen entstandene Gußstruktur mit ihren ungünstigen Festigkeitseigenschaften in die haltbarere Rekristallisationsstruktur überzuführen.

Elektrische Schweißung. Die Lichtbogenschweißung im Kohle- bzw. Metalllichtbogen birgt die Gefahr von Überhitzungen in sich, so daß dieses Verfahren zur Zeit noch nicht als allgemein beherrschbar anzusehen ist. Neuerdings konnten jedoch nach einem neuen Verfahren von LESSEL mit Spezial-Kupferelektroden, sogenannten Schlauchelektroden, gute Erfolge erzielt werden. Dagegen hat sich die Widerstandsschweißung² als Punkt-, Naht- und Stumpfschweißung zur Verbindung von Blechen, Stangen und Drähten hauptsächlich in der Massenfertigung gut bewährt. Die zu schweißenden Enden werden wie üblich mit einem Flußmittel versehen, in elektrischen Sonder-Schweißmaschinen durch den Strom bis zum Beginn des Schmelzens erhitzt und dann unter Druck zusammengepreßt.

4. Physikalische Eigenschaften.

a) Thermische Eigenschaften. Der Schmelzpunkt von reinem Kupfer liegt bei 1083⁰. Schon durch geringe Mengen von Sauerstoff wird er merklich herabgedrückt.

Der Siedepunkt wurde bei rund 2300⁰ ermittelt.

Die Schmelzwärme beträgt 43,3 cal für 1 g (cal/g).

¹ Näheres s. SCHIMPKE: Die neueren Schweißverfahren. Werkstattbücher Heft 13.

² Näheres s. FAHRENBACH: Widerstandsschweißen. Werkstattbücher Heft 73.

Die Wärmeausdehnung (lineare) ist je nach dem Temperaturbereich verschieden; zwischen 0 und 100° beträgt sie 0,000016 mm für 1° Temperaturerhöhung.

Die spezifische Wärme ändert sich mit der Temperatur und ist bei Zimmertemperatur eine Wärmemenge von 0,091 cal, die nötig ist, um die Masseneinheit (1 g) um die Temperatureinheit (1°) zu erhöhen $\left(\frac{\text{cal.}}{\text{g} \cdot \text{Grad}}\right)$.

Die Wärmeleitfähigkeit ist bei 20° zu 0,92 und bei 100° zu 0,901 $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{Grad}}$ gemessen worden.

b) Elektrische Eigenschaften. Die Leitfähigkeit mit der Dimension $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ bei +20° wird als reziproker Wert aus dem spezifischen Widerstand festgestellt.

Nach den Vorschriften für Kupfer für Elektrotechnik (VDE 0201/1934) dürfen die folgenden Werte des spezifischen Widerstandes bei 20° in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ nicht überschritten werden:

1. bei weichgeglühtem Draht

$$1/57 = 0,01754;$$

2. bei kaltgerecktem Draht mit einer Festigkeit von mehr als 30 kg/mm²:
mit einem Durchmesser größer oder gleich 1,0 mm

$$1/56 = 0,01786,$$

mit einem Durchmesser unter 1,0 mm

$$1/55 = 0,01818;$$

3. bei weichgeglühtem verzinnem Draht:

mit einem Durchmesser größer oder gleich 0,3 mm

$$1/56,5 = 0,001770,$$

mit einem Durchmesser kleiner als 0,3 mm bis 0,1 mm einschließlich

$$1/55,5 = 0,01802,$$

mit einem Durchmesser kleiner als 0,1 mm

$$1/54 = 0,01852.$$

Für isolierte Leiter und Kabel sind die wirksamen Querschnitte durch Widerstandsmessungen zu ermitteln. Unter wirksamem Querschnitt ist der elektrische, nicht der geometrische Querschnitt zu verstehen. Bei der Errechnung des Querschnittes aus dem Widerstand sind zur Berücksichtigung des Dralles der Litzen und der Mehrfachleiter sowie der Stärketoleranz anstatt der vorgenannten Werte folgende Zahlen einzusetzen:

1. bei weichgeglühtem unverzinnem Draht

$$1/56 = 0,01786;$$

2. bei weichgeglühtem verzinnem Draht mit einem Durchmesser größer oder gleich 0,3 mm

$$1/55,5 = 0,01802;$$

3. bei weichgeglühtem verzinnem Draht mit einem Durchmesser kleiner als 0,3 bis 0,1 mm einschließlich

$$1/54,5 = 0,01835;$$

4. bei weichgeglühtem verzinnem Draht mit einem Durchmesser kleiner als 0,1 mm

$$1/53 = 0,01887.$$

Diese Bestimmungen gelten nicht für Fernmeldekabel.

Es gibt eine Reihe von Einflüssen, die auf die elektrische Leitfähigkeit mehr oder weniger stark ungünstig einwirken. Durch Kaltbearbeitung, etwa durch

Kaltziehen, wird die Leitfähigkeit herabgedrückt. Beträgt sie im weichen Kupferdraht $58 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$, so fällt sie im dünnen, hartgezogenen Draht bis auf 55 herab.

Weiterhin übt die Temperatur einen Einfluß auf die Leitfähigkeit aus. Mit steigender Temperatur wird der spezifische Widerstand größer und die Leitfähigkeit geringer, und umgekehrt wird mit fallender Temperatur der spezifische Widerstand geringer und dementsprechend die Leitfähigkeit größer. Nach den

Kupfernormen des VDE wächst der Widerstand eines Leiters von 1 km Länge und 1 mm² Querschnitt um 0,068 Ohm für 1° Temperaturzunahme. Mit diesem Temperaturkoeffizienten ist jeweils die Umrechnung des Widerstandes, der bei irgendeiner Raumtemperatur gemessen worden ist, auf die genormte Bezugstemperatur von +20° auszuführen. Die stärkste Beeinträchtigung erfährt aber die elektrische Leitfähigkeit durch die Verunreinigungen, die in jedem Kupfer enthalten sind. Abb. 9 zeigt den Einfluß der einzelnen Verunreinigungen auf die Leitfähigkeit. Bemerkenswert ist, daß Sauerstoff bei etwa 0,05% einen Höchstwert ergibt, der dann erst stärker abfällt. Die ungünstigste Wirkung üben Phosphor, Arsen und Aluminium aus und dann folgend: Eisen, Antimon und Zinn.

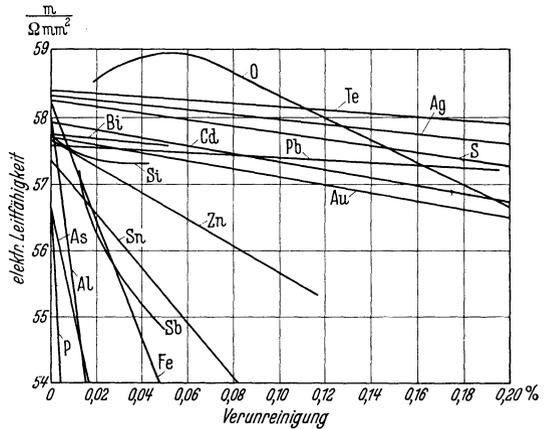


Abb. 9. Einfluß von Verunreinigungen auf die elektrische Leitfähigkeit (nach ADDICKS).

Magnetische Eigenschaften. Reines Kupfer ist diamagnetisch (undurchlässig für magnetische Kraftlinien). Doch schon geringe Mengen von Eisen, etwa 0,04%, machen es paramagnetisch (durchlässig für magnetische Kraftlinien).

e) Mechanische Eigenschaften. **Spezifisches Gewicht.** Reines Kupfer, das gewalzt, geschmiedet oder gezogen und danach geglüht worden ist, hat ein spezifisches Gewicht von 8,9 g/cm³ bei 20°, doch findet man Schwankungen zwischen 8,87 und 8,91 g/cm³. Gegossenes Kupfer besitzt ein spezifisches Gewicht von 8,3...8,9 g/cm³. Zwischen hartem und weichem, also kaltgerecktem Kupfer ist kaum ein Unterschied im spezifischen Gewicht festzustellen, so daß es praktisch als gleich anzusehen ist.

Elastizitätsmodul. Die gefundenen Zahlenwerte schwanken zwischen 12100 und 12300 kg/mm².

Zugfestigkeit. Die Zahlenwerte, die durch den Zerreiversuch gewonnen werden, hängen von einer Reihe Faktoren ab, die zur richtigen Beurteilung des Werkstoffes bekannt sein müssen. Von großem Einfluß sind Vorbehandlung des Werkstoffes, seine Abmessungen, die Abmessungen des Probestabes, Art und Größe der Zerreißmaschine und schließlich die Belastungsgeschwindigkeit beim Zerreißen. Die Grundfestigkeit des Kupfers, d. i. die Zugfestigkeit des weichgeglühten Werkstoffes, wird an einer „normalisierten“ Probe festgestellt. Zu diesem Zwecke wird die gewalzte oder gezogene Probe bei 600° etwa 1 h lang ausgeglüht. Die hierbei ermittelten Zerreiwerte sind:

$$\text{Zugfestigkeit} = 22 \text{ kg/mm}^2 \pm 10 \%,$$

$$\text{Bruchdehnung} = 40 \cdots 60 \% \text{ (Meßlänge } l = 10 \text{ d.)}$$

Kupfer besitzt in weichem Zustande keine ausgeprägte Streckgrenze (0,2% Grenze), da es bei Belastung sofort plastische Formänderung erleidet. Immerhin werden für den praktischen Gebrauch Werte von $6 \cdot \cdot \cdot 8 \text{ kg/mm}^2$ genannt. Die genannten Festigkeitszahlen werden bei Prüfungen am Normalstab nach DIN 1605, also bei einem Probedurchmesser von 20 mm, erreicht.

Die Zugfestigkeit ist jedoch höher, wenn es sich um dünne Bleche, Bänder und Drähte handelt, bei denen die Glüh­temperatur nicht zu hoch gewählt werden darf.

Die Festigkeitseigenschaften können bei Kupfer nur durch eine Kaltverformung, durch Walzen und Ziehen, gesteigert werden. In

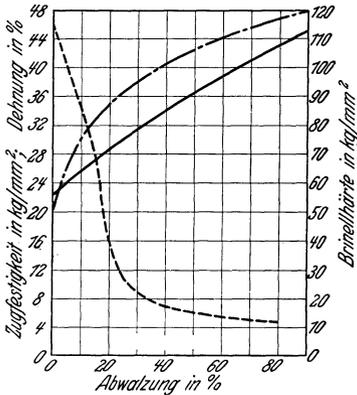


Abb. 10. Einfluß des Abwalzgrades auf die Festigkeitseigenschaften von Kupferblech (P. SIEBE).

— Zugfestigkeit, - - - - - Dehnung, - · - · - Brinellhärte.

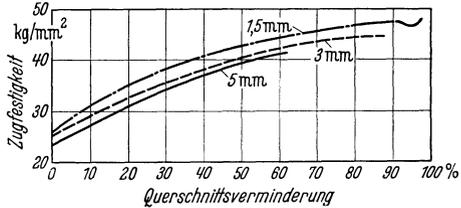


Abb. 11. Einfluß des Abwalzgrades auf die Festigkeitseigenschaften von Kupferdraht (P. SIEBE).

Abb. 10 ist der Zusammenhang zwischen den Festigkeitseigenschaften und dem Kaltabwalzgrad für ein Kupferblech dargestellt. Bei einem Abwalzgrad von 90% ist die Festigkeit von 22 kg/mm^2 auf 44 kg/mm^2 gestiegen und entsprechend die Dehnung von 46% auf etwa 4% gefallen. In Abb. 11 sind die gleichen Verhältnisse für Kupferdrähte gezeigt. Aus diesem Schaubild ist weiterhin zu erkennen, daß die Festigkeit um so höhere Werte ergibt, je schwächer der Draht ist. So können beispielsweise bei dünnen Drähten (etwa 0,1 mm) Festigkeitswerte bis zu 60 kg/mm^2 erreicht werden. Umgekehrt liegt der Fall, wenn es sich um sehr große Abmessungen handelt. Eine Kupferstange von 50 mm Durchmesser erreicht selbst bei stärkster Querschnittsabnahme nur eine Höchstfestigkeit von $30 \cdot \cdot \cdot 35 \text{ kg/mm}^2$.

Bei kaltgerecktem Kupfer tritt eine Streckgrenze deutlicher in Erscheinung, die sich bei starker Querschnittsabnahme mehr und mehr der Zugfestigkeit nähert (Tabelle 1).

Tabelle 1. Festigkeitsverhältnisse von kaltgerecktem Kupfer.

Draht-Ø mm	Querschnitts- abnahme %	Streckgrenze (0,2%)	Zugfestigkeit	Bruchdehnung (l = 10 d)	Verhältnis $\frac{\sigma_S}{\sigma_B}$
		σ_S (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	%	
15,90	0	8,2	22,1	50,5	0,371
15,08	10,0	17,5	25,7	30,9	0,682
12,48	38,4	33,3	36,2	7,0	0,92
8,00	74,6	41,6	44,3	4,7	0,939
5,00	90,1	44,8	46,9	3,3	0,956

Die Festigkeitseigenschaften von Kupfervollprofilen, d. h. Rund-, Flach-, Vierkant-, Sechskantkupfer und ähnlichen Profilen, sind in DIN 1773 angegeben. Für Halbzeuge aus Kupfer für Elektrotechnik, d. h. für Drähte, Vollprofile in Stangen, Rohre, Bleche, Bänder und Streifen gelten die Festigkeitseigenschaften nach DIN VDE 500.

Die durch Kaltreckung hervorgerufene Festigkeitssteigerung kann durch eine nachfolgende Glühbehandlung wieder aufgehoben, das gehärtete Material kann wieder in seinen weichen Zustand zurückgebracht werden. Die Temperatur der Entfestigung ist dabei abhängig von der Größe des Reckgrades, und zwar derart, daß bei kleineren Reckgraden eine höhere Glüh Temperatur notwendig ist als bei starken. Im Rekristallisationsschaubild (Abb. 3) gibt die gestrichelte Linie auf der Reckgrad-Temperatur-Fläche die Temperaturen an, bei denen gleichzeitig mit der Rekristallisation des Reckgefüges die Ent-

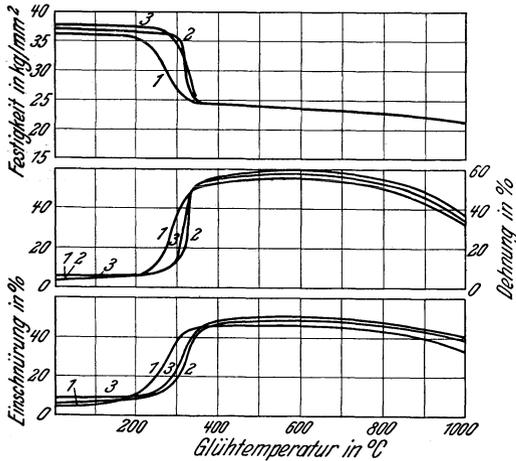


Abb. 12. Einfluß der Glüh Temperatur auf kaltgewalztes Kupfer (P. SIEBE).
1 Elektrolytkupfer, 2 Lake Kupfer, 3 arsenhaltiges Lake Kupfer.

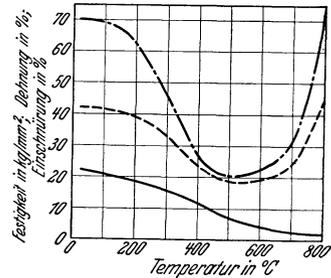


Abb. 13. Warmfestigkeit von Kupfer (P. SIEBE).
— Festigkeit, --- Dehnung, - - - - Einschnürung.

festigung eintritt. Nach hohen Reckgraden wird das Kupfer schon von etwa 200° an weich. Den Einfluß der Glüh Temperatur auf hartgewalztes Kupfer zeigt anschaulich Abb. 12 in anderer Darstellung für einige Kupfersorten. Die Anfangsfestigkeit von etwa 38 kg/mm² sinkt nach Überschreiten der 200°-Grenze schnell auf den Grundwert weichen Kupfers von etwa 22 kg/mm². Entsprechend steigen Dehnung und Einschnürung von etwa 5% bei hartem Kupfer auf etwa 50% bei weichem.

Warmfestigkeit. Die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen sind in Abb. 13 dargestellt. Die Zerreißversuche werden bei den angegebenen Temperaturen ausgeführt. Die Zugfestigkeit nimmt bei steigender Temperatur allmählich ab, während Dehnung und Einschnürung von etwa 200° ab stark abfallen und zwischen 400 und 600° einen Kleinstwert besitzen. Diese Warmzerreißversuche werden im übrigen durch Art und Menge der Verunreinigungen im Kupfer und durch die Versuchsausführung wesentlich beeinflusst. Eine Änderung des Elastizitätsmoduls ist ebenfalls festgestellt worden, der bei 400° nur noch etwa 7100 kg/mm² beträgt.

Härte. Die Härte wird nach verschiedenen Verfahren geprüft, doch ist der Brinellsche Kugeldruckversuch nach DIN 1605 Blatt 3 oder die Rockwellhärte zu bevorzugen. Bei weichem, ausgeglühtem Kupfer ist die Brinellhärte mit 45 kg/mm² ± 10% anzunehmen; bei hartgezogenem oder kaltgeschmiedetem Kupfer steigt sie bis auf 90·100 kg/mm².

Von einer Biegefestigkeit und Kerbzähigkeit kann man bei Kupfer kaum sprechen, da diese Prüfungen zur Voraussetzung haben, daß das Material zu Bruch geht. Bei dem zähen Kupfer tritt aber selten ein Bruch bei diesem Prüfungsverfahren ein.

Die Dauerfestigkeit oder Wechselfestigkeit von weichgeglühtem Kupfer beträgt etwa $7 \cdots 8 \text{ kg/mm}^2$ und von hartgezogenem Kupfer etwa $10 \cdots 12 \text{ kg/mm}^2$ bei einwandfreier, glatter Oberfläche.

5. Chemische Eigenschaften.

Das günstige Verhalten des Kupfers gegen chemische Einwirkungen, seine Korrosionsbeständigkeit, haben ihm weitgehendste Verwendung in der chemischen und Genußmittelindustrie, im Maschinen- und Apparatebau als Baustoff gesichert. Es seien hier nur einige Beispiele angeführt: Kessel- und Kugelschalen, Kühl- und Heizschlangen in der chemischen und Genußmittelindustrie, Badeöfenmäntel, Schwimmergehäuse, Dampf- und Rohrleitungen in der Wasserinstallationsbranche, Bleche als Dachbedeckungs- und Dachrinnenmaterial im Baugewerbe und noch vieles andere.

Kupfer wird bei Zimmertemperatur von trockner und auch von feuchter Luft bei Abwesenheit von Kohlensäure (CO_2) nicht angegriffen. Bei höheren Temperaturen über 200° bedeckt sich das Kupfer zuerst mit einer roten Schicht von Kupferoxydul (Cu_2O), dann mit einer schwarzen Schicht von Kupferoxyd oder Hammer Schlag (CuO). Gegen verdünnte Salzsäure und Schwefelsäure bei Abwesenheit von Sauerstoff ist Kupfer praktisch beständig, doch wird es von verdünnter Salpetersäure angegriffen. In heißer, konzentrierter Schwefelsäure löst sich Kupfer unter Bildung von Schwefeldioxyd (SO_2) zu Kupfersulfat (CuSO_4). Dagegen wird Kupfer von Seewasser und Salzlösungen nur wenig angegriffen. Gegen das Gebrauchswasser, gleichgültig ob weiches oder hartes, ist Kupfer absolut beständig. Kupferne Wasserleitungsrohre beispielsweise beziehen sich in ihrer Innenwand mit einer dünnen Schutzschicht, die jeden weiteren Angriff verhindert. Der so gefürchtete Grünspan entsteht nicht in Wasserleitungsrohren. Bei bestimmter Zusammensetzung des Wassers kann sich zwar an den Kupferwänden eine grün gefärbte Schicht bilden, die aber aus einer wasserunlöslichen und ungiftigen Verbindung besteht und daher vom hygienischen Standpunkt aus unbedenklich ist.

Die sogenannte Patina, die dem Kupfer einen dem Auge angenehmen und schönen graugrünen Farbton verleiht, ist ein Verwitterungserzeugnis des Kupfers und besteht aus basisch kohlen-säurem Kupfer. Kunstgewerbliche Gegenstände sowie Dächer und Kuppeln von Bauwerken haben oftmals diesen schönen Patinaüberzug.

Der äußerst giftige Grünspan ist ein basisches Kupferazetat und entsteht nur bei Vorhandensein von Essigsäuredämpfen in Gegenwart von Luft. (Daher darf kupfernes Kochgeschirr nicht für essigsäurehaltige Speisen benutzt werden.)

B. Kupfer und seine Hauptbeimengungen.

Das in der Praxis verwendete Kupfer liegt nicht in chemischer Reinheit vor, obgleich man bei Elektrolytkupfer von „reinem“ Kupfer spricht. Je nach der Herstellungsart und dem verwendeten Rohkupfer enthalten die Kupfersorten eine mehr oder weniger große Menge von Verunreinigungen metallischer und nicht-metallischer Stoffe. Durch die Gegenwart dieser Beimengungen werden die Eigenschaften des Kupfers weitgehendst beeinflußt, so daß die Kenntnis ihrer Wirkung von größter Bedeutung ist. An den vorhandenen Zustandsschaubildern der Zweistofflegierungen hat man bereits ein gutes Hilfsmittel zur Beurteilung an der Hand, doch muß immer berücksichtigt werden, daß bei Vorhandensein mehrerer Beimengungen eine gegenseitige Beeinflussung eintritt. Es folgt das Verhalten der einzelnen Beimengungen, sofern sie in so geringen Mengen vorhanden sind, daß

sie nicht als Legierungszusätze, sondern nur als Verunreinigungen anzusprechen sind:

Antimon bis zu etwa 0,5% übt keinen schädigenden Einfluß auf die Warmwalzbarkeit des Kupfers aus, auch beeinflußt es die mechanischen Eigenschaften kaum.

Arsen ist wohl neben Sauerstoff die am häufigsten im Kupfer auftretende Beimengung. Es wird im Kupfer gelöst, bildet Mischkristalle und ist daher im Schlibfbild nicht zu erkennen. Kupfer mit Arsengehalt zeigt aber meist ein deutliches Tannenbaumgefüge, das auch nach wiederholter Glühbehandlung nicht restlos verschwindet, da Arsen in Kupfer nur sehr langsam diffundiert. In sauerstoffreichem Kupfer (über 0,1% Sauerstoff) wird mit Arsen ein Kupferarsenat gebildet, das unlöslich ist und sich im Kupfer als gefügetrennender Bestandteil vorfindet, der die mechanischen Eigenschaften ungünstig beeinflußt. In der Technik wird arsenhaltiges Kupfer, in DIN 1708 als Hüttenkupfer A bezeichnet, als wärmebeständiger Werkstoff für Feuerbuchsen, Stehbolzen u. dgl. verwendet; sein Arsengehalt beträgt etwa 0,1...0,5%.

Blei wird nur in ganz geringen Mengen, unter 0,1%, von Kupfer in fester Lösung aufgenommen. Ein Bleigehalt über 0,1% macht Kupfer warmbrüchig, doch wird diese Wirkung bei Gegenwart von 0,3...0,4% Arsen aufgehoben.

Eisen befindet sich bis etwa 3% im Kupfer in fester Lösung und erhöht innerhalb dieser Grenzen die Festigkeitseigenschaften des Kupfers, doch auf Kosten seiner Geschmeidigkeit.

Mangan bildet in jedem Mischungsverhältnis mit Kupfer Mischkristalle und bewirkt eine Härtesteigerung des Kupfers unter Verminderung seiner Geschmeidigkeit.

Nickel wird in fester Lösung aufgenommen, wirkt härtesteigernd, doch wird die Zähigkeit des Kupfers, gemessen an der Kerbzähigkeit, eher besser als schlechter.

Phosphor wirkt desoxydierend und ist in geringen Mengen unschädlich. Die Löslichkeit des Phosphors in Kupfer beträgt bei Raumtemperatur weniger als 0,4%, steigt aber bei höheren Temperaturen bis zu etwa 1%. Bei höheren Gehalten tritt P als Kupferphosphid auf und macht das Kupfer rotbrüchig.

Sauerstoff ist in jedem handelsüblichen Kupfer enthalten. Der „Polungsprozeß“ bei der Kupferherstellung wird absichtlich so geführt, daß eine geringe Sauerstoffmenge zurückbleibt, um zu verhindern, daß im flüssigen Kupfer eine zu starke Aufnahme von Gasen stattfindet, die zu blasigem und rissigem Material führt. Sauerstoff ist nicht frei im Kupfer enthalten, sondern tritt in chemischer Verbindung als Kupferoxydul (Cu_2O) auf, das im ungeätzten Schlibfbild als rundlicher, hellblauer Einschluß zu erkennen ist. Etwa 9 Teile Kupferoxydul entsprechen einem Teil Sauerstoff. Das auftretende Mengenverhältnis von Kupferoxydul im Kupfer ist dem Zustandschaubild (Abb. 14) zu entnehmen. Im untereutektischen Gebiet, also unterhalb 3,4% Cu_2O , zeigt das Gefüge reine Kupferkristalle, die von einem mehr oder weniger starken Eutektikum $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$ umgeben sind (Abb. 15). Bei 3,4% Cu_2O liegt das Eutektikum. Im übereutektischen Gebiet besteht das Gefüge aus primär ausgeschiedenen Kupferoxydulkristallen, die in einer eutektischen Grundmasse liegen (Abb. 16).

Die besten Elektrolytkupfermarken können einen Sauerstoffgehalt bis zu 0,05% aufweisen, der aber auch in keiner Weise das Kupfer ungünstig beeinflußt. Aus

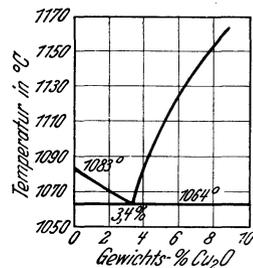


Abb. 14. Kupfer-Kupferoxydul (Erstarrungskurve nach E. HEYN).

der Erfahrung heraus hat sich bestätigt, daß selbst bis zu 0,1% Sauerstoff keine schädliche Wirkung festzustellen ist. Durch die Knetbearbeitung wird die eutektische Anordnung des Kupferoxyduls meist zerstört, und die Einschlüsse werden weit über den ganzen Querschnitt verteilt. Bei höheren Gehalten von Kupferoxydul und bei örtlichen Anreicherungen wird jedoch die Zähigkeit des Kupfers stark herabgesetzt, was sich bei der Verarbeitung störend bemerkbar macht und zum Aufreißen des Werkstoffes führt. Ein Kupferdraht war beispielsweise gemäß Abb. 17 beim Kaltziehen auf mehrere Meter Länge aufgerissen. Die Ursache ist durch die mikroskopische Untersuchung bald festgestellt. In dem aufgerissenen Teil des Drahtes ist

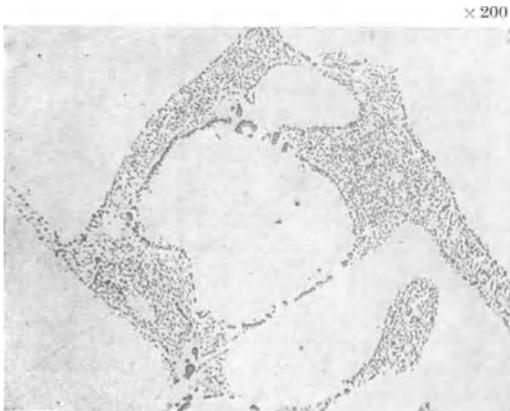


Abb. 15. Kupferoxydul (untereutektisch).



Abb. 16. Kupferoxydul (übereutektisch) (AEG).

der Kupferoxydulgehalt durch örtliche Anreicherung mit etwa 3% nahezu eutektisch (Abb. 18), so daß der Draht hier infolge zu geringer Dehnbarkeit des Kupfers aufreißen mußte. Wird von Kupferblechen eine polierfähige Oberfläche verlangt, so muß darauf geachtet werden, daß diese frei von Kupferoxydulnestern ist. Diese rufen eine matte, wolkige Oberfläche hervor. In solchen Fällen müssen die gegossenen Kupferbarren oder -platten abgefräst werden, da die an der Luft

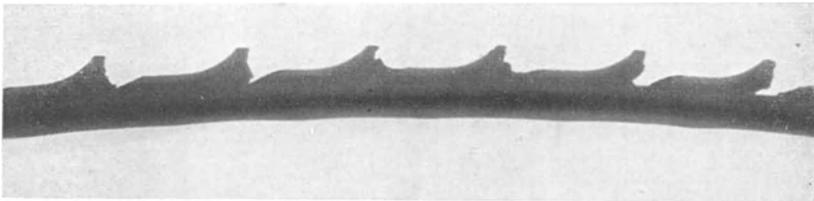


Abb. 17. Beim Ziehen gerissener Kupferdraht (AEG).

erstarrten Oberflächen immer eine mehr oder weniger starke Sauerstoffaufnahme aufweisen.

Eine weitere Erscheinung hat stärkerer Kupferoxydulgehalt noch im Gefolge: die sogenannte Wasserstoffkrankheit des Kupfers. Wird Kupfer dieser Art in einer Flamme geglüht, die noch unverbrannten Wasserstoff enthält, so wird es blasig (Abb. 19) oder platzt unter Bildung vieler Risse auf. Es spielt sich

nach E. Heyn hierbei folgender Vorgang ab: bei höheren Temperaturen diffundiert der Wasserstoff in das Kupfer, trifft auf die Kupferoxydulschlüsse und leitet folgende Reduktion ein: $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 = 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$. Unter Bildung von Kupfer wird Wasser frei, das bei den hohen Glühtemperaturen als Dampf, der durch Kupfer nicht diffundieren kann, unter hoher Spannung steht und das Kupfer aufreißt. Diese Gefahr wird dadurch beseitigt, daß entweder nur Muffelöfen verwendet werden, oder daß die Flammenführung auf reduzierende Gase genau überwacht wird.

Die noch im Kupfer vorkommenden Stoffe: Schwefel, Selen und Tellur, bilden Einschlüsse von ähnlichem Aussehen wie Kupferoxydul, so daß ihre Unterscheidung im Schlibbilde nicht ohne weiteres möglich ist. O. Bauer hat aber in einer scharfen Reaktion, deren Beschreibung sich hier erübrigen dürfte, ein Verfahren gefunden, mit dem selbst sehr kleine Mengen der genannten Stoffe nachzuweisen sind.

Schwefel ist nicht frei, sondern in der chemischen Verbindung Kupfersulfür (Cu_2S) unlöslich im Kupfer enthalten. Schon ein geringer Gehalt von Schwefel, unter 0,1%, macht das Kupfer rotbrüchig.

Silber wird bis etwa 3% von Kupfer in fester Lösung aufgenommen. Es steigert selbst bei geringen Mengen die Festigkeit, ohne aber die mechanischen Eigenschaften ungünstig zu beeinflussen.

Silizium übt in geringen Mengen auf die mechanischen Eigenschaften kaum einen Einfluß aus. Mit Silizium desoxydiertes Kupfer wird häufig Siliziumbronze genannt, trotzdem praktisch im Kupfer kein Silizium verblieben ist.

Titan bildet bis zu 0,23% mit dem Kupfer Mischkristalle, wirkt härtesteigernd, vermindert aber die Zähigkeit.

Wismut ist im Kupfer unlöslich. Ein Gehalt über 0,1% macht das Kupfer rotbrüchig, doch wird die schädliche Wirkung aufgehoben, wenn das Material oxydulhaltig ist.

Zink und Zinn sind bis zu bestimmten Gehalten im Kupfer löslich. Nähere Angaben über die Wirkung dieser Zusätze sind den folgenden Kapiteln über Messing und Bronze zu entnehmen.

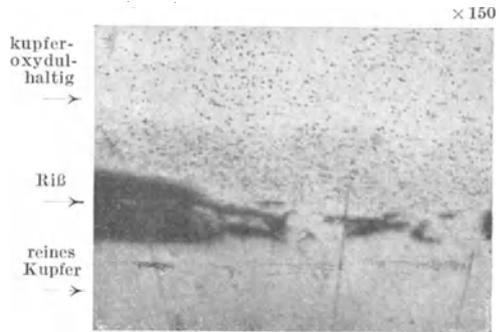


Abb. 18. Kupferoxydul im gerissenen Cu-Draht.

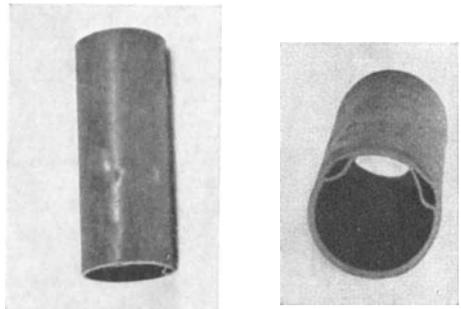


Abb. 19. Infolge Wasserstoffkrankheit aufgerissenes Kupferrohr.

II. Messing.

A. Handelsübliches Messing.

1. Bezeichnung und Zusammensetzung.

a) Allgemeines. Messing kommt in der Natur nicht gediegen vor, ist jedenfalls bisher noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden. Es ist ein Schmelzprodukt

aus Kupfer und Zink und schon als solches im Altertum bekannt gewesen. Bevor Zink als selbständiges Metall bekannt war, wurde Messing durch Zusammenschmelzen von Kupfer mit zinkhaltigen Erzen — geröstetem Galmei oder Zinkblende — gewonnen. Auf diese Weise war es natürlich infolge der ungleichmäßigen Zinkerze nicht möglich, ein reines und in seiner Zusammensetzung gleichmäßiges Messing zu erhalten. Für die Weiterverarbeitung wurde dieses Rohmessing nochmals umgeschmolzen, wobei dann die Legierung durch entsprechenden Zusatz von Kupfer, Zinkerze oder auch Bruchmessing auf die gewünschte Zusammensetzung reguliert wurde. Neuerdings wird Messing ausschließlich durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Zink unter Verwendung mehr oder weniger großer Mengen von Messingabfall hergestellt. Nach der Begriffsbestimmung des Deutschen Normenausschusses ist Messing eine Legierung aus Kupfer und Zink mit überwiegendem Kupfergehalt, gegebenenfalls mit Bleizusatz. Knetbares Messing mit einem Kupfergehalt von 67 und mehr % Kupfer heißt auch Tombak. Der Mindestgehalt an Kupfer beträgt bei den Gußlegierungen und Knetlegierungen mindestens 58 %. Der Bleizusatz bei den bleihaltigen Messingsorten beträgt bis zu 3 %. Die gebräuchlichen Messinglegierungen sind in DIN 1709 Blatt 1 und 2 (Tabelle 2 u. 3) genormt worden.

b) Cu-Zn-Zustandsschaubild. Messing ist eine Legierung, die durch Zusammenschmelzen der beiden Metalle Kupfer und Zink erhalten wird. Die Vorgänge, die sich beim Schmelzen, bei der Erstarrung und einer Wärmebehandlung zwischen den beiden Komponenten Kupfer und Zink abspielen, sind aus dem Zustandsschaubild (Abb. 20) zu erkennen. Die eine Komponente bildet das reine Kupfer mit seinem Schmelzpunkt bei 1083° im Punkte A und die andere Komponente das reine Zink mit seinem Schmelzpunkt bei 419° im Punkte Z. Dazwischen liegen die Legierungen des Messings mit ihren jeweiligen Gewichtsgehalten an Cu und Zn, die zusammen immer 100 % ausmachen müssen. Oberhalb des Linienzuges ADHNQWZ befinden sich die Cu-Zn-Legierungen im flüssigen Zustande (Schmelze), unterhalb des Linienzuges ABCGHLMO PUVZ in festem Zustande, während die Flächen dazwischen die Temperaturgebiete zeigen, in denen sich die Legierungen im teigigen (teils flüssigen, teils festen) Zustand befinden.

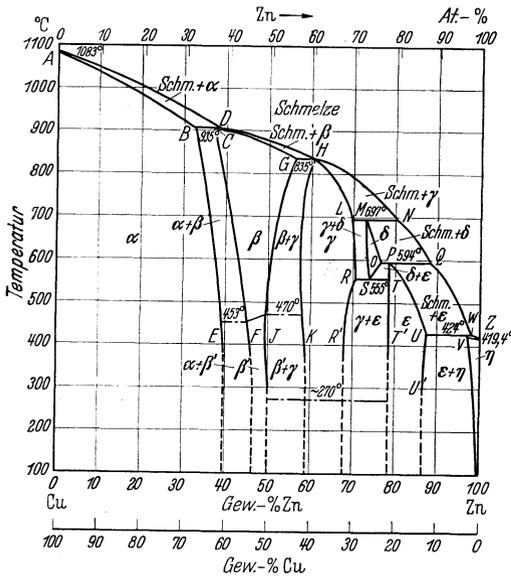


Abb. 20. Zustandsschaubild der Cu-Zn-Legierungen (nach M. HANSEN).

Durch den Zusatz von Zn wird also die Erstarrungstemperatur des reinen Kupfers erniedrigt, so daß z. B. die Erstarrungstemperatur einer Cu-Zn-Legierung von 70 Gewichtsteilen Cu und 30 Gewichtsteilen Zn (senkrechte Kennlinie 70/30) nur noch 950° beträgt. Kupfer und Zink sind in jedem Mischungsverhältnis im flüssigen und im festen Zustande ineinander löslich, d. h. sie bilden „feste Lösungen“ oder „Mischkristalle“, in denen die einzelnen Komponenten Cu und Zn nicht mehr frei für sich enthalten sind und auch im mikroskopischen Schliffbilde nicht mehr einzeln zu erkennen sind. Die technisch wichtigen

Messinglegierungen bewegen sich in dem Bereich bis zum Höchstgehalt von 50% Zn, so daß nur dieser Teil des Zustandsschaubildes hier von Bedeutung ist.

Die erste Gruppe des sogenannten α -Messings umfaßt alle diejenigen Kupferlegierungen, die einen Mindestgehalt von 62% Cu und einen Höchstgehalt von 38% Zn (Bereich *OE* des Zustandsschaubildes) aufweisen. Das Gefüge dieser Messinglegierungen setzt sich aus einer einheitlichen Kristallart, den α -Mischkristallen, zusammen, die im Gleichgewichtszustand, d. h. im völlig ausgeglühten Zustand, nur aus einheitlichen (homogenen) Kristallkörnern bestehen; sofern noch eine Knetbeanspruchung durch Walzen, Ziehen, Pressen o. dgl. vorausgegangen ist, kann in den einzelnen Kristallkörnern noch die bekannte Zwillingsbildung auftreten (Abb. 21).



Abb. 21. Rekrystallisationsgefüge von Ms 85.

Die zweite Gruppe des sogenannten $(\alpha + \beta)$ -Messings umfaßt alle die Kupferlegierungen mit zwei Kristallarten, den α - und β -Mischkristallen, die einen Kupfergehalt von 62...54% und einen Zinkgehalt von 38...46% (Bereich *EF* des Zustandsschaubildes) aufweisen. Die Erstarrungsvorgänge seien an einer Legierung mit 58% Cu Rest Zn kurz erläutert. Bei der Abkühlung der Schmelze bilden sich bei Erreichung der Temperaturlinie *DH* β -Mischkristalle. Bei weiterer Abkühlung wird die Temperaturlinie *CF* erreicht, wo sich aus den β -Kristallen α -Mischkristalle ausscheiden. Im Schlifffilde erscheinen diese α -Ausscheidungen als mehr oder weniger ausgebildete Nadeln, so daß das Gefügebild des nadligen $(\alpha + \beta)$ -Messings entsteht (Abb. 22). Die dunkle Grundmasse besteht aus den β -Mischkristallen mit einer Konzentration von 54% Cu und 46% Zn, in die die hellen α -Mischkristalle mit einer Konzentration von 62% Cu und 38% Zn eingebettet sind.

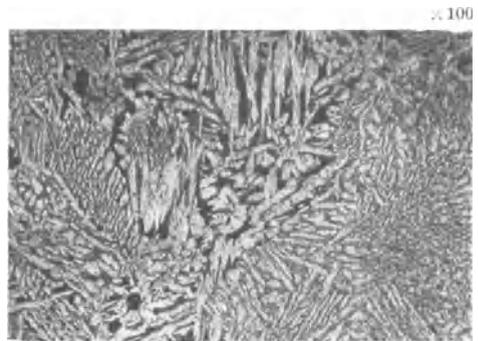


Abb. 22. Nadliges $(\alpha + \beta)$ -Gefüge im Ms 85.



Abb. 23. Reines β -Gefüge im Ms 58 (abgeschreckt).

Die Ausbildungsform der α -Kristalle hängt von der Abkühlungsgeschwindigkeit ab, mit der die Umwandlungslinie *CF* durchlaufen wird. Schreckt man die Legierung aus dem β -Zustandsfeld oberhalb der Umwandlungslinie *CF* ab, dann wird die α -Ausscheidung vollständig unterdrückt, und das Gefüge zeigt nur reine β -Mischkristalle (Abb. 23). Bei ganz langsamer Abkühlung wird ein Gefügebild erhalten, in dem die hellen α -Kristalle

als große, rundliche Körner in der dunklen β -Grundmasse eingebettet liegen (Abb. 24). Die α -Nadeln haben sich eingeformt, so daß man ein derartiges Gefüge als eingeformtes, körniges ($\alpha + \beta$)-Gefüge bezeichnet. Ursprünglich nadliges Gefüge kann man ebenfalls durch längeres Glühen unterhalb der Umwandlungslinie CF in eingeformtes, körniges ($\alpha + \beta$)-Gefüge umwandeln.

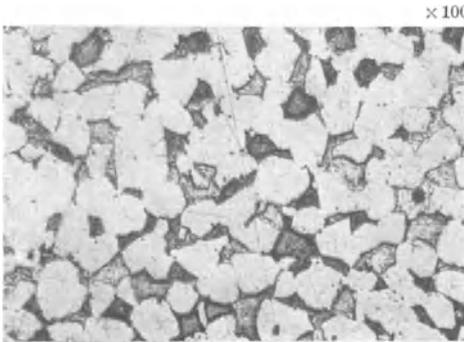


Abb. 24. Eingeformtes, körniges ($\alpha + \beta$)-Gefüge im Ms 58.

c) **Gußlegierungen.** Für den Formguß zur Herstellung von Geräteteilen und Armaturen, Beschlagteilen, Tür- und Fenstergriffen, für kunstgewerbliche Zwecke u. dgl. werden Gußmessinglegierungen verwendet, die im Handel unter den verschiedensten Namen und Bezeichnungen anzutreffen sind und wohl alle Legierungszusammensetzungen umfassen, die bis 50% Cu und 50% Zn möglich sind. Diese „handelsüblichen“ Messingsorten sind meist keine reinen Kupfer-Zink-Legie-

rungen, sondern enthalten immer eine mehr oder weniger große Menge von Eisen, Blei, Zinn und anderen Metallen. In vielen Fällen rühren diese Beimengungen zweifellos von ungewollten Verunreinigungen her, die bereits im Einsatzstoff enthalten waren; in anderen Fällen stammen diese Beimengungen von absichtlichen Zusätzen her, um die Eigenschaften des Gußmessings in bestimmter Weise zu beeinflussen. So wird durch Zusatz von Zinn und Eisen die Festigkeit und Härte erhöht, und ein kleiner Bleigehalt bis zu 3% wirkt sich günstig auf die Bearbeitung mit schneidenden Werkzeugen aus. Für Qualitätsguß sind in DIN 1709 Blatt 1 (Tabelle 2) nur zwei Messinglegierungen, Gußmessing 63 und Gußmessing 67, genormt worden. Die genaue Zusammensetzung und die Festigkeitseigenschaften dieser Gußmessinge sind in Tabelle 3 (Auszug aus DIN 1709 Blatt 2) zusammengestellt. In den meisten Fällen wird man mit diesen beiden Legierungen auskommen.

Das aus dem Tiegel unmittelbar in eine Gebrauchsform gegossene Messing wird seines gelblichen Farbtons wegen auch als Gelbguß oder bei rötlichem Farbton als Gußtom bak bezeichnet. Zur Anfertigung der Gußformen nach vorgefertigten Holzmodellen bedient man sich eines geeigneten Formsandes, der eine gewisse Bindekraft besitzen muß. Ist der Sand zu mager, so wird die Oberfläche der gegossenen Gegenstände zu rauh und bedarf vieler Nacharbeit; ist dagegen der Sand zu fett, so werden die gegossenen Teile rissig und porig. Oft ist es zweckmäßig, die Sandformen vor dem Vergießen in Wärmeöfen gut auszutrocknen. Bei Kokillenguß werden die Eisenformen vor dem Gebrauch angewärmt und mit einer Schicht Petroleum und Kienruß, Rizinusöl und Kienruß, Leinöl und Graphit o. dgl. bestrichen, um die Einwirkung des Eisens und das Ankleben des Messings zu verhindern.

Von anderen Gießarten für Messing kommt noch für Sonderzwecke das Schleudergußverfahren, das ein dichtes Gefüge mit besseren Festigkeitswerten gegenüber dem Formguß ergibt, und das Preßgußverfahren in Frage. Bei letzterem wird das nur bis zum teigigen Zustand erhitzte Metall unter Anwendung hoher Drücke in Stahlformen gepreßt. Dieses Verfahren ist jedoch nur für hohe Stückzahlen (etwa über 8000 Stück) und für mechanisch nicht hochbeanspruchte, kleinere Massenartikel anzuwenden.

Tabelle 2. Messing, Benennung und Verwendung (nach DIN 1709, Blatt 1).

I. Gußlegierungen						
Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung ungefähr %			Behandlung	Richtlinien für die Verwendung
		Cu	Zusätze	Zn		
Gußmessing 63	GMs 63	63	bis 3 Pb	Rest	Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	Gehäuse, Armaturen usw.
Gußmessing 67	GMs 67	67	bis 3 Pb	Rest	Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen. Hartlöten	Gehäuse, Armaturen usw.
Sondermessing A gegossen ¹	So—GMsA	54 bis 64	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl ²	Rest	Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	Beschlagteile, Überwurfmuttern, Spannmuttern, Buchsen für weniger wichtige Lagerstellen, Gußteile mit mittlerer Festigkeit
Sondermessing B gegossen ¹	So—GMsB	54 bis 64	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl ²	Rest		Hoch beanspruchte Teile im Fahrzeug- und Maschinenbau, insbesondere für Druckwasserpressen, Pumpen usw., Schiffsschrauben, seewasserbeständige Gußteile
II. Knetlegierungen						
Hartmessing (Schraubmessing)	Ms 58	58	2 Pb	Rest	Warmpressen, Schmieden, Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	Stangen für Schrauben, Drehteile, Profile für Elektrotechnik, Instrumente, Schaufenster und sonstige Bauteile, Warmpreßstücke (Armaturen, Beschläge, Ersatz für Guß) zu den mannigfaltigsten Arbeiten, Bleche für Uhren, Harmonikas, Taschmesser, Schloßteile
Schmiedemessing (Muntz-Metall)	Ms 60	60	—	Rest	Warmpressen, Schmieden, Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen, mäßiges Biegen und Prägen	Stangen, Drähte, Bleche und Rohre für mannigfaltige Zwecke, besonders für den Schiffbau zu Kondensatorrohrplatten, Beschläge, Vorwärmer- und Kühlerrohre
Druckmessing	Ms 63	63	—	Rest	Ziehen, Drücken, Prägen, Hartlöten mit leichtflüssigem Schlaglot oder Silberlot	Bleche, Bänder, Drähte, Stangen, Profile für Metallwarenherstellung und Apparatebau, Rohre
Halbtombak (Löt-messing)	Ms 67	67	—	Rest	Ziehen, Drücken (Kaltbearbeiten), Hartlöten bei hohen Anforderungen	Bleche (u. a. für Musikinstrumente), Rohre, Stangen, Profile, Drähte, Holzschrauben, Federn, Patronenhülsen
Gelbtombak (Schaufel-messing)	Ms 72	72	—	Rest	Ziehen, Drücken, Prägen (Kaltbearbeiten) bei höchsten Anforderungen an Dehn- und Haltbarkeit	Drähte, Bleche, Profile für Turbinenschaufeln
Hellrotombak	Ms 80	80	—	Rest	Kaltbearbeiten (Kunstgewerbe)	Bleche, Metalltücher, Metallwaren
Mittelrotombak (Goldtombak)	Ms 85	85	—	Rest		
Rottombak	Ms 90	90	—	Rest		
Sondermessing gewalzt ¹	So—Ms	55 bis 62	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl, Ni bis zu 3 %	Rest	Warmpressen, Schmieden	Kolbenstangen, Verschraubungen, Stangen zu Ventilspeindeln, Profile, Dampfturbinenschaufeln für ND-Stufen, Bleche, Rohre, Warmpreßteile von hoher Festigkeit

¹ Zu beachten ist, daß innerhalb des Bereiches dieser Legierungsreihen gesetzlich geschützte Legierungen bestehen.² Ein zwischen Hersteller und Verbraucher zu vereinbarenden Siliziumgehalt ist zulässig.

Tabelle 3. Messing, Gußstücke. Güte und Leistungen (Auszug⁵ aus DIN 1709, Blatt 2).

Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung			Zu- lässige Abwei- chungen %		Min- dest- gehalt %	Zulässige Höchstmengen								Zug- festig- keit σ_B kg/mm ² min- destens	Deh- nung δ_5 % min- destens	Brinell- härte H 10/300/30 kg/mm ² min- destens	Biege- größe Bg min- destens
		ungefähr %	Zusätze	Zn	Cu	Cu+Zn		Mn	Al	Fe	Sn	Sb	As	P	Pb				
Gußmessing 63	GMs 63	Rest	bis 3 Pb	Rest	+ 2 — 1	97,0	0,20	0,05	0,50	1,00	zusammen 0,10		0,05	3,0	15	7	45	—	
Gußmessing 67	GMs 67	Rest	bis 3 Pb	Rest	+ 2 — 1	97,0	0,10	0,03	0,50	1,00	zusammen 0,10		0,05	3,0	18	20	40	33	
Sondermessing A gegossen ¹	So-GMsA 54 bis 64	Rest	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl ²	Rest	—	92,5 ³	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl		0,2	0,1	0,1	0,1	1,5	30	10	—	—	—	
Sondermessing B gegossen ^{1 4}	So-GMsB ³ 54 bis 64	Rest	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl ²	Rest	—	92,5 ³	Mn+Al+Fe+Sn bis zu 7,5 % nach Wahl		0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	35 ⁴ 45 60	30 20 15	80 100 130	50 33 20		

¹ Zu beachten ist, daß innerhalb des Bereiches dieser Legierungsreihen gesetzlich geschützte Legierungen bestehen.

² Ein zwischen Hersteller und Verbraucher zu vereinbarenden Siliziumgehalt ist zulässig.

³ Bis zu 3 % Cu können durch Ni ersetzt werden.

⁴ Als Beispiele sind drei Sondermessing B mit den zugehörigen Leistungszahlen aufgeführt. Zur Bestellung von Sondermessing B ist die gewünschte Mindestzugfestigkeit, die innerhalb 35 bis 60 kg/mm² gewählt werden kann, anzugeben.

⁵ Die Tabellen 2 und 3 sind wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68, erhältlich ist.

d) Knetlegierungen. Die aus dem Gußzustand durch Warm- und Kaltkneten zu Halbzeugen und Fertigfabrikaten umformbaren Messinglegierungen werden auch als Walz- und Schmiedemessinge bezeichnet und sind in DIN 1709 Blatt 1 (Tabelle 2) unter dem Sammelbegriff „Knetlegierungen“ zusammengefaßt. Die ungefähre Zusammensetzung dieser Legierungen ist diesem Normblatt ebenfalls zu entnehmen. Über ihren Verwendungszweck ist auf Grund ihrer Eigenschaften in großen Zügen folgendes zu sagen:

Hartmessing (Schraubenmessing), Ms 58, ist infolge seines Bleigehaltes die ausgesprochene Legierung für Schnittbearbeitung in Form von Stangen und Profilen, für Preßteile, die im Warmpreßverfahren hergestellt werden, und für stärkere Bleche.

Schmiedemessing (Muntz-Metall), Ms 60, besitzt noch eine leidliche Schnittbearbeitbarkeit und ist zum Stanzen geeignet. Es wird in Stangen, Drähten, Blechen und Rohren hergestellt.

Druckmessing, Ms 63, ist die meist verwendete Legierung für Drück- und Tiefziehzwecke und wird in Form von Blechen, Bändern, Profilen und Rohren in großem Umfange in der Metallwaren- und Elektroindustrie verarbeitet.

Halbtombak (Lötmessing), Ms 67, besitzt sehr gute Drück- und Tiefzieheigenschaften und ist überall da anzuwenden, wo Ms 63 nicht mehr genügt.

Gelbtombak (Schaufelmessing), Ms 72, ist zum Kaltziehen, Drücken und Prägen bei höchsten Anforderungen an Dehn- und Haltbarkeit geeignet; u. a. wird es zu Turbinenschaufeln und zu Geschoß- und Kartuschhülsen verarbeitet.

Hellrottombak, Ms 80; Mittelrottombak (Goldtombak), Ms 85 und Rottombak, Ms 90, werden wegen ihres schönen goldähnlichen bzw. rötlichen Farbtones viel für kunstgewerbliche Zwecke verarbeitet.

Die ersten beiden Messinge, Ms 58 und Ms 60, gehören zu den Legierungen mit $(\alpha + \beta)$ -Gefüge, alle anderen Messinge mit höherem Kupfergehalt zu den Legierungen mit α -Gefüge.

2. Herstellung und Verarbeitung.

a) Schmelzen und Gießen. Für die Weiterverarbeitung im Walz- und Preßwerk zu Messinghalbzeugen werden runde Barren oder Knüppel bzw. rechteckige Platten oder Tafeln abgegossen, deren Stückgewicht sich nach dem vorhandenen Tiegelinhalt und der Größe der zur Verfügung stehenden Arbeitsmaschinen richtet und etwa 50 bis 300 kg und mehr betragen kann. Die Zusammenstellung (das Gattieren) solcher großen Messingschmelzen erfordert große Erfahrung und die Beachtung einer Reihe von Punkten, die für den Ausfall einer brauchbaren Legierung wichtig sind. Der Einsatz besteht aus reinen Neumetallen, Kupfer und Zink, und aus einem in weiten Grenzen schwankenden Zusatz von Altmetallen als Schrott und Späne und aus kreislaufendem Abfall, d. h. Abfall aus dem eigenen Metallbetriebe. Ein Desoxydationsmittel wird zweckmäßig zur Hälfte dem Boden des Tiegels und die andere Hälfte nach dem Niederschmelzen dem Metallbad zugegeben, das außerdem noch sorgfältig mit Holzkohle oder Glaspulver abzudecken ist. Beim Niederschmelzen von Messing entsteht immer ein Metallverlust, der allgemein als Abbrand bezeichnet wird, und der vom Schmelzvorgang, von der Überhitzungs- und Gießtemperatur und von der Beschaffenheit des Einsatzes abhängig ist und beim Koksofen etwa 5·10%, beim Öl- oder Gasofen etwa 3·8% und beim Elektroofen etwa 1·5% der Einsatzmenge beträgt. Neben den mehr oder weniger vermeidbaren Verlusten durch Spritzer und Verschüttungen werden die größeren Verluste durch Zinkverdampfung und Oxydation des Schmelzgutes verursacht. Die Zinkverdampfung wird durch die im Verhältnis zu

den hohen Gießtemperaturen der Messinglegierungen ($900 \cdots 1000^\circ$) tiefer gelegene Siedetemperatur des reinen Zinks (930°) hervorgerufen. Die sich bildenden Zinkdämpfe verbinden sich mit dem Sauerstoff der Luft zu weißem, flockigem Zinkoxyd. Die Oxydation des Schmelzgutes äußert sich durch Entstehung von Oxydationserzeugnissen auf der Badoberfläche, die als „Krätze“ bezeichnet wird und noch etwa 30% kleine Metallteilchen enthält, so daß sich deren Wiedergewinnung verlohnt. Dieser Verlust kann durch Abdecken des Metallbades mit Holzkohle, Glas oder Borax wesentlich vermindert werden.

Die Metalle werden fast ausschließlich in Graphittiegeln niedergeschmolzen, die naturgemäß nur ein beschränktes Fassungsvermögen besitzen und bedeutende Kosten für ihre Beschaffung und an Brennstoffen erfordern. Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, das teure Tiegelschmelzverfahren durch unmittelbares Erhitzen im Hochofen, Flamm- oder Herdofen zu ersetzen; doch haben die

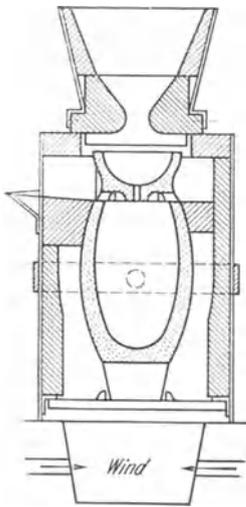


Abb. 25. Schema eines kippbaren Tiegelofens.

Versuche bisher zu keinem befriedigenden Erfolge geführt, wenn sie auch noch nicht als endgültig abgeschlossen betrachtet werden dürfen. Als Brennstoff für die Tiegelöfen ist Kohle, Koks, Gas und Öl in Gebrauch. Die mannigfachen Ofenkonstruktionen richten sich nach der Art des Feuerungsstoffes, und dieser wiederum wird so gewählt, wie er am Verwendungsorte jeweils am billigsten zur Verfügung steht und am wirtschaftlichsten verfeuert werden kann. Abb. 25 zeigt das Beispiel eines kippbaren Tiegelofens mit Koksfeuerung, der mit einer Druckwindvorrichtung ausgestattet ist. Ein Nachteil solcher Feuerungsarten besteht darin, daß schädliche Verbrennungsgase von dem Schmelzgut durch Oberflächenberührung, wenn nicht sorgfältig abgedeckt ist, und durch Diffusion durch die Tiegelwandung hindurch aufgenommen werden können. Hinzu kommt, daß die zur Verringerung der Abbrandverluste durch Verdampfung des Zinks notwendige Temperaturregelung bei offener Flammenführung sehr erschwert ist. Die ideale Lösung für genaue Einhaltung der Schmelztemperaturen bieten die elektrischen Öfen. Es gibt folgende drei Hauptgruppen von elektrischen Öfen¹,

die jeder den Strom in anderer Weise zum Schmelzen des Metalles ausnutzen:

Indirekte Strahlungsöfen, die zuerst konstruiert wurden, ersetzen lediglich die unmittelbar wirkende Flamme durch eine elektrische Widerstandsheizquelle und übertragen die erzeugte Wärme durch Strahlung vom Ofengewölbe auf das Metallbad. Eine andere Art von Öfen sind die Lichtbogen-Strahlungsöfen, die sich als Trommelöfen länger gehalten haben und noch gern zum Schmelzen von Bronzen verwandt werden.

Induktionsöfen mit gewöhnlicher Frequenz werden in großem Umfange zum Schmelzen von Nichteisenmetallen angewandt; der induzierte Strom entwickelt nach dem Jouleschen Gesetz Wärme, die das Metall zum Schmelzen bringt. Eine wichtige Eigenschaft dieser Öfen ist, daß das Metall durch elektrodynamische Kräfte in Wallung gerät und somit die einzelnen Legierungsbestandteile gut durchgemischt werden. Die Kraft, die den Umlauf im Metallbade hervorruft, ist der sogenannte Pincheffekt, dessen genaue Wirkungsweise in elektrotechnischen Fachbüchern nachzulesen ist.

¹ Vgl. WUNDRAM, Elektrowärme. Werkstattbücher, Heft 69.

Induktionsöfen mit hoher Frequenz (Hochfrequenzöfen) stellen die neueste Art elektrischer Schmelzöfen dar. Mittels Funkenstrecke oder in Hochfrequenzmaschinen wird ein Hochfrequenzstrom erzeugt, der in dem Metallbad einen Induktionsstrom und dadurch die nötige Schmelzwärme hervorruft. Auch hier tritt eine lebhaftere Bewegung des Schmelzgutes ein (Abb. 26), so daß eine gute Durchmischung der Legierungsbestandteile gewährleistet ist.

Das Abgießen aus den Schmelzöfen erfolgt in Gußformen, die aus Stein-, Eisen- oder sogenannten Kühlkokillen bestehen. Die Steinformen müssen mit einer dünnen, aber sehr festen und gleichförmigen Lehmschicht überzogen und sehr sorgfältig behandelt werden. Sie sind heute nur noch vereinzelt im Gebrauch, doch werden ihnen von den Gießern ausgezeichnete Ergebnisse nachgerühmt. Die Erklärung ist offenbar darin zu suchen, daß Stein eine sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit besitzt, so daß die Schmelze sehr langsam abkühlt und dadurch das Gefüge gleichmäßig und feinkörnig wird. Die eisernen Kokillen sind dagegen viel widerstandsfähiger und besser geeignet für den rauhen Gießbetrieb, doch haften ihnen eine Reihe von Nachteilen an: die Wände werden an den Gußflächen leicht rissig, so daß auf den Gußblöcken eine blasige und schiefrige Oberfläche entsteht, die sich bei der Weiterverarbeitung unangenehm bemerkbar macht. Die starken eisernen Kokillenwände führen die Wärme schnell ab, wodurch das Gefüge sich ungleichmäßig und grobnadlig ausbildet. Außerdem können Gasblasen und oxydische Einschlüsse infolge der schnellen Erstarrung nicht an die Oberfläche steigen, sondern werden im Gußblock mit eingeschlossen. Diese Fehler werden bei den Kühlkokillen vermieden, die sich daher wohl auch heute in allen neuzeitlichen Betrieben durchgesetzt haben. Die Kokillenwände bestehen hier aus einer dünnen Metallwand, die von Kühlwasser umflossen wird. Man hat es dadurch ganz in der Hand, die Abkühlungsgeschwindigkeit genau zu regulieren. In solchen Kokillen kann man hintereinander gießen, ohne eine schädliche Überhitzung befürchten zu müssen. Die Kokillenwände bleiben immer glatt und sauber und brauchen erst nach einigen Tausend Güssen erneuert zu werden.

b) Warm- und Kaltkneten. Die Weiterverarbeitung der Gußbarren durch Walzen, Pressen oder Ziehen in warmem oder kaltem Zustand zu Messinghalbzeugen in Form von Blechen, Bändern, Stangen, Drähten und Rohren richtet sich nach der vorhandenen Legierung, d. h. ob sie aus α - oder ($\alpha + \beta$)-Messing besteht. Die α -Mischkristalle in den Legierungen bis zu 37% Zink sind im allgemeinen in der Kälte, bei Raumtemperatur, gut bildsam, während sie bei höheren Temperaturen, abgesehen von verhältnismäßig engen Temperaturgrenzen, wenig bildsam sind. Die β -Mischkristalle in den Legierungen mit 37...46% Zink sind umgekehrt in der Kälte, bei Raumtemperatur, wenig und bei höheren Temperaturen gut bildsam. Die Warmverformung der ($\alpha + \beta$)-Messinge erfolgt daher bei Temperaturen, bei denen diese Legierungen nur aus β -Mischkristallen bestehen, also im Gebiet oberhalb der Umwandlungslinie CF im Cu-Zn-Zustandsschaubild Abb. 20. Die Bezeichnung und das Kurzzeichen für Härtezustand und Oberflächenbeschaffenheit dieser Messinghalbzeuge sind in DIN 1750 Blatt 1 und 2 festgelegt worden. Das hierüber auf S. 8 für Kupfer Gesagte gilt sinngemäß auch für Messing.

Walzen. Die gegossenen Platten der α -Messinge werden, nachdem an der

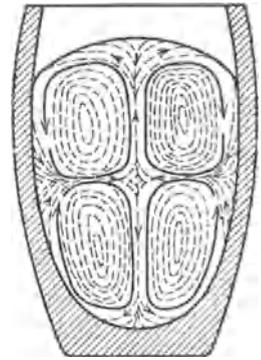


Abb. 26.
Bewegung des Schmelzgutes
im Tiegel eines Hochfrequenz-
Induktionsofens (Z. f. Metall-
kunde).

Eingußseite ein genügend breiter Streifen zur Beseitigung der Lunkerstellen abgeschnitten und die unsaubere Gußoberfläche durch Schaben, Fräsen oder Drehen beseitigt worden ist, kalt gewalzt, soweit sie es ohne Ribbildung aushalten. Die hartgewalzten Platten werden zwischengeglüht, um sie zum Weiterwalzen wieder weich zu machen, wobei die Glüh Temperatur so bemessen sein muß, daß sie vollständig erweichen, jedoch nicht überhitzt und damit grobkristallin werden. Die beim Glühprozeß entstehende oxydische Oberflächenschicht wird durch Beizen,

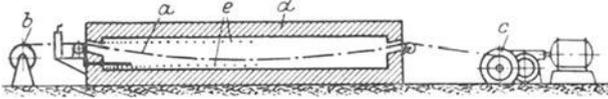


Abb. 27. Elektrischer Durchziehofen für Metallbänder.

a = Metallband; *b* = Ablaufhaspel; *c* = Zulaufhaspel; *d* = Ofenwand; *e* = Heizelement.

gewöhnlich in angewärmter, verdünnter Schwefelsäure und unter Zusatz organischer Substanzen in sogenannter „Sparbeize“, entfernt. Diese Arbeitsstufen wiederholen sich ab-

wechselnd, bis die gewünschten Abmessungen erreicht sind. Es wird in gasbeheizten Muffelöfen geglüht, um die unmittelbare Einwirkung der Ofengase auf das Glühgut zu verhindern. Nachteilig bei diesen Öfen ist, daß die Temperaturen in größeren Fassungsräumen nicht überall gleichmäßig einzuhalten sind, so daß ungleichmäßige Erweichung und örtliche Überhitzungen an den Bändern und Blechen unvermeidlich sind. Beseitigt bzw. auf ein Mindestmaß beschränkt werden diese Fehler durch die Verwendung von elektrisch beheizten Öfen,

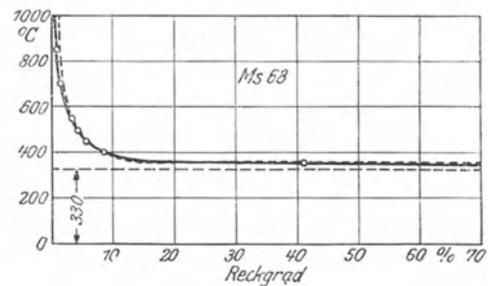
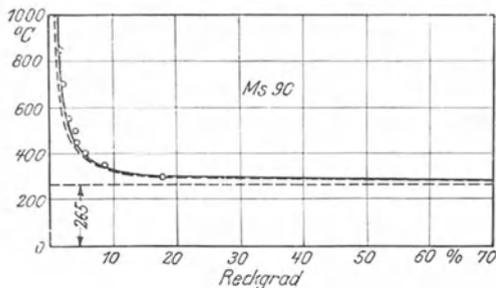
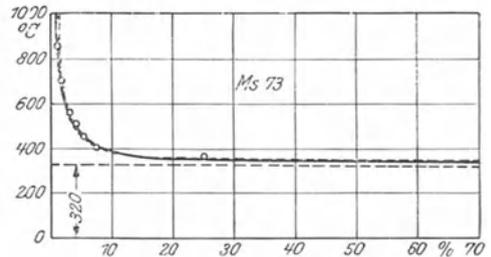
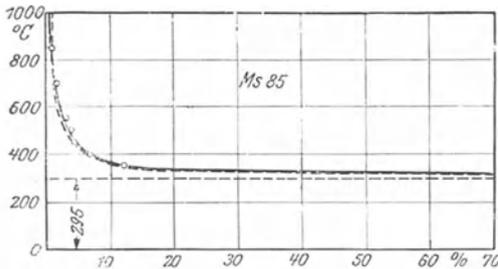


Abb. 28. Rekristallisationskurven für Ms 90 und Ms 85 (WITTEBEN).

Abb. 29. Rekristallisationskurven für Ms 73 und Ms 68 (WITTEBEN).

die für Bänder zweckmäßig als „Durchziehöfen“ (Abb. 27) konstruiert sind, und die bei genauester Temperaturregelung einen ununterbrochenen Betrieb zulassen. Auch Bleche werden heute in rationeller Arbeitsweise zuerst als breite Bänder hergestellt, die dann zuletzt in die entsprechenden Blechabschnitte abgeteilt werden.

Die Abhängigkeit zwischen dem Abwalzgrad (Reckgrad), der Glüh Temperatur und der sich im Werkstoff einstellenden Korngröße ist den Rekristallisationsgesetzen unterworfen. In den Abb. 28 und 29 sind die Mindesttemperaturen der Rekristalli-

sation für die einzelnen Messinglegierungen angegeben, die für Ms 90 mindestens 265° , für Ms 85 mindestens 275° , für Ms 73 mindestens 320° und für Ms 68 mindestens 330° betragen, also mit steigendem Zinkgehalt bei höheren Temperaturen liegen. Die Kenntnis der Rekristallisationsvorgänge ist für die Herstellung einwandfreier Blech- und Bandsorten von größter Bedeutung. Die Bleche, die zum Ätzen verwendet werden, erfordern ein sehr feinkörniges Gefüge und ebenfalls die Bleche und Bänder, die für Tiefzieh- und Drückarbeiten gebraucht werden. Ist das Ausgangsmaterial grobkörnig, dann erhalten die gezogenen und gedrückten Teile eine rauhe, narbige oder sogenannte poröse Oberfläche, so daß die Teile nicht ohne weiteres hochglanzpolierfähig sind, sondern noch durch Schleifen oder Drehen nachgearbeitet werden müssen. Durch die Tiefungsprobe nach ERICHSEN können die fertigen Bleche und Bänder vor der Verarbeitung auf diesen Fehler in einfacher Weise geprüft werden. Die Prüfung auf genügende Tiefzieh- und Drückqualität kann nach dem Verfahren von G. R. FISCHER (AEG-Mitteilungen, H. 7, Juli 1929) und von G. SACHS (Metallwirtschaft, H. 10, März 1930) vorgenommen werden. Abb. 30 zeigt eine Probe mit genügender Tiefung und glatter Oberfläche von einem feinkörnigen, und Abb. 31 eine Probe mit genügender Tiefung, aber rauher und



× 75



Abb. 30. Feinkörniges α -Messing mit glatter Tiefungsprobe.



× 75

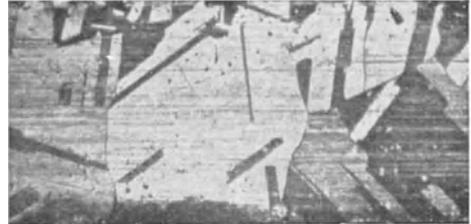


Abb. 31. Grobkörniges α -Messing mit rauher Tiefungsprobe.

narbiger Oberfläche, von einem grobkörnigen Blech. Muß bei weitgehendem Ziehen zwischengeglüht werden, so ist sehr darauf zu achten, daß nicht durch Überglühung der Werkstoff grobkörnig und damit verdorben wird.

Beim Ziehen und Drücken reißt mitunter der Werkstoff auf, was meist auf hartes, nicht genügend erweichtes Gefüge oder auf Fehler im Ziehwerkzeug zurückzuführen sein wird. Bei Ms 63, der wohl für diese Zwecke am häufigsten verwendeten Legierung, kann aber auch bei sonst genügenden mechanischen Eigenschaften ein Werkstofffehler vorliegen, der durch die Herstellung bedingt ist. Während Ms 63 als reines α -Messing an sich eine kalt walzbare Legierung darstellt, ist es doch gelungen, auch diese Legierung unter bestimmten Voraussetzungen warm zu walzen wie ein $(\alpha + \beta)$ -Messing. Hierzu gehört, daß der Cu-Gehalt so niedrig wie möglich, etwa bei 62,5%, und auch der Pb-Gehalt möglichst gering, unter 0,1%, durch Legieren mit Feinzink, gehalten wird. Infolge des niedrigen Cu-Gehaltes

hat diese Legierung aber bei der Warmwalztemperatur bzw. der Glüh­temperatur von $600 \cdots 650^\circ$ die Umwandlungslinie BE des Cu-Zn-Zustandsschaubildes bereits überschritten, d. h. neben den α -Kristallen sind jetzt auch β -Kristalle vorhanden. Wird nunmehr aus diesem Gebiet nicht langsam genug abgekühlt, um wieder einen vollständigen Konzentrationsausgleich herbeizuführen, dann werden auch in dem



Abb. 32. α -Gefüge mit dunklen β -Einschlüssen.

durch längeres Glühen bei $400 \cdots 500^\circ$, kann die unerwünschte β -Ausscheidung jedoch beseitigt werden.

Fehlerhaftes Blech- oder Bandmaterial wird auch durch oxydische Einschlüsse, Gasblasen und Lunken im Gußblock hervorgerufen. Beim Walzen werden diese Fehlstellen gestreckt und gebreitet, aber es tritt kein Verschweißen der Kristalle an diesen Stellen ein, so daß ein sogenanntes „doppeltes“ oder „schichtiges“ Blech

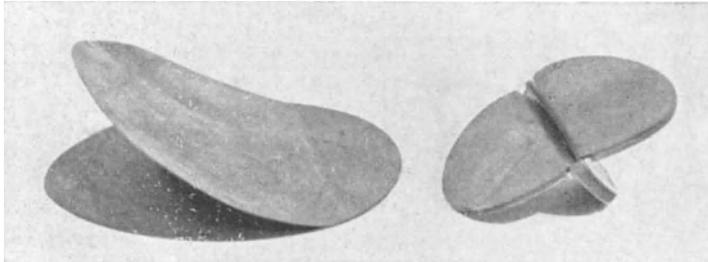


Abb. 33. Schichtiges Messingblech.

entsteht. Dieser Werkstofffehler zeigt sich meist erst bei der Weiterverarbeitung dadurch, daß das Blech an den Schnittkanten aufklafft (Abb. 33) oder bei einer Wärmebehandlung durch Zwischenglühen an der Oberfläche Blasen bekommt.

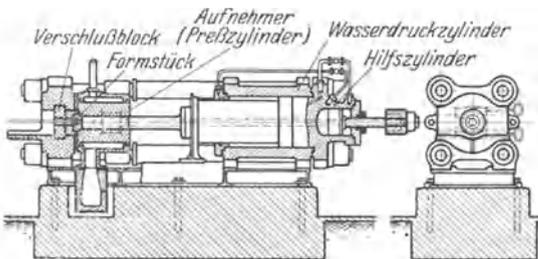


Abb. 34. Querschnitt durch eine Dicksche Strangpresse.

ersparnis bedeutet, da die gewünschte Stange gleich in einem Arbeitsgang fertig-

Pressen¹. Die Rund- und Profilstangen und Rohre aus Messing werden auf der hydraulischen Strangpresse (Abb. 34), nach ihrem Erfinder auch Dicksche Presse genannt, hergestellt, was gegenüber dem Walzverfahren eine bedeutende Zeit-

¹ Siehe auch PETER: Das Pressen der Metalle. Werkstattbücher H. 41.

gestellt wird. Die Messingsorten, die für dieses Herstellungsverfahren hauptsächlich in Frage kommen, sind folgende warmknetbaren Legierungen:

Druckmessing Ms 63,
mit 63% Cu, Rest Zn.

Schmiedemessing
(Muntzmetall) Ms 60, mit
60% Cu, Rest Zn.

Hartmessing (Schraubenmessing) Ms 58, mit 58% Cu, 2% Pb, Rest Zn.

Die gegossenen Rundbarren von 80...180 mm Durchmesser, im Gewicht von 50 bis 250 kg, werden auf Preßtemperatur von etwa 750° erhitzt und in den Aufnehmer (Rezipienten) der Strangpresse eingebracht. Durch Wasserdruck wird nun der Preßstempel gegen das Metall gedrückt und dieses durch die in die Matrize eingearbeitete Profilloffnung hinausgepreßt. Das Pressen von Rohren geschieht derart, daß der Gußbarren zuerst gelocht und dann über einen Dorn durch die Matrizenöffnung gepreßt wird. Beim sogenannten umgekehrten Preßverfahren wird nicht das Material gegen die Matrize, sondern umgekehrt die Matrize gegen den Preßbarren bewegt. Rundstangen können bis etwa 100 mm Höchstdurch-

messer und Profilstangen in jeder beliebigen Form (Abb. 35) hergestellt werden, jedoch sind möglichst geringe Querschnittsunterschiede und 2 mm Mindestwandstärken erforderlich. In gepreßter Form befindet sich der Werkstoff in weichem Zustande und hat eine Maßgenauigkeit von mindestens $\pm 0,3$ mm je nach den Abmessungen.

Das Preßverfahren arbeitet gezwungenermaßen mit einem Abfall von etwa 15...30%, der dadurch entsteht, daß der Gußblock nicht ganz aus dem Aufnehmer herausgehoben werden darf, wenn man ein einwandfreies Stangenmaterial erhalten will. Der Preßvorgang ist in Abb. 36 schematisch dargestellt, woran zu ersehen ist, daß die oxydische Oberfläche des Gußbarrens mit fortschreitender Pressung zusammengedrückt und zum Schluß mit in die Stange hineingepreßt wird. Es entsteht dadurch Material mit oxydischen Einschlüssen, die so stark auftreten können, daß sich lange Hohlkanäle bilden, was unter dem Namen „hohlgepreßtes“

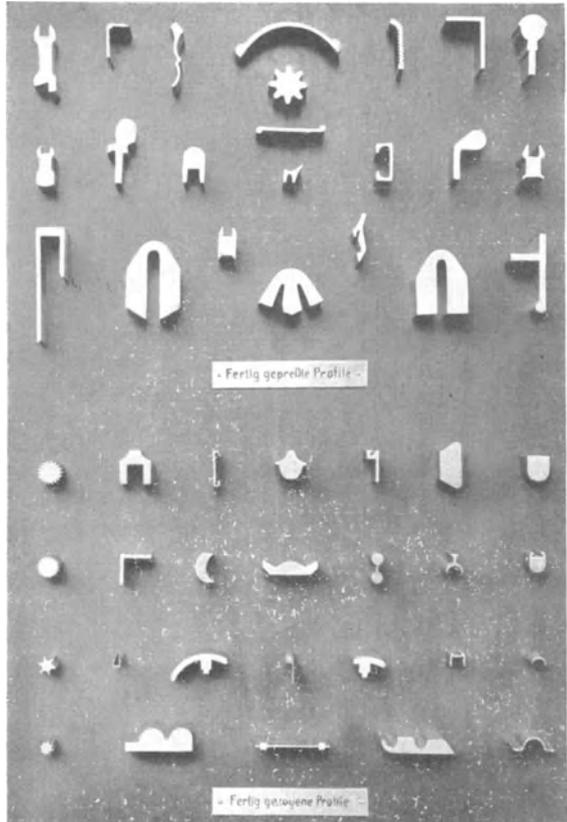


Abb. 35. Gepreßte und gezogene Messingprofile.

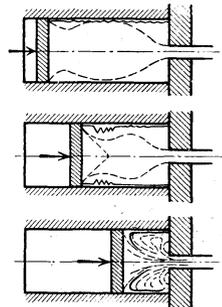


Abb. 36. Fließvorgang beim Stangenpressen (SCHWEISSGUTH).

Material bekannt ist. Zu vermeiden ist dieser Fehler nur dadurch, daß der im Aufnehmer verbleibende Restblock nicht zu klein bemessen wird.

Bei den Preßstangen aus den Legierungen Ms 58 und Ms 60 kann man am Anfang und Ende im letzten Drittel der Stangen eine verschiedene Gefügebildung beobachten, die durch die Abkühlung des Preßbarrens im Aufnehmer während des Preßvorganges im zeitlichen Verlauf von einigen Minuten hervorgerufen wird. Der Anfang der Preßstangen zeigt das als nadlig bezeichnete ($\alpha + \beta$)-Gefüge (Abb. 22), in dem sich die hellen, kupferreichen α -Mischkristalle als mehr oder weniger fein ausgebildete Nadeln innerhalb der dunkleren β -Mischkristalle ausgeschieden haben; sie bilden ein mehr oder weniger stark zusammenhängendes Netzwerk, wodurch der Charakter der spröden β -Mischkristalle zurückgedrängt und das Material weicher und zäher wird. Gegen das Ende der Pressung hat sich dagegen offenbar der Gußbarren besonders an den Stahlwänden des Aufnehmers schon bis unter die Umwandlungstemperatur abgekühlt, so daß in den Preßstangenenden das Bild des feinen, körnigen ($\alpha + \beta$)-Gefüges mit rundlichen α -Kristallen entsteht (Abb. 37). Hier liegen die α -Mischkristalle in rundlicher (körniger)

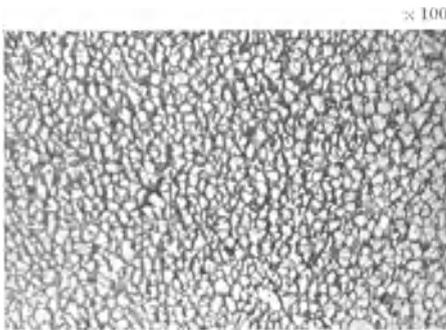


Abb. 37. Körniges ($\alpha + \beta$)-Gefüge im Ms 58.

Form in der spröden β -Grundmasse ohne Zusammenhang eingebettet, so daß der Charakter der spröden β -Mischkristalle mehr zur Geltung kommt und das Material härter wird.

Die Rückbildung des rekristallisierten, körnigen ($\alpha + \beta$)-Gefüges in das normale nadlige Gefüge kann durch eine reine Glühbehandlung erreicht werden. Beim Glühen oberhalb der Umwandlungslinie im β -Zustandsfeld und nachfolgender Abkühlung an Luft bildet sich wieder das normale, nadlige ($\alpha + \beta$)-Gefüge aus. Es ist dabei darauf zu ach-

ten, daß die Glühung so lange im β -Gebiet ausgeführt wird, bis die körnigen α -Kristalle vollständig aufgezehrt sind und sich bei der nachfolgenden schnellen Abkühlung dann wieder neu in Nadelform bilden können.

Die gepreßten Stangen können unmittelbar verarbeitet oder in der Teilpresserei zu gebrauchsfertigen Warmpreßteilen weiterverarbeitet werden (Abb. 38). Das Herstellungsverfahren ist folgendes: Die in der Strangpresse hergestellten Rund- oder Profilstangen werden auf automatischen Sägen in Abschnitte vom Stückgewicht des fertigen Preßteiles zerschnitten und die Abschnitte dann z. B. unter Reibtriebpressen in preßwarmem Zustand von etwa 750° in Stahlgesenken fertiggepreßt. In der Herstellungsart der Preßteile sind eine Reihe von Eigenschaften begründet, die ihre Überlegenheit gegenüber Messingguß klar erkennen lassen. Die Dichtigkeit ist durch die Vorverdichtung des Gußblockes bei der Erzeugung der Preßstangen, die als Vormaterial für die Preßteile dienen, als vollkommen zu bezeichnen. Durch die Fertigpressung in Stahlgesenken wird bei unbeschränkter Stückzahl eine Maßgenauigkeit von mindestens $\pm 0,3$ mm und eine saubere, glatte Oberfläche erzielt; als weitere Folge wird in den meisten Fällen dadurch eine Nacharbeit überflüssig. Als Werkstoff kommen praktisch alle Messinglegierungen in Frage, die die Verarbeitung in Stangenform durch Warmkneten zulassen, also hauptsächlich die genormten Legierungen Ms 58, Ms 60 und das warm knetbare Ms 63. Der günstigste Stückpreis von Metallpreßteilen liegt wegen der hohen Werkzeugkosten naturgemäß erst bei höheren Stückzahlen, die aber je nach Größe

und Gewicht der Preßteile sehr verschieden sind. Bei der konstruktiven Formgebung von Preßteilen sind die preßtechnischen Erfordernisse zu berücksichtigen; es können Wandungen bis zur Mindeststärke von 2 mm ausgeführt werden.

Ziehen. Als Ausgangsmaterial für den Ziehprozeß dienen hauptsächlich die auf der Strangpresse und, zum geringeren Teile, die auf dem Warmwalzwerk hergestellten Rund- und Profilstangen in Stangenform und bei schwächeren Dimensionen auch in Ringform. Die Stangen werden auf Schleppezangenziehbanken durch Zieheisen kalt gezogen, wobei das Material je nach dem angewandten Reckgrad eine mehr oder weniger große Härtesteigerung erfährt und die Maßtoleranzen in sehr engen Grenzen gehalten werden können. Die prozentuale Querschnittsabnahme bei den einzelnen Zügen hängt von der Art des Werkstoffes ab und beträgt bei den Messingen etwa 20% bei einer Ziehgeschwindigkeit von $2 \cdots 15$ m/min je nach der Größe der Ziehbanken. Sobald die größtmögliche Härtesteigerung, die

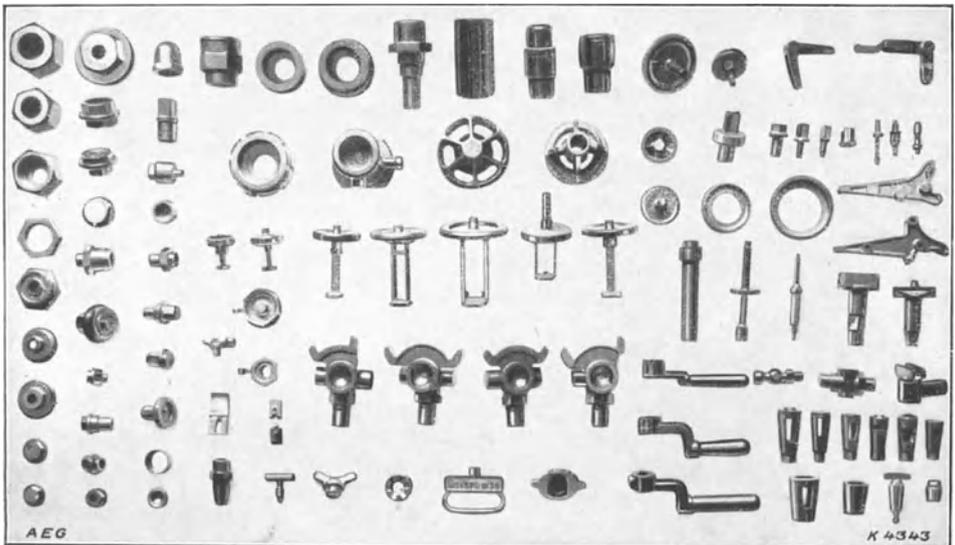


Abb. 38. Eisenbahnpreßteile.

bei etwa 50% Querschnittsverringering liegt, erreicht ist, muß vor dem Weiterziehen zwischengeglüht werden. Man verwendet dazu gasbeheizte Muffelöfen oder noch besser elektrische Öfen, die eine genaue Temperaturregelung gestatten. Zu vollkommener Erweichung ist eine Glüh Temperatur von $600 \cdots 650^{\circ}$ erforderlich bei einer Glühdauer von $3 \cdots 6$ h, je nach der Menge des eingesetzten Glühgutes. Vor dem Weiterziehen werden die geglühten Stangen durch Beizen von der anhaftenden Zunderschicht befreit. Die fertiggezogenen Stangen werden nunmehr auf Richtmaschinen mit verstellbaren Walzen genau gerade gerichtet. Bei großen und sperrigen Profilen wird von Hand auf Richtböcken gerade gerichtet.

Die α -Messinge Ms 63 bis Ms 90 lassen eine weitgehende Kaltverformung zu, so daß dünne Drähte bis zu 0,1 mm herunter gezogen werden können. Die $(\alpha + \beta)$ -Messinge Ms 60 und Ms 58 dagegen können gewöhnlich nur bis zur Mindestdrahtstärke von $1 \cdots 2$ mm verarbeitet werden.

Kaltgezogene Messingstangen besitzen oft die unangenehme Eigenschaft, nach kürzerer oder längerer Zeit ohne äußeren ersichtlichen Grund beim Lagern oder

im Betriebe aufzureißen. Abb. 39 zeigt eine derartige Stange mit weitklaffenden Rissen und starken Formveränderungen, die beweisen, daß der Werkstoff mit inneren Spannungen behaftet war. Diese Reckspannungen entstehen durch die

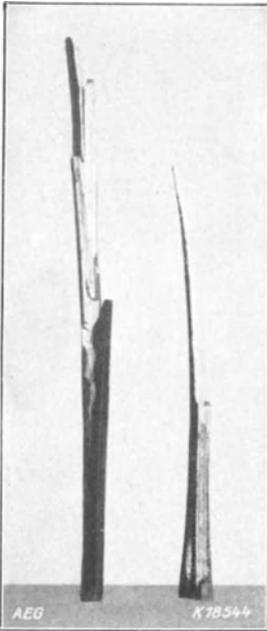


Abb. 39. Infolge innerer Kaltreckspannungen aufgerissene Messingstangen.

Kaltreckung beim Ziehen und bestehen aus Zug- und Druckspannungen, die sich über den gezogenen Querschnitt verteilen und im Gleichgewicht halten. Abb. 40 zeigt schaubildlich die Spannungsverteilung über einen gezogenen Querschnitt, bei dem die äußeren Zonen unter Zugspannung und die Kernzone unter Druckspannung stehen. Wird dieser Spannungsgleichgewichtszustand etwa durch Entfernen der äußersten Stabschicht gestört, dann überwiegt die eine oder andere Spannung, und der Werkstoff wirft sich oder reißt gar auf. Die Störung des Spannungsgleichgewichtszustandes wird in der Praxis durch mechanische Bearbeitung des Werkstoffes oder statt dessen auch durch geringfügige Korrosion der Oberflächenschichten hervorgerufen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß gezogenes Messing in einer Atmosphäre mit Ammoniak- oder Ammoniaksalzgehalt besonders stark zum Aufreißen neigt, wenn auch die Zerstörung infolge der langsamen Einwirkung oft erst nach Jahren eintritt. Säuren greifen Messing nicht in dieser Weise an, so daß bei ihnen das Aufreißen des Messings nicht zu befürchten ist. In ähnlicher und noch stärkerer Art als Ammoniak wirken Quecksilber und Quecksilberlösungen, die deshalb auch bei der Prüfung auf Reckspannungen zum Nachweis dienen. Wird ein mit inneren Spannungen behaftetes Messing in Quecksilber oder in eine Quecksilbernitratlösung von 1,5% eingetaucht, so reißt

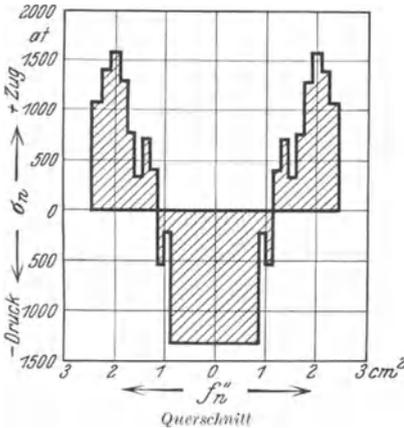


Abb. 40. Reckspannungen einer kaltgezogenen Messingstange Ms 58 (nach E. HEYN).

der Gegenstand je nach der Größe der vorhandenen Spannungen sofort oder nach längerer Zeit auf. Schwächere, im sogenannten kritischen Verformungsbereich vorgenommene Kaltreckungen sind dabei gefährlicher als die stärkeren. Aus weichen Blechen und Bändern kaltgezogene oder gedrückte Messingteile zeigen dieselbe Neigung aufzureißen (Abb. 41). Schutzüberzüge metallischer und nichtmetallischer Art sind nicht immer wirksam, sondern oftmals noch schädlich, wenn sie das Messing angreifen.

Ein wirksames Mittel gegen das Aufreißen kann nur darin bestehen, die inneren Spannungen restlos zu beseitigen. Dies sucht man dadurch zu erreichen, daß man die Stangen mit dem Holzhammer abklopft oder richtet. Ein unbedingt sicheres Mittel, spannungsfreies Messing zu erzielen, besteht darin, es unterhalb seiner Rekristallisationstemperatur, also bei 250...300°, zu erhitzen (anzulassen), also bei einer Temperatur, bei der die mechanischen Eigenschaften noch keine Änderung erfahren. Abb. 42 zeigt die

Spannungsverteilung in einer Messingstange nach dreistündigem Anlassen auf 230° , wobei der Spannungsausgleich schon fast vollkommen eingetreten ist.

e) **Schnittbearbeitung.** Bestimmte Mes-

singlegierungen sind mit schneidenden Werkzeugen vorzüglich zu bearbeiten. Der Grund ist darin zu suchen, daß sich beim Bohren, Drehen und Fräsen unter Verwendung hoher Schnittgeschwindigkeiten „spritzi-ge“ Späne bilden, worunter kurze, brüchige Flocken zu ver-

stehen sind. Ungünstig verhalten sich dagegen Messinge mit langen, lockigen Spänen, die sich um das Werkzeug wickeln und sich daran festsetzen. Hierdurch werden die Schneidkanten der Werkzeuge unzulässig stark erwärmt, so daß sie nach kurzer Zeit stumpf werden. In derartigen Fällen wird das Material häufig als „zu hart“ beanstandet. Der Grund liegt jedoch nicht an der zu großen Härte, gemessen an der Kugeldruckhärte, sondern an der Zusammensetzung und der Gefügeausbildung der Legierung.

Die α -Messinge mit ihrem hohen Cu-Gehalt sind wegen ihrer Zähigkeit und lockigen Spanbildung samt und sonders nicht gut mit schneidenden Werkzeugen zu bearbeiten. Günstiger verhält sich schon das kupferärmere Ms 60, das neben den zähen α -Kristallen bereits spröde β -Kristalle aufweist. Man wird diese Legierung überall da anwenden, wo neben der Schnittbearbeitbarkeit noch eine größere Biegefähigkeit von dem Werkstoff verlangt wird. Die Legierung, die die beste Schnittbearbeitbarkeit aufweist, ist das Hartmessing Ms 58 oder auch Schraubenmessing genannt. Neben dem niedrigen Kupfergehalt wird hier die spritzige Spanbildung noch durch einen Zusatz von Blei bis zu 3% begünstigt. Blei ist im Messing unlöslich und findet sich in feiner punktförmiger Verteilung im Gefüge eingelagert. Hierdurch wird das zähe Grundgefüge aufgelockert und ein brüchiger Span gebildet. Neben der Zusammensetzung spielt aber bei der Schnittbearbeitung auch die Art der Gefügeausbildung eine gewisse Rolle: ob das Gefüge in nadliger oder in körniger ($\alpha + \beta$)-Struktur vorliegt. Körniges Gefüge scheint sich ungünstiger zu verhalten, doch ist eine eindeutige Beurteilung dieses strittigen Punktes bisher noch nicht möglich gewesen. Interessant ist und durch Versuche bestätigt, daß nicht allein die Zusammensetzung der Legierung und das Gefüge, sondern noch die Art des Gußeinsatzes von wesentlicher Bedeutung ist, und zwar derart, daß der unreinere Versatz bessere Ergebnisse zeitigt. Nicht zuletzt ist natürlich auch die Schneidenform der Werkzeuge von wesentlichem Einfluß auf die Spanbildung. Die Vielgestaltigkeit der Faktoren, die die Schnittbearbeitbarkeit des Messings beeinflussen, läßt es verständlich erscheinen,

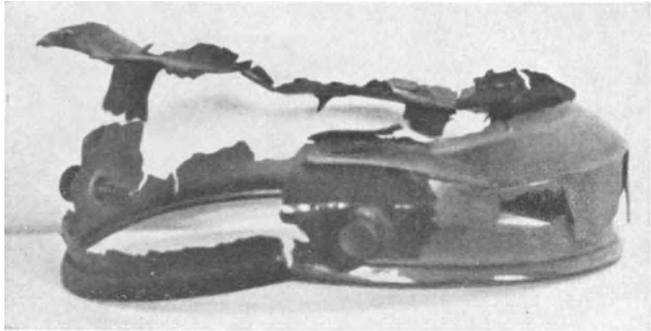


Abb. 41. Infolge innerer Spannungen zerstörtes Messingdrückteil.

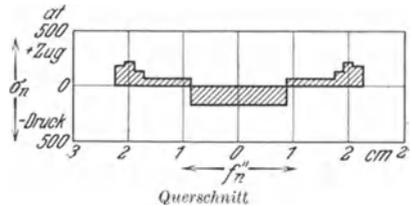


Abb. 42. Reckspannungen einer kaltgezogenen Messingstange Ms 58 nach 3stündigem Erhitzen bei 230° (nach E. HEYN).

daß die Fehlerursache beim Versagen oft nicht leicht zu erkennen ist und nicht immer auf mindere Güte des Messings zurückzuführen ist.

d) Löten und Schweißen. Messing kann durch Löten und Schweißen zusammengefügt werden. Zum Löten bedient man sich immer eines metallischen Bindemittels, der sogenannten Lote. Es werden Weich- oder Schnellote und Hart- oder Schlaglote unterschieden, die im wesentlichen gleichbedeutend sind mit Legierungen mit einem niedrigen bzw. hohen Schmelzpunkt. Die Weichlote setzen sich meist aus leicht schmelzenden Blei-, Zinn- oder ähnlichen Legierungen zusammen (s. DIN 1707) und werden überall da angewendet, wo es nicht so sehr auf eine hohe Festigkeit der Lötnaht ankommt und die gelöteten Teile keinen höheren Temperaturen ausgesetzt werden. Weiterhin ist zu beachten, daß der Farbton der Weichlote mehr oder weniger stark von der Messingfarbe abweicht und deshalb Weichlote nur bei Gegenständen zu gebrauchen sind, die nachträglich noch bronziert oder vergoldet, kurz, mit einer färbenden Oberflächenschicht versehen werden. Diese Übelstände werden durch die Hart- oder Schlaglote ausgeschaltet, die aus einer reinen Kupfer-Zink-Legierung bestehen und in DIN 1711 genormt sind. Ihre schwerere Schmelzbarkeit muß dabei mit in Kauf genommen werden. Oftmals erhalten die Hartlote noch Zusätze anderer Metalle, besonders von Zinn, um sie leichtflüssiger zu machen. Grundsätzlich ist beim Hartlöten darauf zu achten, daß das Lot immer einen niedrigeren Schmelzpunkt besitzt als das zu lötende Messing. Haupterfordernis für eine gute Lötung ist ferner, daß die Haftflächen metallisch rein sind. Dies erreicht man mechanisch oder chemisch durch Beizen und durch Verwendung von Lötmitteln, die die anhaftende Oxidschicht auf chemischem Wege beseitigen. Hierzu gehören Salmiak, Terpentin, Kolophonium und die verschiedensten Lötstoffe, die mittels Talg in eine plastische Form gebracht werden, und weiterhin Borax, pulverisiertes Glas, Wasserglas und noch eine Reihe anderer im Handel erhältlicher Mittel. Bei einer einwandfreien Lötung muß eine innige Verbindung infolge Diffusion zwischen Lot und Mutterwerkstoff stattgefunden haben.

Geschweißt wird im Gegensatz zum Löten ohne Lot, unter Umständen unter Zuhilfenahme eines Füllwerkstoffes von gleicher Zusammensetzung. Messing wird meist mittels Gasschmelzschweißung durch Azetylen-Sauerstoff-Flamme und neuerdings in steigendem Umfange mittels elektrischer Stumpf-, Naht- und Punktschweißverfahren geschweißt. Die Schweißtemperaturen liegen am Schmelzpunkt, so daß die Gefügebeschaffenheit der Schweißstellen der von Gußmaterial entspricht. Wird die Schweißstelle zur Beseitigung des Gußgefüges noch durch Glühen oder Warmkneten nachbehandelt, dann wird ein gleichmäßiges Gefüge erreicht und damit eine mechanische Festigkeit, die der des Mutterwerkstoffes kaum nachsteht.

e) Oberflächenbehandlung. Das Aussehen der Messingoberflächen kann durch die verschiedensten Behandlungsverfahren wesentlich verändert werden. Durch Beizen in einem Schwefelsäurebad werden Gußkrusten und Zunderschichten entfernt und durch Brennen in einem Salpetersäure-Schwefelsäure-Bad glänzende Oberflächen erzielt. Mechanische Bearbeitung durch Abdrehen, Schleifen und Polieren erzeugt glattblanke Oberflächen. Auf chemischem Wege in den verschiedensten Laugen und Bädern werden alle möglichen Farbtonungen auf den Messingoberflächen erzeugt. Weiterhin lassen sich auf Messing eine Reihe metallischer Überzüge, wie Zinn, Nickel, Chrom, Silber, Platin u. a. aufbringen. Um das Mattwerden und Anlaufen dieser Oberflächen zu verhindern, werden die fertigen Teile meist noch mit einem farblosen Lack oder Zapon überzogen. Alle diese vorgenannten Oberflächen-Behandlungsverfahren sind eine Wissenschaft für

sich und können daher im Rahmen dieses Heftes nicht erschöpfend behandelt werden, so daß auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen werden muß.

3. Physikalische Eigenschaften.

a) **Thermische Eigenschaften.** Der Schmelzpunkt der Messinglegierungen ist je nach der Zusammensetzung verschieden. Das Schmelzen oder die Erstarrung geht nicht bei einem Temperaturpunkt vor sich, sondern erstreckt sich über einen Temperaturbereich (Intervall), der dem Cu-Zn-Zustandsschaubild (Abb. 20) zu entnehmen ist.

Die Wärmeleitfähigkeit ist bei einem Messing mit 70% Cu und 30% Zn

bei 90°	191°	315°	und 430°	cal
zu 0,242	0,262	0,274	und 0,280	

festgestellt worden.

Tabelle 4.

Die Wärmeausdehnung ist für α -Messing mit 35% Zn und für $(\alpha + \beta)$ -Messing mit 45% Zn nach MERICA und SCHAD in Tabelle 4 angegeben.

Die spezifische Wärme ist von DOERINCKEL und WERNER an drei Messinglegierungen ermittelt worden; die Werte sind der Abb. 43 zu entnehmen.

b) **Elektrische Eigenschaften.** Alle Messinglegierungen sind unmagnetisch und finden deswegen überall dort als Baustoffe Verwendung, wo es auf diese Eigenschaft besonders ankommt, wie beispielsweise bei Meßinstrumenten und bei magnetischen Kompassen. Kleinste Beimengungen von Eisen im Messing können diese Eigenschaft störend beeinflussen, weshalb die zum Einsatz gelangenden Messingabfälle und -späne sorgfältig unter Zuhilfenahme von Magnetscheidern auf Eisenfreiheit zu behandeln sind. Das fertige unmagnetische Messing wird mit empfindlichen Magnetsnadeln auf Eisenfreiheit abgesehen.

Die elektrische Leitfähigkeit der Messinglegierungen ist abhängig von ihrem Zinkgehalt und wird durch diesen infolge Mischkristallbildung stark herabgedrückt.

Abb. 44 zeigt die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit vom Zinkgehalt, wobei im Bereich der α -Messinge die Leitfähigkeit dauernd stark absinkt und im Bereich der $(\alpha + \beta)$ -Messinge wieder etwas

Temperaturbereich	α -Messing	$(\alpha + \beta)$ -Messing
zwischen 20 und 100°	22,8 · 10 ⁻⁶	20,0 · 10 ⁻⁶
„ 100 „ 200°	22,0 · 10 ⁻⁶	21,0 · 10 ⁻⁶
„ 200 „ 300°	21,9 · 10 ⁻⁶	23,6 · 10 ⁻⁶
„ 300 „ 400°	22,2 · 10 ⁻⁶	28,0 · 10 ⁻⁶
„ 400 „ 500°	23,4 · 10 ⁻⁶	35,0 · 10 ⁻⁶
„ 500 „ 600°	23,6 · 10 ⁻⁶	27,0 · 10 ⁻⁶

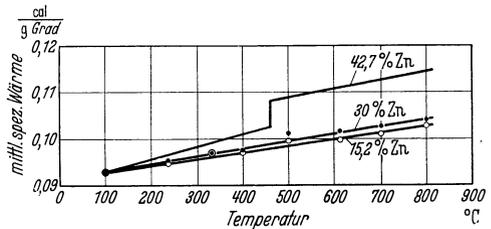


Abb. 43. Mittlere spezifische Wärme von drei Messinglegierungen (nach F. DOERINCKEL u. M. WERNER).

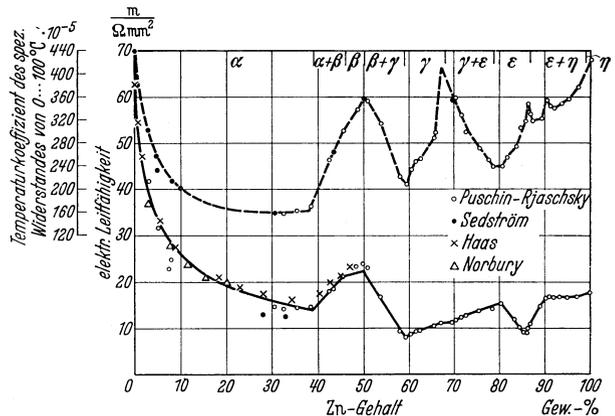


Abb. 44. Elektrische Leitfähigkeit und Temperaturkoeffizient der Kupfer-Zink-Legierungen.

ansteigt. Bei den genormten Messinglegierungen ist etwa mit folgenden Leitfähigkeiten zu rechnen:

Ms 90 ~ 24 $\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$ bei 20°	Ms 67 ~ 15 $\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$ bei 20°
Ms 85 ~ 20 „ „ 20°	Ms 63 ~ 14 „ „ 20°
Ms 80 ~ 19 „ „ 20°	Ms 60 ~ 15 „ „ 20°
Ms 72 ~ 16 „ „ 20°	Ms 58 ~ 16 „ „ 20°

c) **Mechanische Eigenschaften.** Das spezifische Gewicht der Messinglegierungen ändert sich etwas mit ihrem Zinkgehalt und ist naturgemäß für Gußmessing geringer als für durch Warm- oder Kaltknetung verdichtetes Material. Es ergeben sich folgende Werte:

Spezifisches Gewicht	Spezifisches Gewicht
GMs 67 = 8,2 g/cm ³	Ms 72 = 8,6 g/cm ³
GMs 63 = 8,2 „	Ms 67 = 8,5 „
Ms 90 = 8,8 „	Ms 63 = 8,5 „
Ms 85 = 8,7 „	Ms 60 = 8,5 „
Ms 80 = 8,65 „	Ms 58 = 8,5 „

Der Elastizitätsmodul für Messinggußmetall beträgt 8000···10000 kg/mm² und für Reckmetall in weichem Zustand 10000···12000 kg/mm². Durch Kaltreckung wird der Elastizitätsmodul nicht wesentlich geändert.

Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Brinellhärte. Diese Festigkeitseigenschaften sind für Gußmessing GMs 63 und GMs 67 in DIN 1709 Blatt 2 (Tabelle 3 S. 24) genormt. Für handelsübliches, kaltgewalztes Messingblech, Messingband und Messingstreifen aus Ms 60 und Ms 63 sind die Festigkeitswerte zwischen 34 und 52 kg/mm² Zugfestigkeit in DIN 1774 und für Blech und Band für Federn aus Ms 63 in DIN 1778 zu finden. Für nahtlos gezogenes Messingrohr aus Ms 60 und Ms 63 sind die mechanischen Werkstoffeigenschaften in DIN 1775 und für Messingvollprofile aus Ms 58, Ms 60 und Ms 63 in DIN 1776 zusammengefaßt worden. Für die übrigen Messinglegierungen sind die Festigkeitswerte noch nicht in einer Norm festgelegt, erreichen aber die in Tabelle 5 enthaltenen Werte.

Tabelle 5. Festigkeitseigenschaften genormter Messinglegierungen.

Markenbezeichnung	DIN	Benennung	Farbton (poliert)	Zustand	Verhältniszahl	Zugversuch DIN 1605		Brinellhärte kg/mm ²
						Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung (l = 10 d) %	
Ms 67	1709	Halbtombak (Lötmessing)	grünlichgelb	weich	1	28···33	40	55···70
				halbhart	1,2	33···40	25	70···90
				hart	1,4	38···46	15	90···110
				federhart	1,8	50···60	5	115···145
Ms 72	1709	Gelbtombak (Schaufelmessing)	grünlichgelb	weich	1	25···33	40	~ 60
				halbhart	1,2	32···39	30	~ 75
				hart	1,4	38···45	18	~ 95
				federhart	1,8	48···60	8	~ 130
Ms 80	1709	Hellrottombak	hellrot	weich	1	~ 26	40	~ 60
				halbhart	1,2	~ 33	30	~ 75
				hart	1,4	~ 42	15	~ 95
				federhart	1,8	~ 50	5	~ 130
Ms 85	1709	Mittelrottombak (Goldtombak)	goldgelb	weich	1	~ 25	40	~ 55
				halbhart	1,2	~ 32	30	~ 70
				hart	1,4	~ 40	15	~ 90
				federhart	1,8	~ 45	5	~ 125
Ms 90	1709	Rottombak	goldrot	weich	1	~ 25	40	~ 55
				halbhart	1,2	~ 32	30	~ 70
				hart	1,4	~ 40	15	~ 90
				federhart	1,8	~ 45	5	~ 125

Die Festigkeitssteigerung aus dem weichen in den halbharten, harten und federharten Zustand kann bei Messing nur durch Kaltbearbeitung erfolgen und erreicht für ein Ms 63 für die verschiedenen Abwalzgrade die Werte der Tabelle 6.

Tabelle 6. Festigkeitseigenschaften von Ms 63 für verschiedene Abwalzgrade.

Abwalzgrad	Streckgrenze σ_S	Zugfestigkeit σ_B	Bruchdehnung δ_{10}	Brinellhärte 5/250/30 H
%	kg/mm ²	kg/mm ²	%	kg/mm ²
0	9	32	60	57
5	19	34	51	70
9,5	24,5	37	39	78
20	32	40	28	95
39	48	52	7,5	128
60	57,5	63	5,0	152
80	65	71,5	4,5	165

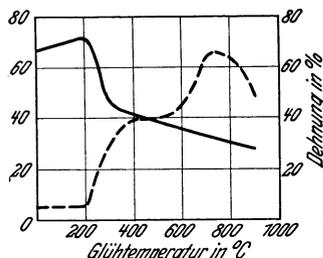


Abb. 45. Einfluß des Glühens auf die Festigkeit kaltgewalzten Messings Ms 67 (nach GRARD).

Die durch Kaltreckung hervorgerufene Festigkeitssteigerung kann durch eine nachfolgende Glühbehandlung wieder aufgehoben werden, d. h. das ursprünglich harte Material wird wieder weich. Abb. 45 zeigt den Einfluß der Glühtemperatur auf Festigkeit und Dehnung eines kaltgewalzten Ms 67. Bei der Rekristallisationstemperatur von etwa 200° sinkt die Zugfestigkeit stark ab, und die Dehnung wird entsprechend höher. Aber erst bei etwa 600...700° ist die niedrigste Zugfestigkeit bei höchster Dehnung erreicht. Darüber hinaus macht sich die Überglühung bemerkbar, indem gleichzeitig Zugfestigkeit und Dehnung geringer werden. Man wird demnach mit einer günstigsten Glühtemperatur von 600...650° zu arbeiten haben.

Streckgrenze. Die Streckgrenze (0,2% Grenze) ist bei Messing in weichem Zustand verhältnismäßig niedrig. Sie erfährt aber bei gezogenem Material eine wesentliche Erhöhung und nähert sich bei starken Reckgraden immer mehr der Zugfestigkeit, wie am Beispiel Tabelle 7 zu ersehen ist.

Warmfestigkeit. Es ist oftmals von großer Wichtigkeit, die Festigkeitseigenschaften eines Werkstoffes bei einer bestimmten Betriebstemperatur zu wissen. Diese Warmfestigkeitswerte sind bei der angegebenen Temperatur selbst ermittelt worden. Bei

Tabelle 7. Festigkeitsverhältnisse von Ms 58.

Zustand des Ms 58	Zugfestigkeit σ_B	Streckgrenze σ_S	Verhältnis $\sigma_S : \sigma_B$
	kg/mm ²	kg/mm ²	
gepreßt, weich . .	43	15	~ 0,35
gezogen, halbhart .	47	29	~ 0,6
gezogen, hart . . .	52	38	~ 0,75

Warmzerreiversuchen spielt der Zustand des verwendeten Werkstoffes eine wesentliche Rolle, ob Gumetall, kaltgerecktes oder kaltgerecktes und ausgeglühtes Material vorliegt. Kaltgerecktes Messing behält seine Festigkeit bei Erwärmung bis zur Rekristallisationstemperatur (s. Abb. 28 und 29) bei, geht bei dieser auf seine Grundfestigkeit im weichen Zustand zurück und wird dann weiter bei steigender Temperatur in seiner Festigkeit verringert. In Tabelle 8 liegt das Ausgangsmaterial für die Warmzerreiversuche immer im weichgeglühten Zustand vor.

Im allgemeinen gilt also das Gesetz, daß die Festigkeit mit steigender Temperatur abnimmt, während die Dehnung dagegen kein einheitliches Verhalten zeigt.

Dauerfestigkeit. Eingebaute Konstruktionsteile sind nur selten einer reinen, ruhenden Belastung, sondern meist schwingender Beanspruchung ausgesetzt, so daß die Kenntnis ihres zahlenmäßigen Wertes für die Bemessung von Bauteilen von großer Bedeutung ist. Die größte Spannung, die im Wechsel zwischen einem

Tabelle 8. Warmfestigkeit von Messinglegierungen.

Mat.:	1		2		3		4	
Temp. °C	Zug- festigkeit kg/mm ²	Dehnung (l = 50 mm) %						
20	23	3	40	55	36	33	30	45
100	—	—	30	50	—	—	30	40
150	—	—	—	—	—	—	30	35
200	—	—	26	40	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	—	27	15
300	11	12	17	13	24	13	—	—
350	—	—	—	—	20	10	20	5
400	5,5	12	12	25	11	15	—	—
450	4	14	—	—	10	20	—	—
500	2,5	21	—	—	5	22	—	—

1. Gußmessing (Cu: 57 %, Pb: 0,1 %, Zn: Rest).
2. Hartmessing Ms 58 (Cu: 58 %, Pb: 2 %, Zn: Rest).
3. Schmiedemessing Ms 60 (Cu: 60 %, Pb: 0,4 %, Zn: Rest).
4. Messing (Ms 70 (Cu: 70 %, Zn: Rest).

positiven und negativen Höchstwert beliebig oft ertragen werden kann, wird als Wechselfestigkeit bezeichnet; sie beträgt für ein Ms 60 mit $45 \cdots 65 \text{ kg/mm}^2$ Zugfestigkeit etwa $15 \cdots 18 \text{ kg/mm}^2$ und für ein Ms 72 mit $35 \cdots 38 \text{ kg/mm}^2$ Zugfestigkeit etwa $14 \cdots 16 \text{ kg/mm}^2$. Diese Werte gelten jedoch nur für einen Werkstoff mit einwandfreier, polierter Oberfläche. Bei einer Oberfläche mit Rauigkeit, Drehriefen, Kerben, Korrosionsangriff u. dgl. muß man noch mit $10 \cdots 25\%$ niedrigeren Werten rechnen.

4. Chemische Eigenschaften.

Gegen die Einwirkung der Atmosphäre, die mehr oder weniger mit den verschiedensten Abgasen durchsetzt ist, gegen den Einfluß der verschiedenen Wasser (Flußwasser, Seewasser, Abwasser) und schließlich gegen die mannigfachen Angriffsmittel im Haushalt und Industrie zeigt Messing ein verschiedenartiges Verhalten, so daß im allgemeinen keine eindeutigen Angaben über die Bewährung dieser oder jener Messinglegierung abgegeben werden können, und daß daher zweckmäßig von Fall zu Fall der Versuch entscheidet. Immerhin können aus der Legierungszusammensetzung und ihrem Gefügebau einige allgemein gültige Schlüsse gezogen werden. Bei der Zweistofflegierung Messing ist die Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff günstiger, wenn sich das Gefüge nur aus einer gleichartigen, homogenen Mischkristallart zusammensetzt, wie es beim α -Messing der Fall ist. Und hiervon zeigen wiederum die höher kupferhaltigen Legierungen ein besseres Verhalten. Die Korrosion wird allgemein als ein elektrochemischer Vorgang gedeutet, der beim α -Gefüge längs der Korngrenzen und Zwillinge einsetzt. Das Zink wird aus den Mischkristallen herausgelöst, so daß eine schwammartige, kupfrige Masse ohne festen mechanischen Zusammenhalt zurückbleibt, die bei geringster Beanspruchung zu Bruch geht. Abirrende (vagabundierende) Ströme rufen starke Korrosionen hervor, die charakteristische Merkmale aufweisen. Die Anfressungen sind punktförmig (pockennarbig) und haben eine metallisch blanke Oberfläche. Bei der Korrosion als elektrochemischem Vorgang spielt die Stellung des betreffenden Metalles in der Spannungsreihe die wesentliche Rolle, wobei das unedlere Metall ungleich stärker angegriffen wird. Aus diesem Grunde muß daher unter allen Umständen vermieden werden, verschiedene Metalle im Beisein eines Elektrolyten zusammenzubringen, da sonst unvermeidlich galvanische Zersetzung eintritt. Die gleiche Gefahr liegt bereits bei einer Legierung

vor, deren Gefüge sich nicht aus einer einheitlichen, sondern aus mehreren Kristallarten zusammensetzt, wie es beim $(\alpha + \beta)$ -Messing der Fall ist. Aus den zinkreicheren β -Mischkristallen wird zuerst das Zink herausgelöst, und erst wenn diese zersetzt sind, werden auch die kupferreicheren α -Mischkristalle angegriffen. Für die Messinge ergibt sich hieraus allgemein die Regel, daß die α -Messinge ein günstigeres chemisches Verhalten zeigen als die $(\alpha + \beta)$ -Messinge.

Noch nicht eindeutig geklärt ist der Einfluß verschiedener Wärmebehandlung und mechanischer Behandlung auf die Widerstandsfähigkeit gegen korrodierende Einflüsse. Die Oberflächenbeschaffenheit spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle, und zwar ist die Korrosionsgefahr um so geringer, je glatter und sauberer die Oberfläche ist.

B. Sondermessing.

1. Allgemeines.

Die Eigenschaften der reinen Kupfer-Zink-Legierungen, der Messinge, lassen sich durch Zusatz eines oder mehrerer Elemente wesentlich beeinflussen. Hierdurch entstehen Legierungen, die sogenannten Sondermessinge, mit größerer Härte und Festigkeit, besserer Korrosionsbeständigkeit, höherer Ermüdungsfestigkeit usw., überhaupt Legierungen mit stahl- und bronzeähnlichen Eigenschaften. Aus dieser Tatsache heraus haben sich im Handel unzählige Markenbezeichnungen gebildet, die überhaupt nicht mehr erkennen lassen, daß es sich um Sondermessinge handelt. Der Deutsche Normenausschuß hat daher festgelegt, daß „Sondermessing eine Legierung ist, die außer Kupfer und Zink mit überwiegendem Kupfergehalt einen oder mehrere gütesteigernde Bestandteile enthält. Blei rechnet nicht zu den gütesteigernden Bestandteilen. Der Kupfergehalt des Sondermessings beträgt mindestens 54 %“. Bei den in DIN 1709 Blatt 1 und 2 (Tabelle 2 und 3, S. 23 und 24) angegebenen Sondermessingen bewegen sich für das gegossene Sondermessing A (So-GMs A) und Sondermessing B (So-GMs B) die Cu-Gehalte zwischen 54 und 64 % und die Zusätze an Mn + Al + Fe + Sn bis zu 7,5 %, und beim gewalzten Sondermessing (So-Ms) die Cu-Gehalte zwischen 55 und 62 % und die Zusätze ebenfalls bis zu 7,5 % nach Wahl des Herstellers. Genaue Zusammensetzung und Festigkeitseigenschaften der gegossenen Sondermessinge A und B sind in DIN 1709 Blatt 2 enthalten.

2. Herstellung und Verarbeitung.

a) **Einfluß der Zusätze.** Die Mehrzahl der Sondermessinge enthält mehrere Zusätze zusammen, die neben den Eigenschaften auch das Gefüge in bestimmter Weise beeinflussen, und zwar werden bei Lösbarkeit die Grenzen für die α - und β -Mischkristallbildung verschoben. Die eine Gruppe der Zusätze, wie z. B. das Nickel, erhöht scheinbar den Kupfergehalt, während die andere Gruppe, wozu Mangan, Aluminium, Zink, Magnesium, Silizium und Eisen gehören, scheinbar den Kupfergehalt erniedrigt. In solchen Fällen ähnelt das Gefüge der Sondermessinge dem der α - bzw. $(\alpha + \beta)$ -Messinge. Werden jedoch die Zusatzmetalle nicht in fester Lösung aufgenommen, dann können sie in freier Form oder als neue Phasen auftreten, so daß sich ein andersartiges Gefügebild ergibt (Abb. 46).

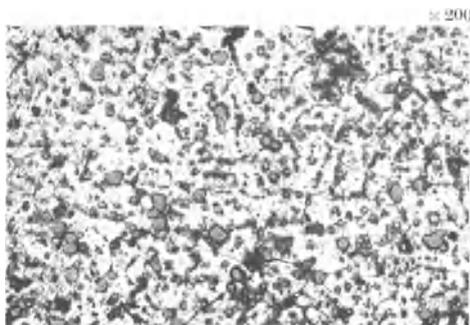


Abb. 46. Gefüge eines Sondermessings.

Die Legierungszusätze werden meist in Form von Vorlegierungen zugegeben. Solche sind: Mangankupfer für Mangan, Eisenkupfer oder Ferrozink für Eisen, Aluminiumkupfer für Aluminium und Nickelkupfer für Nickel. Die Metalle mit einem niedrigen Schmelzpunkt werden unmittelbar zugesetzt, während die chemisch sehr aktiven Zusätze, wie Aluminium, Zinn usw., erst kurz vor dem Gießen zulegiert werden. Der Einfluß der einzelnen Zusätze ist folgender:

Mangan wirkt als Desoxydationsmittel für Messing, wenn auch nicht so kräftig wie Phosphor. In überschüssigen Mengen bis zu etwa 4% steigert es die Zugfestigkeit und Dehnung und nicht zuletzt die Korrosionsbeständigkeit, besonders gegen Seewasser. Bei höheren Mangangehalten wird das Material jedoch spröde.

Eisen wird nur in geringem Maße bis etwa 0,4% im Messing gelöst, darüber hinaus scheidet es sich als neuer Bestandteil in Form von eckigen, bläulichen Einschlüssen aus. Eisen bewirkt eine Verfeinerung des Gefüges und eine Erhöhung der Zugfestigkeit, doch wird bei Auftreten des Sonderbestandteiles die Dehnung erniedrigt. Eine weitere Folge des Sonderbestandteiles ist eine verminderte Korrosionsbeständigkeit, da durch örtliche Elementbildung elektrolitische Zersetzung eintreten kann. Infolge seiner geringen Löslichkeit ist Eisen immer nur in Form von Vorlegierungen in die Schmelze einzubringen, da sonst eine gleichmäßige Verteilung des Eisens kaum möglich ist.

Blei ist im Messing ebenfalls praktisch nicht löslich und im Gefüge als punktförmige, blaugraue Einschlüsse wiederzufinden. Bleizusatz bis zu etwa 3% bewirkt im Messing eine gute Schnittbearbeitbarkeit (s. S. 35), ohne die Festigkeit und Dehnung nennenswert zu steigern. Aus diesem Grunde rechnet man auch bleihaltiges Messing nicht zu den Sondermessingen.

Zinn wird bis zu etwa 0,7% ohne merkliche Gefügeveränderung zugesetzt, doch bei höheren Gehalten tritt ein neuer, blaugrauer Gefügebestandteil vornehmlich an den Korngrenzen auf. Mit höherem Kupfergehalt kann auch der Zinngehalt größer sein, der jedoch meist 1% nicht übersteigt. Nur bei zinnhaltigen Tombaklegierungen für Federzwecke findet man bis zu 6% Zinnzusatz. Die Bedeutung des Zinnzusatzes liegt weniger in der Härtesteigerung, die nur verhältnismäßig gering ist, als vielmehr in der besseren Korrosionsbeständigkeit, hauptsächlich gegen Seewasser.

Aluminium erhöht in starkem Maße Festigkeit und Härte, doch wird bei Gehalten über 2% die Dehnung stark erniedrigt, weswegen man im allgemeinen nicht über 4% hinausgeht. Aluminiumhaltiges Messing ist gut warmknetbar und eignet sich daher gut zum Warmpressen.

Silizium kann nur in geringen Mengen zugesetzt werden, da es die Dehnbarkeit ungünstig beeinflusst. Meist wird es nur dem Messing als Desoxydationsmittel zugesetzt. In einigen Fällen ist aber auch ein größerer Si-Zusatz bis etwa 5% mit Erfolg angewendet worden.

Nickel ist ein beliebtes Zusatzelement, da es die mechanischen Eigenschaften in günstiger Weise steigert. Es entspricht in seiner Wirkung auf das Gefüge dem Kupfer, so daß in nickelreichen Sondermessingen der Kupfergehalt entsprechend niedriger gehalten werden kann. Im Gefüge ist Nickel nicht unmittelbar zu erkennen, da es vollkommen gelöst wird. Der Korrosionswiderstand des Sondermessings wird durch steigenden Nickelgehalt günstig beeinflusst.

Wismut und Antimon sind als die schädlichsten metallischen Beimengungen zu bezeichnen, da sie schon bei Gehalten von 0,005% bzw. 0,01% die Tiefzieh- und Biegefähigkeit bzw. die Kaltknetbarkeit von Messing ungünstig beeinflussen.

Die handelsüblichen Sondermessinge enthalten gewöhnlich nicht nur ein Zu-

satzelement, sondern mehrere, die in ihrer Wirkung aufeinander abgestimmt sind und unzählige Kombinationsmöglichkeiten zulassen.

b) Verarbeitung und Verwendung. Die Sondermessinge werden als Gußlegierungen für Sand- und Kokillenguß und als Recklegierungen im geschmiedeten, gewalzten und gepreßten Zustand hergestellt. In ihren Eigenschaften übertreffen sie teilweise Bronze und Rotguß und sind gewöhnlich billiger als diese. Bei der Herstellung zu Gußstücken bereiten die Sondermessinge indess einige Schwierigkeiten, da sie stark zum Schwinden und Lunkern neigen. Durch Anbringen großer, verlorener Köpfe und bei einiger Erfahrung in der Herstellung der Modelle und Formen lassen sich aber fehlerfreie Gußstücke erzielen.

Das Verwendungsgebiet für die Sondermessinge liegt hauptsächlich im Maschinen- und Schiffbau und chemischen Apparatebau für hochbeanspruchte Konstruktionsteile und für Teile, die eine gewisse Korrosionsbeständigkeit besitzen müssen. Sie werden daher als Trieb- und Schneckenräder, Wellen, Turbinen- und Zentrifugalpumpenräder, Schiffsbeschläge, Schiffspropeller und ähnliche Teile mit gutem Erfolge verwendet. Auch als Lagermetall eignen sich diejenigen Sondermessinge, bei denen im Gefüge harte Bestandteile in einer weichen Grundmasse eingebettet liegen, so daß die charakteristischen Merkmale für ein gutes Lagermetall gegeben sind.

3. Physikalische Eigenschaften.

a) Thermische Eigenschaften. Der Schmelzpunkt der Sondermessinglegierungen richtet sich im großen und ganzen nach ihrem Kupfer- und Zinkgehalt wie bei den Messingen, ohne daß die Zusätze eine wesentliche Temperaturverschiebung hervorrufen.

b) Elektrische Eigenschaften. Die Sondermessinge sind unmagnetisch, sofern sie keinen Eisengehalt aufweisen, der sich störend bemerkbar macht.

Die elektrische Leitfähigkeit erreicht teilweise die der $(\alpha + \beta)$ Messinge mit etwa $15 \frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$, doch wird durch Art und Menge der Zusatzelemente die Leitfähigkeit auch bis auf $6 \frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ bei 20° heruntergedrückt.

c) Mechanische Eigenschaften. Das spezifische Gewicht der Sondermessinge schwankt etwas je nach der Menge der Zusätze, bewegt sich aber in der Größenordnung der folgenden Legierungen:

$$\begin{aligned} \text{Aeternametall} &= 8,2 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Deltametall} &= 8,6 \text{ ,,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Duranametall} &= 8,3 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Spreemetall} &= 8,3 \text{ ,,} \end{aligned}$$

Der Elastizitätsmodul liegt nicht für alle Legierungen genau fest, kann aber wertmäßig zwischen $9000 \cdots 12000 \text{ kg/mm}^2$ angenommen werden.

Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte. Die mechanischen Eigenschaften der Sondermessinge schwanken je nach ihrer Zusammensetzung in sehr weiten Grenzen. Im Rahmen dieses Büchleins können daher nur an Hand einiger Beispiele die Grenzen angedeutet werden, mit denen bei Sondermessingen zu rechnen ist. Wie die Tabelle 9 zeigt, werden dabei Festigkeitswerte erreicht, die denen guter Stahlsorten gleichkommen, und die zu den vergleichenden Markenbezeichnungen geführt haben. Die Festigkeitswerte sind abhängig von dem Zustand des Werkstoffes, ob er als Gußstück, gepreßtes oder kaltgezogenes Stangenmaterial vorliegt. Wegen der Mannigfaltigkeit dieser Sonderlegierungen sind zweckmäßig genaue Angaben den Werbeschriften der Herstellerfirmen zu entnehmen.

Warmfestigkeit. Die Festigkeitseigenschaften bei höheren Betriebstemperaturen sind oftmals ausschlaggebend für die Verwendungsmöglichkeit der Werk-

Tabelle 9. Mechanische Eigenschaften von Sondermessingen.

Benennung	Zustand	Zugfestigkeit kg/mm ²	Streckgrenze (0,2% Grenze) kg/mm ²	Bruchdehnung (l=10 d) %	Brinellhärte kg/mm ²
Aeternamettall (V. L. 22) . . .	gepreßt	60...70	28...32	16...10	140...170
Deltamettall . . .	gegossen	38...60	12...30	36...12	90...150
	gepreßt	45...69	16...32	31...21	100...160
	geschmiedet	44	17	36	100
Duranamettall . .	gegossen	41...70	18...40	34...20	90...160
	geschmiedet	60...70	50...60	20... 6	130...160
Finowmetall . . .	gepreßt	45...60	15...25	15...25	100...120
Rübelbronze . . .	gegossen	40...70	16...32	35... 8	80...160
	gepreßt	45...75	32...42	35...12	100...190
Spreemettall . . .	gepreßt	45...50	15...20	20...25	105...120
	gezogen	50...55	25...35	15	120...130

stoffe. Die Sondermessinge sind darin den reinen Messingen überlegen, besonders auch die kaltgezogenen Stangen, da infolge der Zusätze die Rekristallisation, bei der die Festigkeitsabnahme eintritt, in höhere

Tabelle 10. Warmfestigkeit von Sondermessing mit 55,1% Cu, 41,9% Zn, 0,84% Fe, 0,77% Sn, 0,52% Pb, 0,36% Mn, 0,28% Ni und 0,07% Al.

Prüf- temperatur ° C	Zug- festigkeit kg/mm ²	Bruch- dehnung (l = 50 mm) %
20	63	21
250	33	40
300	25	47
350	18	60
420	7	59
475	5	51
510	4	48
535	2,4	106
700	1,5	162

Temperaturgrade gerückt ist. In Tabelle 10 ist für ein Sondermessing die Warmfestigkeit angegeben (nach BENGOUGH). Die hohe Dehnung bei höheren Temperaturen zeigt außerdem, daß die Warmverarbeitbarkeit dieses Werkstoffes sehr gut ist.

4. Chemische Eigenschaften.

Die Sondermessinge besitzen gegenüber den reinen Messingen eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe. Bei einer Reihe von Legierungen, besonders den mangan- und zinnhaltigen, spricht man von „seewasserbeständiger Bronze“. Bei der unendlichen Fülle der Möglichkeiten des chemischen Angriffes, wie sie sich in der Praxis bieten, ist kaum eine ge-

nerelle Beurteilung der Sondermessinge möglich, da auch planmäßige Untersuchungen hierüber der Öffentlichkeit in größerem Umfange nicht bekannt sind. Zweckmäßig wird also ein Versuch von Fall zu Fall die günstigste Legierung herausfinden müssen. Allgemein kann aber gesagt werden, daß bei Sondermessingen, bei denen sich neben den α - und $(\alpha + \beta)$ -Mischkristallen noch Sonderbestandteile im Gefüge vorfinden, die Gefahr der Korrosion durch örtliche Elementbildung in stärkerem Maße vorhanden ist als bei Legierungen mit möglichst homogener (gleichmäßiger) Gefügeausbildung.

III. Bronze.

A. Zinnbronze.

1. Allgemeines.

Die Bronze ist bereits im Altertum eine bekannte Kupferlegierung gewesen und wurde als Werkstoff für Waffen, Hausgeräte und Schmuck verwendet.

Mit Bronze wird eine Legierung mit vorwiegendem Kupfergehalt und einem zweiten Zusatzelement bezeichnet; doch ausgenommen sind die Cu-Zn-Legierungen, die den Namen Messing tragen. Die Bronzen haben sich schon in der ältesten Zeit aus dem Bestreben heraus entwickelt, dem weichen Kupfer durch Zusatzstoffe günstigere mechanische Eigenschaften, besonders eine größere Härte zu verleihen. In besonders starkem Maße wird diese Wirkung durch einen Zinnzusatz hervorgerufen, was den alten Völkern ebenfalls bekannt war, da die alten Bronzefunde vorwiegend aus Kupfer und Zinn bestehen. Selbst in reinen Zinnbronzen werden aber häufig noch mehr oder weniger geringe Mengen anderer Metalle vorgefunden, die teils durch das verwendete Rohmaterial ungewollt, teils zur bestimmten Veränderung der Eigenschaften absichtlich in die Schmelze gelangt sind. So kann neben Blei, Antimon, Eisen, Mangan, Wismuth, Aluminium, Magnesium, Nickel und Zink auch Phosphor, Arsen und Schwefel in geringer Menge vorhanden sein. Bei Wiedereinschmelzen von Bronzeabfällen ist es daher ziemlich schwierig, immer eine in der Zusammensetzung gleichmäßige Bronze herzustellen.

Blei verschlechtert im allgemeinen selbst in geringen Mengen die mechanischen Eigenschaften einer Gußbronze, doch kann es in bestimmten Fällen sogar in Mengen bis über 20% ein wertvoller Zusatz sein. Derartige, als „Sonderbronzen“ zu bezeichnende Legierungen haben sich als Lagermetalle gut bewährt (s. S. 51). Eisen und Nickel wirken härtend unter gleichzeitiger Verringerung der Zähigkeit; Beimengungen von Arsen und Schwefel machen schon in kleinsten Mengen die Bronze spröde. Zink in geringer Menge zugesetzt verbessert die Gießbarkeit der Zinnbronzen; doch bei größeren Gehalten, etwa über 2%, bekommen diese Legierungen die Eigenart von Rotguß. Der schöne Farbton und die geschätzte Patina der Bronzen verliert sich dann auch in eine unschöne, schwarzbraune Oberflächenfarbe.

Phosphor dagegen übt wegen seiner desoxydierenden Wirkung einen günstigen Einfluß auf die Bronzelegierungen aus, so daß derartig behandelte Legierungen auch als Phosphorbronzen bezeichnet werden. Der Name stammt von KÜNZEL, der erstmalig in Deutschland umfassende Versuche mit diesen Legierungen angestellt hat. Diese Benennung ist jedoch insofern nicht gut gewählt, weil selbst die besten Bronzen kaum nachweisbar oder nur Spuren Phosphor enthalten. Der Zweck des Phosphorzusatzes soll auch nicht in einer unmittelbaren Verbesserung der Bronze bestehen, sondern in einer chemischen Einwirkung, indem der in der Schmelze als Zinnsäure vorhandene, schädliche Sauerstoff in phosphorsaures Salz verwandelt wird und als Schlacke abgezogen werden kann. Die Phosphorbronze zeigt wegen der reinigenden Wirkung des Phosphors gute mechanische Eigenschaften, besonders werden Festigkeit, Härte und Zähigkeit gesteigert; sie besitzt auch eine gute Düninflüssigkeit, so daß sie sich besonders für dünnwandige Gußstücke eignet. Bei höherem Phosphorgehalt aber, etwa über 1%, tritt jedoch die entgegengesetzte Wirkung ein: die Bronze wird spröde und brüchig.

Bei der Herstellung der Phosphorbronze wird nicht Phosphor rein zugesetzt, da dieser bei der hohen Schmelztemperatur der Bronze verbrennen und gesundheitsschädliche Dämpfe entwickeln würde, sondern man benutzt fertige Legierungen von Kupfer oder Zinn mit viel Phosphor, die im Handel erhältlich sind, also Phosphorkupfer oder Phosphorzinn. Im Tiegelofen wird etwa 0,5···2% Zusatzmetall niedergeschmolzen, während bei größeren Gußmengen im Flammofen das Zusatzmetall erst der geschmolzenen Bronze zugegeben wird, um ein in den Flammgasen stärkeres Ausbrennen des Phosphors zu vermeiden. Die Schmelze muß gut durchgerührt werden und vor dem Guß noch einige Zeit abstehen, damit der Phosphor genügend seine desoxydierende Wirkung ausüben kann.

mit homogenen α -Mischkristallen erhalten. Schon von 5% Sn ab treten außerdem im Gefüge nicht allein die α -Mischkristalle auf, wie es nach dem Zustandschaubilde sein müßte, sondern es kommt bereits das Eutektoid ($\alpha + \delta$) hinzu, gewissermaßen als habe der Kupfergehalt schon die 14%-Grenze überschritten. Auch hier kann das Gefügegleichgewicht erst durch längeres Glühen bei höheren Temperaturen erreicht werden.

Diese Erstarrungsvorgänge haben bei den Bronzen eine Erscheinung zur Folge, die auf den Bruchflächen zu beobachten ist: Flecke von grauer bis rotbrauner Farbtonung, die um so häufiger auftreten, je langsamer die Abkühlung verlief, und um so mehr verschwinden, je schneller der Guß erstarrte. Die Farbunterschiede sind darauf zurückzuführen, daß der Bruch teils in den kupferreichen Kristallachsen (rotbraun), teils in den Kristallrändern (grau) verläuft. Bei kleinen Kristallen, die bei schnellerer Abkühlung erhalten werden, verwischen sich die Farbunterschiede mehr und mehr, so daß man am Aussehen der Bruchflächen bereits eine Beurteilung in der Hand hat, wie die Erstarrungsgeschwindigkeit des Gusses gewesen sein kann.

Bei der Herstellung von Gußblöcken aus Bronze ist noch häufig eine Erscheinung zu beobachten, die mit den Abkühlungsverhältnissen im Zusammenhang steht: Seigerungen (Entmischung) derart, daß der Blockrand kupferärmer und die Blockmitte kupferreicher ist, ein Ergebnis, das mit den Erfordernissen des Zustandsschaubildes offenbar im Widerspruch steht. Denn die zuerst erstarrenden Schichten am Rande des Blockes müßten kupferreicher sein als die zuletzt erstarrende Mitte. Das entgegengesetzte Verhalten wird als „umgekehrte Blockseigerung“ bezeichnet. Ihre Ursachen liegen in starkem Temperaturgefälle zwischen Rand und Blockmitte, in der Kristallisations- und Diffusionsgeschwindigkeit der Legierung, in der Abkühlungsgeschwindigkeit und Gießtemperatur und nicht zuletzt am Gasdruck. Je höher die Gießtemperatur, um so größer die Gefahr der umgekehrten Blockseigerung, während langsames Abkühlen den Fehler verringert. Das Seigerungsvermögen der Bronzen wird durch einen Zusatz von Zink vermindert, während es durch einen Eisen-, Nickel-, Mangan- und besonders Bleizusatz vergrößert wird.

b) Gußlegierungen. Die Zinnbronzen werden hauptsächlich im gegossenen Zustand verwendet, da sie bei Gehalten über 10% Sn in kaltem Zustand kaum noch eine Reckbeanspruchung zulassen. Die an sich unzähligen Legierungsmöglichkeiten bei Zinnbronzen sind in DIN 1705 in folgende drei Legierungen: Gußbronze 20 (GBz 20), Gußbronze 14 (GBz 14) und Gußbronze 10 (GBz 10) zusammengefaßt, die im allgemeinen auch für alle Forderungen der Praxis genügen dürften. Die Zahl gibt den Zinngehalt an. In DIN 1705, Bl. 1, sind Richtlinien für die Verwendung der einzelnen Legierungen und im Blatt 2 Güte und Leistungen (Tabelle 11), d. h. chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften, angegeben.

Die Bronzen werden im Tiegelofen oder bei großen Gußmengen im Flammofen erschmolzen, und zwar wird zuerst das Kupfer und dann das Zinn im angewärmten Zustand eingesetzt. Neben reinem Kupfer und Zinn wird auch gern Altmaterial eingeschmolzen, da dadurch besonders bei kleinen Mengen die Zusammensetzung gleichmäßiger ausfällt. Beim Schmelzprozeß ist durch sorgfältiges Abdecken darauf zu achten, daß die Schmelze möglichst keinen Sauerstoff aus der Luft aufnimmt, da hierdurch das Material dickflüssiger und Festigkeit und Dehnung schlechter wird. Der aufgenommene bzw. der bereits im Kupfer als Kupferoxydul vorhandene Sauerstoff setzt sich mit dem Zinn nach folgender Formel um: $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Sn} = 4\text{Cu} + \text{SnO}_2$ (Kupferoxydul + Zinn = Kupfer + Zinnsäure). Es

Tabelle 11. Bronze und Rotguß, Gußstücke, Güte und Leistungen (Auszug aus DIN 1705 Bl. 2)¹.

Gruppe	Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung ungefähr				Zulässige Abweichungen		Mindestgehalt	Zulässige Höchstmengen										Zugfestigkeit σ_B kg/mm ² min-destens	Bruchdehnung δ_5 % min-destens	Brinellhärte H 10/100/30 kg/mm ² min-destens
			Cu	Sn	Zn	Pb	Cu	Sn		Cu+Sn	Pb	Sb	Fe	Mn	Bi	Al	Mg	S	As			
Zinnbronzen	Gußbronze 20	GBz 20	80	20	—	—	—2,0	+2,0	99,0	1,0	0,2	0,3	0,2	0,01	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	15	—	170
	Gußbronze 14	GBz 14	86	14	—	—	±1,0	±1,0	99,0	1,0	0,2	0,2	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	20	3	85	
	Gußbronze 10	GBz 10	90	10	—	—	±1,0	±1,0	99,0	1,0	0,1	0,2	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	20	15	60	
	Rotguß 10 (Maschinenbronze)	Rg 10	86	10	4	—	±1,0	±1,0	95,0	1,5	0,3	0,3	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	20	10	65	
Rotguß	Rotguß 9	Rg 9	85	9	6	—	±0,5	±0,5	93,0	2,0	0,3	0,2	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	20	12	60	
	Rotguß 8	Rg 8	82	8	7	3	±1,0	±1,0	88,0	4,0	0,5	0,5	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	15	6	70	
	Rotguß 5	Rg 5	85	5	7	3	±1,0	±1,5	90,0	5,0	0,3	0,2	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	15	10	60	
	Rotguß 4 (Flaschenbronze)	Rg 4	93	4	2	1	±1,0	±1,0	97,0	2,0	0,1	0,2	0,2	0,01	0,01	0,05	0,15	0,5	20	20	50	

¹ Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68 erhältlich ist.

² Nickel ist in allen Legierungen gegen Kupfer aufzurechnen. Eine Überschreitung bis etwa 1 %, herrührend aus Altstoffen, soll vorläufig nicht beanstandet werden.

bildet sich also unlösliche Zinnsäure, die in Form feiner Häutchen und Kriställchen den Materialzusammenhang stört und die schlechten mechanischen Eigenschaften hervorruft. In derartigen Fällen können nur stark wirkende Desoxydationsmittel, wie Magnesium, Kalzium, Silizium, Mangan oder Phosphor helfen. Phosphor wird besonders gern und häufig benutzt, wobei der Phosphorgehalt in kaum nachweisbaren Spuren, wie auch bis über 1 % in der Legierung enthalten bleiben kann. Durch Phosphorzusatz wird eine Bronze dünnflüssiger und dadurch in ihren Gußeigenschaften verbessert, außerdem weist sie eine höhere Korrosionsbeständigkeit auf, besonders gegen Seewasser.

Bronze wird in nassem oder trockenem Sande oder in angewärmten Messing- oder Eisenkokillen, die mit Terpentinöl und Kienruß ausgestrichen sind, vergossen. Große Gußstücke werden heiß vergossen, damit sich Gase und Verunreinigungen gut absetzen können, während man den Guß für kleine Stücke erst in der Pfanne abstehen läßt und ihn dann bei niedriger Temperatur vergießt. Die Art der Abkühlung spielt für den Gefügeaufbau und

die mechanischen Eigenschaften der Bronzen eine wesentliche Rolle. Bei den zinnreichen Legierungen kann durch sehr schnelle Abkühlung bzw. durch Abschrecken aus dunkler Rotglut (oberhalb 587°) die Ausscheidung des spröden δ -Kristalles verhindert werden, so daß das Material weicher wird. Bei den zinnärmeren Legierungen unter 13,9% Sn kann umgekehrt durch schnellere Abkühlung die Härte des Werkstoffes gesteigert werden, also mit der gleichen Wirkung, wie wenn der Zinngehalt erhöht würde. Eine hervorragende Verbesserung der mechanischen und technologischen Eigenschaften sowie der Dichte von Gußbronze wird durch das Schleudergußverfahren, bei dem die Bronze in stark wassergekühlte, schnell rotierende Kokillen vergossen wird, erzielt (Tabelle 12).

Tabelle 12. Erreichbare Festigkeitswerte von Schleudergußbronze.

	Zugfestigkeit σ_B kg/mm ²	Dehnung δ_5 %	Brinellhärte H kg/mm ²
für GBz 20	34	0	220
„ GBz 14	32	3	115
„ GBz 10	30	12	90

Naturgemäß kann der Schleuderguß nur in Form von reinen Rotationskörpern, d. h. von glatten Rohren oder Ringen geliefert werden.

Das spezifische Gewicht der Bronzen ist abhängig von ihrem Zinngehalt und ändert sich in der in Abb. 49 angegebenen Weise. Die elektrische Leitfähigkeit wird durch den Zinngehalt sehr stark herabgedrückt. Sie liegt bei Gußbronze 10 etwa bei $10 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ bei 20° und fällt bei Gußbronze 20 bis auf $5 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ bei 20° ab.

c) **Knetlegierungen.** Zinnärmere Bronzen mit etwa 6...10% Sn werden als Reckmetall benutzt und durch Walzen und Ziehen zu Blechen, Stangen, Drähten und Rohren verarbeitet. Eine vielverwendete Legierung mit 94% Cu und 6% Sn ist in DIN 1705, Blatt 1 als Walzbronze mit dem Kurzzeichen WBz 6 genormt worden; da diese Legierung mit Phosphor desoxydiert wird, wird sie auch kurz als „Phosphorbronze“ bezeichnet. Die Gußblöcke

werden als Sandguß, als Kokillenguß und in besonderen Fällen als Schleuderguß, der ein sehr dichtes Material ergibt, hergestellt. Für die Sandform benutzt man fetten, gelben Sand und für die Kokillen Gußeisen, das mit einer Anstrichmasse versehen wird. Für die Drahtfabrikation werden meist Schleudergußplatten abgegossen, aus denen der sogenannte Schneidedraht spiralförmig herausgeschnitten wird. Dieser wird dann bis auf feinste Abmessungen in kaltem Zustande mit Zwischenglühungen heruntergezogen. Weichgeglüht wird diese Bronze zweckmäßig nach langsamem Erhitzen bei $550 \dots 600^{\circ}$. Bei der Warmbehandlung kaltgereckter Walzbronze kann man folgende Glühwirkungen auf die mechanischen Eigenschaften unterscheiden: bis 300° tritt nur eine geringe Abnahme der Festigkeit ein, zwischen 300 und 400° aber sinkt die Festigkeit auf ihren Grundwert von $40 \dots 50 \text{ kg/mm}^2$ herunter; hierbei steigt die Dehnung stark an, um bei weiterer Temperatursteigerung bis auf 750° ihren Höchstwert von $60 \dots 70\%$ zu erreichen.

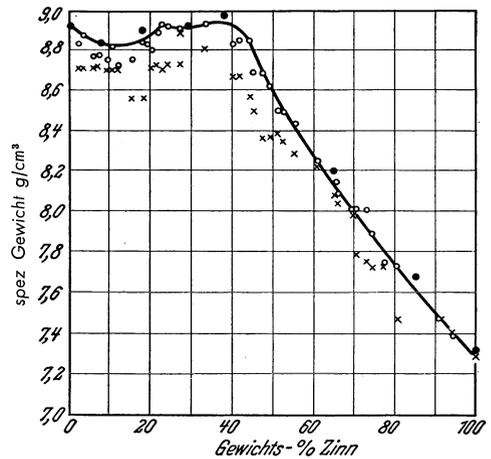


Abb. 49. Spezifische Gewichte der Sn-Bronzen.

○ nach HEAPE, • nach HEAPE, × nach BORNEMANN und SAUERWALD.

Die Verwendungsmöglichkeit von Walzbronze ist durch ihre Eigenschaften bedingt. Ihre Härte wird für Konstruktionsmaterial im Maschinen- und Apparatebau und in der Papiermaschinenindustrie, ihre hohe Dehnung für Webedrähte, ihre elastischen Eigenschaften für Federn (DIN 1779) und ihre Korrosionsbeständigkeit in der chemischen und Armaturenindustrie ausgenutzt.

Neben dieser Walzbronze WBz 6 hat sich in den letzten Jahren eine Legierung mit 91 % Cu und etwa 9 % Sn mit einem geringen Phosphorgehalt, die durch einen Knetvorgang zu gezogenen Stangen und Rohren verarbeitet wird, einen großen Absatzmarkt erobert. Ihre Eigenschaften sind:

Spezifisches Gewicht: 8,75 g/cm³.

Elektrische Leitfähigkeit bei 20⁰: etwa $8 \frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$.

Wärmeausdehnungskoeffizient: $17 \cdot 10^{-6}$ 1/Grad.

Wärmeleitfähigkeit: $0,142 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{Grad}}$.

Tabelle 13. Festigkeitsverhältnisse von Walzbronze mit ungefähr 9 % Sn.

	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung %	Brinellhärte kg/mm ²
hart	60...75	15...10	150...200
sehr hart	75...85	10...3	200...240
halbhart und entspannt	40...60	30...15	110...150
thermisch entspannt .	—	—	95...125
weich	35...40	70...50	80...90

Diese Bronze besitzt sehr gute Gleiteigenschaften und eine hohe Verschleißfestigkeit, so daß sie in erster Linie für Gleitlagerzwecke geeignet ist. Sie wird für Lagerbüchsen in der gesamten Motorenindustrie, im allgemeinen Maschinen- und Apparatebau, an Werkzeugmaschinen u. dgl. verwendet. Von den mit

kleinsten Toleranzen gezogenen Rohren lassen sich die Lagerbüchsen in vielen Fällen gleich fertig abstechen bzw. erfordern sie nur noch eine geringe Nacharbeit. Weiterhin können diese Bronzerohre auch vorteilhaft als schwingungsfeste Leitungsrohre verwendet werden, da ihre Dauerbiegefestigkeit von 10...16 kg/mm² in weichem Zustand rund doppelt so groß ist wie die der hierfür üblichen Kupferrohre.

B. Sonderbronze.

1. Allgemeines.

Der Begriff „Sonderbronze“ erfährt vielfach noch eine willkürliche Auslegung, so daß häufig im Handel auch die Sondermessinge (s. S. 41) fälschlich mit „Bronzen“ bezeichnet werden. In den Deutschen Normen DIN 1705 Bl. 1 ist jedoch der Begriff hierfür bereits festgelegt worden und lautet: „Sonderbronzen sind Legierungen, die in wesentlichen Merkmalen der Zusammensetzung von den beiden vorgenannten (gemeint sind Zinnbronze und Rotguß) abweichen, aber mindestens 78 % Kupfer und ein oder mehrere Zusatzmetalle, worunter jedoch nicht überwiegend Zink, enthalten.“ Zur Zeit befindet sich im Fachnormenausschuß für Nichteisenmetalle eine Neuaufstellung der Begriffsbestimmungen für Kupferlegierungen in Arbeit, die voraussichtlich als ein Normblatt für sich herausgegeben wird, und in dessen Entwurf vom März 1939 die Fassung folgendermaßen lautet: „Sonderbronze ist eine Zwei- oder Mehrstofflegierung mit überwiegendem Kupfergehalt, die sich von der Zinnbronze dadurch unterscheidet, daß das Zinn ganz oder teilweise gegen einen oder mehrere andere Zusätze ausgetauscht ist. Zink gehört nicht zu diesen bestimmenden Zusätzen. Der Mindestgehalt an Kupfer beträgt 60 %. Als Zusätze sind im Gebrauch Aluminium, Beryllium, Blei, Magnesium, Wolfram usw.

Die entsprechenden Sonderbronzen heißen: Aluminiumbronze, Berylliumbronze, Bleibronze, Blei-Zinn-Bronze usw.“

Damit ist der Begriff der Sonderbronzen sehr weit gefaßt, so daß sich hierfür eine unendliche Fülle von Legierungsmöglichkeiten ergibt. Im Rahmen dieses Heftes können daher nur einige typische Sonderbronzelegierungen gestreift werden, so daß es sich empfehlen wird, für einen gegebenen Verwendungszweck die Wahl der jeweils am besten geeigneten Legierung mit den einschlägigen Herstellerfirmen zu treffen. In diesem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, daß eine Reihe von diesen Sonderbronzelegierungen Patentschutz genießen.

2. Verschiedene Sonderbronzen.

a) Aluminiumbronze. Der Zusatz von Aluminium wirkt desoxydierend auf den Kupferoxydulgehalt der Schmelze und damit im günstigsten Sinne auf die Beschaffenheit der Legierung, so daß in ähnlicher Weise wie durch Zinnzusatz Festigkeit und Härte wesentlich gesteigert werden. Bis 9% wird Aluminium von Kupfer in fester Lösung aufgenommen, das Gefüge besteht also nur aus reinen α -Mischkristallen. Bei höheren Aluminiumgehalten, bis etwa 15%, tritt neben den α -Mischkristallen eine weitere, sehr harte Kristallart auf, die das Material so spröde macht, daß man praktisch kaum über 10% Aluminium hinausgeht.

Die Aluminiumbronzen sind in DIN 1714 (Tabelle 14) genormt und eingeteilt in Zweistofflegierungen mit einem Aluminiumgehalt bis zu 9%, Rest Kupfer, und in Mehrstofflegierungen mit einem Aluminiumgehalt von 5...12% und weiteren Zusätzen von Eisen, Nickel, Mangan, Silizium und Zinn bis zu 15% nach Wahl des Herstellers. Durch diese Zusätze werden die chemischen und mechanischen Eigenschaften der reinen Aluminiumbronzen noch weiter verbessert. Als Gußlegierungen werden die Aluminium-Gußbronze 9 (GAl-Bz 9) und die Aluminium-Mehrstoff-Gußbronze A und B (GAl-M-Bz A und B) und als Knetlegierungen die Aluminiumbronze 4, 5 und 9 (Al-Bz 4, 5 und 9) und die Aluminium-Mehrstoff-Bronzen (Al-M-Bz) hergestellt. Ihre Zusammensetzung, Festigkeitseigenschaften und Richtlinien für ihre Verwendung sind in DIN 1714 (Tabelle 14) angegeben. Die vielfach in der Elektrotechnik für stromführende Teile verwendete Aluminiumbronze 4 (Al-Bz 4) hat eine elektrische Leitfähigkeit von $\approx 7 \frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ bei 20°.

Der Farbton der Aluminiumbronzen ist bei 3% Al goldrot und bei 5% Al goldgelb. Sie besitzen eine gute Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff, besonders gegen den Luftsauerstoff, gegen Seewasser, Chlor und Sulfitlaugen.

b) Berylliumbronze. Diese Bronzen bestehen aus Kupferlegierungen, die bis zu 4% Beryllium (Be) enthalten und sowohl als Guß- als auch als Reckmaterial zu verwenden sind. Es handelt sich hier um vergütbare Legierungen, deren Brinellhärte durch Vergütung bis zu 400 kg/mm² gesteigert werden kann. Die Vergütung besteht in einem Abschrecken von 750...800° und einer nachfolgenden, künstlichen Alterung bei 250...400°. Infolge des sehr hohen Berylliumpreises werden diese Bronzen vorerst nur in Sonderfällen Verwendung finden können. Eine vielfach verwendete Legierung ist die mit 2,5% Be, die im weichen Zustand 62 kg/mm² Zugfestigkeit und 105 kg/mm² Brinellhärte und im harten und vergüteten Zustand etwa 120 kg/mm² Zugfestigkeit und 365 kg/mm² Brinellhärte besitzt.

c) Bleibronze. Die Bleibronzen sind Kupferlegierungen mit einem wesentlichen Bleigehalt, der sich zwischen 4 und 50% bewegen kann. Die in der Praxis meistverwendeten Legierungen sind in DIN Vornorm 1716 (Tabelle 15) zusammengefaßt und eingeteilt in:

Blei-Zweistoff-Bronzen mit 10...20, über 20...30 und über 30% Bleigehalt;

Tabelle 14. Aluminiumbronze (DIN 1714)¹.

Gruppe	Be-nennung	Kurz-zeichen	Zusammensetzung		Zulässige Abwei-chungen		Ge-wicht	Zug-festigkeit	Bruch-dehnung	Brinell-härte ^{2,3}	Richtlinien für die Verwendung
			ungefähr %	Min-dest-gehalt	Cu	Al					
Zwei-stoff-legie-rungen	Aluminium-Guß-bronze 9	G Al-Bz 9	Cu	Al	99	±2	±2	35	12	80	Gußstücke für die chemische Industrie, Arma-turen, Lagerschalen und Lagerbuchsen für ge-ringe Beanspruchung
			Zusätze	Al	9						
Mehr-stoff-legie-rungen	Aluminium-Mehrstoff-Guß-bronze A ³	G Al-M-Bz A	Cu	Fe+Ni +Mn+Si +Sn	94	—	—	40	20	100	Schnecken-, Schrauben-, Kegel-, Zahnräder, Heißdampf-Armaturen, Lagerschalen und Buchsen
			Zusätze	Al	9	85					
Mehr-stoff-legie-rungen	Aluminium-Mehrstoff-Guß-bronze B ⁴	G Al-M-Bz B	Cu	12 nach Wahl bis des Her- stellers	65	—	—	45	8	130	Verschleißfeste Gußstücke, Gleitbacken, Schneckenräder
			Zusätze	Al	99,5	±2					

II. Knetlegierungen

Bezeichnung eines Bleches von 0,5 mm Dicke, 500 mm Breite und 1000 mm Länge aus Aluminiumbronze 4 mit 4 % Aluminium, Zugfestigkeit 36 bis 46 kg/mm² (halbirt): Blech 0,5 × 500 × 1000 Al-Bz 4 F 36.

Gruppe	Be-nennung	Kurz-zeichen	Zusammensetzung		Zulässige Abwei-chungen		Ge-wicht	Zug-festigkeit	Bruch-dehnung	Brinell-härte ^{2,3}	Richtlinien für die Verwendung
			ungefähr %	Min-dest-gehalt	Cu	Al ⁵					
Aluminium-bronze 4	Al-Bz 4	Al-Bz 4	Cu	Al	99,7	+1 -0,5	8,4	1 1,2 1,4	30 bis 38 36 bis 46 42 bis 56	50 100 130	Stangen, Drähte, Bleche und Rohre, besonders für die chemische Industrie
			Zusätze	Al	4						
Zwei-stoff-legie-rungen	Aluminium-bronze 5)	Al-Bz 5	Cu	Al	99,5	+0,5 -1	8,2	1 1,2 1,4	35 bis 45 42 bis 54 50 bis 63	30 15 150	Stangen, Drähte, Bleche, Bänder, Rohre (in Federgüte), besonders stromführende Federbleche und Bänder für die Elektrotechnik
			Zusätze	Al	5						
Aluminium-bronze 9	Al-Bz 9	Al-Bz 9	Cu	Al	99,5	+2 -1	7,6	1 1,2 1,4	40 bis 50 50 bis 60 56 bis 70	30 12 160	Stangen, Drähte, Bleche, Bänder, Rohre, Schmiedestücke, Ventilsitze für Verbrennungsmotoren, Dreh-telle
			Zusätze	Al	9						
Mehr-stoff-legie-rungen	Aluminium-Mehrstoff-Bronzen ¹	Al-M-Bz ⁶	Cu	Fe+Ni +Mn+Si +Sn nach Wahl des Her- stellers	85	—	7,6	1 1,2 1,4	45 ⁴ mindestens 35 mindestens 65	80 100 160	Stangen (gepreßt und warm ge-schmiedet), Profile, Rohre, Schmiedestücke, Wärmepreßteile, Ventilkörper für Verbrennungsmotoren, Ventilsitze, Dichtungsringe, Druck-wasser-Steuerungen, Druckplatten, Kolbenstangen, Schraubenwellen, Zahnkränze, Schneckenräder
			Zusätze	Al	13						

¹ Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68, erhältlich ist.

² Vorläufige Annäherungswerte. Änderung binnen Jahresfrist vorbehalten.

³ Die Brinellhärte ist nach DIN 1605 als Durchschnittswert aus 6 Prüfungen an möglichst verschiedenen geeigneten Stellen des Gußstückes festzustellen.

⁴ Für einige Legierungen innerhalb des Bereiches dieser Legierungsreihen oder für ihre Anwendung bestehen im In- und Auslande gewerbliche Schutzrechte oder An-meldungen hierfür.

⁵ Wird für elektrotechnische Zwecke eine bestimmte elektrische Leitfähigkeit vorgeschrieben, so darf die Abweichung vom Al-Gehalt nur ± 0,25 % sein, bei einem Min-destgehalt für Cu + Al von 99,8 %.

⁶ Als Beispiele sind die Werte für den warmverformten Zustand von 3 Aluminium-Mehrstoff-Bronzen aufgeführt. Zur Bestellung dieser Aluminium-Mehrstoff-Bronzen ist neben der gewünschten Mindestzugfestigkeit, die zwischen 45 und 65 kg/mm² gewählt werden kann, auch die zugehörige Bruchdehnung anzugeben. Die 3 Aluminium-

Tabelle 15. Bleibronze nach DIN-Vornorm 1716¹.

Gruppe	Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung ungefähr %						Zugfestigkeit σ_B kg/mm ²	Bruchdehnung δ_5 %	Brinellhärte H ($P = 2,5 D^2$) kg/mm ²	Richtlinien für die Verwendung
			Pb	Cu	Sn	Ni	Zn	Sonstige Beimengungen				
Blei-Zweistoffbronze	Blei-bronze 15	Pb-Bz 15	10 bis 20	Rest	—	—	—	—	—	—	—	Lager mit Stützschaalen, z. B. Haupt- und Pleuellager für Verbrennungskraftmaschinen Drucklager für Turbinen, Lokomotivlager, Pumpenlager
	Blei-bronze 25	Pb-Bz 25	über 20 bis 30	Rest	—	—	—	können vor-kommen ²)	3)	4)		
	Blei-bronze 35	Pb-Bz 35	über 30	Rest	—	—	—	freigestellt nach den Erfahrungen des Herstellers	3)	4)		
Blei-Zweistoffbronze mit Zusätzen bis insgesamt 2%	Blei-bronze 15A	Pb-Bz 15A	10 bis 20	Rest	—	—	—	freigestellt nach den Erfahrungen des Herstellers	mindestens 18	mindestens 15	mindestens 70	Lager mit und ohne Stützschaalen für höhere Drücke, insbesondere für Lager mit Schlagbeanspruchung Gußstücke für die chemische Industrie und den Gerätebau
	Blei-bronze 25A	Pb-Bz 25A	über 20 bis 30	Rest	—	—	—					
	Blei-bronze 35A	Pb-Bz 35A	über 30	Rest	—	—	—					
Blei-Zinnbronze	Blei-Zinnbronze 5	Pb-Sn-Bz 5	4 bis 6	Rest	9 bis 11	—	—	—	mindestens 18	mindestens 15	mindestens 70	Lager mit und ohne Stützschaalen für hohen Flächen- und Schlagbeanspruchung Gußstücke für die chemische Industrie und den Gerätebau
	Blei-Zinnbronze 13	Pb-Sn-Bz 13	12 bis 14	Rest	7 bis 9	—	—	—	mindestens 15	mindestens 8	mindestens 60	Lager mit und ohne Stützschaalen für hohen Flächen- und Schlagbeanspruchung Gußstücke für die chemische Industrie und den Gerätebau
	Blei-Zinnbronze 20	Pb-Sn-Bz 20	18 bis 22	Rest	5 bis 10	—	—	—	3)	3)	4)	Vollager, z. B. Buchsen für Kolbenbolzen im Dieselmotorenbau, für Flugzeuglaufräder, Mühleinmaschinen, Wasserpumpen und ähnliches
Blei-Sonderbronze (mit mehr als 3 Bestandteilen, Zusätze zu Cu + Pb über 2%)	Blei-Sonderbronze	Pb-So-Bz 15	10 bis 20	Rest	0 bis 10	0 bis 4	—	Mn, Si, Sb, Mg, Al, P und andere nach den Erfahrungen des Herstellers	—	—	45 bis 85	Vollager für hohe Beanspruchung
		Pb-So-Bz 25	über 20 bis 35	Rest	0 bis 8	0 bis 4	0 bis 3	—	12 bis 20	10 bis 5	40 bis 60	Gußstücke für die chemische Industrie und den Gerätebau Lager mit und ohne Stützschaalen, z. B. für Lager von Fräsmaschinen, Revolverbänken u. a. m.

¹ Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68, erhältlich ist.

² Art und Menge nach besonderer Vereinbarung.

³ Diese Werte werden nicht angegeben, weil sie zur Bewertung von Werkstoffen für den genannten Verwendungszweck allein nicht ausschlaggebend sind.

⁴ Härtewerte und ihre Prüfung sind besonders zu vereinbaren.

Blei-Zweistoff-Bronzen mit den vorgenannten Bleigehalten und Zusätzen bis insgesamt 2%, deren Art und Zusammensetzung nach den Erfahrungen des Herstellers freigestellt ist;

Blei-Zinnbronzen mit 4 bis 22% Bleigehalt und 5 bis 11% Zinngehalt:
Blei-Sonder-Bronzen mit mehr als 3 Bestandteilen, wobei die Zusätze zu



Abb. 50.

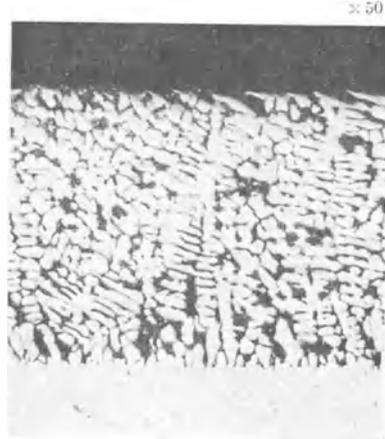


Abb. 51.

Cu + Pb über 2% betragen müssen und sonstige Beimengungen an Mn, Si, Sb, Mg, Al, P und anderen nach den Erfahrungen des Herstellers enthalten sein können.

Im Gefügebau dieser Bleibronzen findet sich das Blei rein in mehr oder weniger feiner Verteilung in dem Kupfergrundgefüge ausgeschieden vor, da Kupfer und Blei praktisch keine Mischung oder Verbindung miteinander ein-

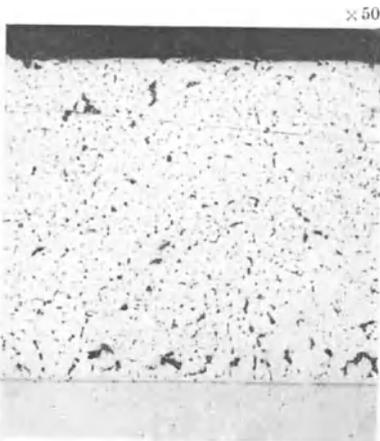


Abb. 52.

gehen. Je nach der Verschiedenheit der Gieß-, Abkühlungs- und Erstarrungsbedingungen kann z. B. das Blei in der Bleibronze 25 (Pb-Bz 25; die Zahl gibt den mittleren Bleigehalt an) in strahliger Form (Abb. 50) oder in grobkörniger Verteilung (Abb. 51) oder in feinkugeliger Anordnung (Abb. 52) vorkommen. Die Bleibronzen haben sich hauptsächlich für Lagerzwecke sehr gut bewährt, da sie einige für Gleitlager sehr schätzenswerte Eigenschaften besitzen. Sie haben gute Einlauf- und Notlaufeigenschaften, d. h. sie können bei mangelnder oder fehlender Ölzufuhr den gefährlichen Zustand des Fressens durch „Selbstschmierung“ hintanhalten. Auch ist ihre Warmhärte, wie Abb. 53 zeigt, bei höheren Temperaturen und ihre Flächenbelastbarkeit den anderen, üblichen Lagermetallen (Tabelle 16)

überlegen. Außer den vorgenannten, technischen Überlegenheiten besitzen die Blei-Zweistoff-Bronzen gegenüber den zinnhaltigen Lagermetallen noch den volkswirtschaftlichen Vorteil der Zinnfreiheit, so daß sie als Austauschwerkstoff für die hochzinnhaltigen Weißmetalle in Frage kommen. Infolge ihrer geringen Brinellhärte von etwa 30 kg/mm² werden die Blei-Zweistoff-Bronzen meist nur

Tabelle 16. Legierungsgruppen und Zusammensetzung der Lagermetalle Abb. 53.

Bezeichnung	Gruppe	Zusammensetzung								
		Sn	Pb	Cu	Sb	As	Fe	Ni	Cd	
A 92	Weißmetalle auf Zinnbasis	92,9	—	3,4	3,6	—	0,05	0,08	—	
A 86		87,2	0,2	5,7	6,9	0,02	0,03	—	—	
WM 80/12/8		80,4	0,7	7,4	11,4	0,02	0,04	—	—	
WM 10	Weißmetall auf Bleibasis	10,7	70,4	1,7	15,3	0,15	0,06	0,01	1,83	
Cd-Leg. 2	Kadmium-Lagermetalle	—	—	1,9	—	—	—	—	97,6	0,48 Ag
Cd-Leg. 3		—	—	—	—	—	—	3,1	96,9	
Lg. 30	Aluminium-Lagermetalle	Al mit Zusätzen hauptsächlich von Metallen der Eisengruppe. Analyse nicht angegeben								
Lg. 40										
70/30 Cu Pb	Bleibronzen		30	70						Nur Gattierungsangabe
70/28/2 Cu Pb Sn		2	28	70						

als Verbundguß verwendet, d. h. sie werden an Lagerstützkörper aus Stahl, Gußeisen u. dgl., die das eigentliche tragende Bauelement darstellen, nur als dünner Ausguß von etwa 0,5...1 mm Stärke angegossen.

d) Leitungsbronze. Der Werkstoff für elektrische Leitungszwecke, besonders für Fernmelde- und Freileitungsdrähte, muß einerseits eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen, um die Stromverluste möglichst zu verringern, andererseits eine große Festigkeit, um durch kleine Querschnitte am Material sparen zu können. Diese Forderungen können nur durch geeignete Bronzelegierungen erreicht werden, wobei eine mehr oder weniger starke Erniedrigung der Leitfähigkeit mit in Kauf genommen werden muß. In DIN-VDE 8300 sind die erforderlichen Werte zusammengestellt, sie betragen je nach der Drahtstärke für:

Bronzedraht I (Bz I): 50...52 kg/mm² Zugfestigkeit, 48 $\frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ Leitfähigkeit.

Bronzedraht II (Bz II): 56...68 kg/mm² Zugfestigkeit, 36 $\frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ Leitfähigkeit.

Bronzedraht III (Bz III): 66...74 kg/mm² Zugfestigkeit, 18 $\frac{m}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$ Leitfähigkeit.

Die Zusammensetzung für diese Bronzedrähte ist dem Hersteller freigestellt, da sich die vorgeschriebenen Werte auf verschiedene Art erreichen lassen. Immer-

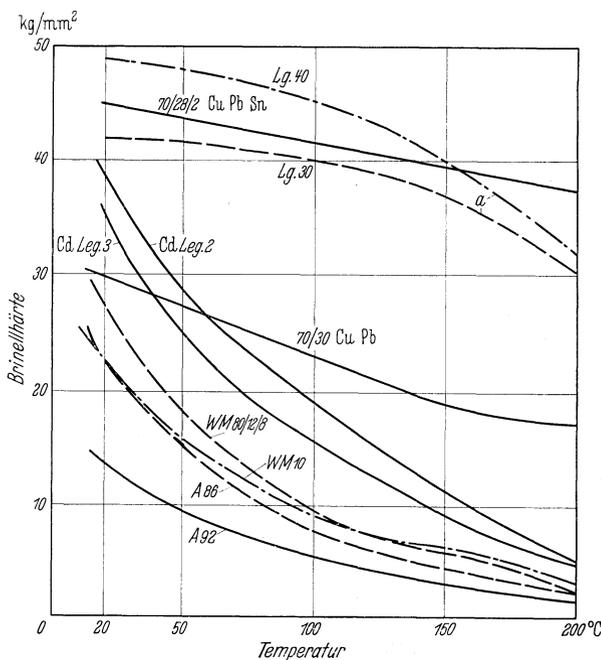


Abb. 53. Warmhärte von Lagermetallen (DVL, Junkers).

größerer Menge enthält. Es hat etwa folgende Zusammensetzung: 84 % Cu, 12 % Mn, 4 % Ni und 0,5 % Fe.

Zu erwähnen sind hier noch die nach ihrem Erfinder benannten „HEUSSLER-schen Manganbronzen“, die stark magnetische Legierungen ergeben, wenn ihnen Aluminium, Zinn, Arsen, Antimon, Wismut und Bor zugesetzt werden.

f) Nickelbronze. Unter Nickelbronze wird die Zweistofflegierung Kupfer mit Nickel verstanden. Beide Stoffe sind in jedem Mischungsverhältnis löslich ineinander und bilden daher reine Mischkristalle. Der Nickelzusatz erniedrigt die elektrische Leitfähigkeit des reinen Kupfers sehr stark, erhöht aber seine Härte beträchtlich. Die Cu-Ni-Legierungen sind außerordentlich korrosionsbeständig, weshalb man z. B. aus ihnen in wachsendem Umfange Kondensatorrohre in der Zusammensetzung 80 % Cu, 20 % Ni oder 70 % Cu, 30 % Ni od. ä. herstellt. Außerdem werden diese Legierungen zur Herstellung von Münzen, Geschoßmänteln, Geschoßführungsringen und wegen ihres hohen elektrischen Leitungswiderstandes als Widerstandsdrähte in der Elektrotechnik verwendet. Bekannt sind die handelsüblichen Widerstandsdrähte Konstantan mit 60 % Cu und 40 % Ni und Nickelin mit 68 % Cu und 32 % Ni. Diejenigen Cu-Ni-Legierungen, die noch eine größere Menge Zink enthalten, sind eigentlich als nickelhaltige Messinge (Sondermessing) anzusprechen und gehören zur großen Gruppe der sogenannten „Neusilber“-Legierungen.

g) Sonderzinnbronze. Die reinen Zinnbronzen können durch einen Zusatz weiterer Elemente zu ihrem Zinngehalt in ihren Eigenschaften weitgehendst verändert werden. Es entstehen so eine große Anzahl weiterer Legierungen, die als Sonderzinnbronzen zu bezeichnen sind, und die im Rahmen dieses Heftes nur kurz gestreift werden können.

Ein Bleizusatz ergibt Legierungen, die für Gleitlagerzwecke hervorragend geeignet sind und als „Bleizinnbronzen“ bereits im Kapitel über Bleibronze auf S. 54 behandelt wurden.

Ein geringer Zinkzusatz erhöht die Festigkeit der Zinnbronzen und setzt ihren Schmelzpunkt herunter. Es ergibt sich daraus ein leichtflüssiges Metall, das einen scharfen, blasenfreien Guß gewährleistet. Bei höheren Zinkgehalten, etwa über 2 %, gelangt man bereits in das Gebiet der Rotgußlegierungen (s. S. 60), deren Abgrenzung jedoch willkürlich und nicht scharf zu erfassen ist. In der Zusammensetzung 87 % Cu, 7,5 % Zn und 5,5 % Sn hat man beispielsweise eine bekannte Bronze, die sich zu Bändern und Drähten verarbeiten und als Federmaterial verwenden läßt. In federhartem Zustande erreichen dünne Drähte und Bänder dieser Legierung etwa 90 kg/mm² Festigkeit bei 5 % Dehnung.

Ein Manganzusatz wirkt wie Phosphor desoxydierend auf die flüssige Bronze. Es bildet sich eine spezifisch leichte, dünnflüssige Schlacke, die gut an die Badoberfläche steigt. Mangan geht in feste Lösung und steigert bis zu einem Gehalt von etwa 1,5 % die mechanischen Eigenschaften der Zinnbronze, doch darüber hinaus wirkt es in entgegengesetztem Sinne und drückt bei etwa 3 % die Dehnung bis auf 0 herunter.

Geringe Mengen von Aluminium wirken als Desoxydationsmittel und verbessern die mechanischen Eigenschaften der Legierung. Doch schon von 0,5 % Al ab fallen Festigkeit und Dehnung rasch ab, so daß Aluminium in der Zinnbronze unbedingt als schädliche Beimengung anzusehen ist. Außerdem wird die Schmelze zähflüssig.

Ein Nickelzusatz erhöht zwar die Härte, doch steigt diese bei etwa 4 % Ni derart an, daß eine Schnittbearbeitbarkeit kaum noch möglich ist. Die Patinierung dieser Bronzen ist dunkler als bei den reinen Zinnbronzen und zeigt einen bläulichen Farbton.

Ein Eisenzusatz von 1·1,5% bewirkt blasenfreie und härtere Güsse. Die Verwendung eisenhaltiger Zinnbronzen für Lagerzwecke hat sich offenbar nicht recht bewährt, da sie in der Praxis kaum anzutreffen sind. Die Patina dieser Legierungen ist sehr dunkel mit einem bläulichen Farbton.

Geschützbronze. Die Anforderungen, die an dieses Material gestellt werden mußten, waren sehr hohe. Die Geschützbronze mußte einerseits eine sehr große Härte besitzen, um den hindurchgehenden Geschossen einen genügenden Verschleißwiderstand entgegenzusetzen, andererseits mußte sie bei hoher Festigkeit genügend zäh sein, um den gewaltigen Druck der Pulvergase auszuhalten. Die größte Härte besitzt zwar die Bronze bei einem Zinngehalt von etwa 35%, doch ist sie dann so spröde, daß man notwendig einen Mittelweg finden mußte. Aus zahlreichen Versuchen und jahrelangen Erfahrungen hat sich als günstigste Legierung eine Bronze mit 88·91% Cu und 9·12% Sn herausgebildet, wozu meist noch geringe andere Zusätze, insbesondere von Eisen, hinzukommen. Die Geschützbronze wird in Flammöfen mit Holzfeuerung geschmolzen, da bei Verwendung von Steinkohlen die Schmelze Schwefel aufnehmen könnte. Für Zinn muß mit einem Abbrand von 3·5% gerechnet werden. Die günstigste Gießtemperatur soll möglichst hoch liegen. An Gießverfahren werden Sand- und Kokillenguß teils als Vollguß, wobei die innere Höhlung später ausgebohrt wird, teils als Kernguß über einen metallenen Kern mit und ohne Wasserkühlung angewandt. In Tabelle 17 ist die Zusammensetzung einiger Geschützbronzen angegeben.

Tabelle 17. Zusammensetzung von Geschützbronzen.

	Cu %	Sn %	Zn %	Pb %	Fe %
Preußische Geschützbronze	90,9	9,1	—	—	—
Französische „	90,1	9,9	—	—	—
Englische „	89,3	10,7	—	—	—
Russische „ (1819)	88,61	10,7	—	—	0,69
„ „ (modern)	90,8	9,2	—	—	—
Türkische „ (1864)	89·95	10·5	—	—	—
„ „ (modern)	90,9	8,8	—	—	0,3
Chinesische „ (schwarz)	95,8	0,2	1,7	0,7	1,5 Sb
„ „ (modern)	93,0	5,5	—	—	1,5

Eine sogenannte „Stahlbronze“ für Geschützrohre nach UCHATIUS (noch im Weltkrieg 1914 für schwere Mörser benutzt) wird hergestellt, indem das erstarrte Metall mittels eines hydraulisch angetriebenen Preßstempels verdichtet wird. Sodann wird die Bohrung vorgebohrt und durch Eintreiben von Stahldornen mit steigendem Durchmesser bis auf den vorgeschriebenen Durchmesser aufgedornt. Durch diese mechanische Kaltbearbeitung wird eine sehr harte innere Rohrwandung erhalten. Die Bezeichnung Stahlbronze ist hier jedoch insofern unglücklich gewählt, als dieser Werkstoff gar keinen Eisen- bzw. Stahlzusatz aufweist. Erst in neuerer Zeit wird dieser absichtlich zugesetzt, so daß diese Legierungen eher den Namen „Stahlbronze“ tragen könnten.

Glockenbronze. Schon im Altertum war die Verwendung von Bronze für Glocken und Klanggerät bekannt. Die Blütezeit der Glockengießerei fällt aber offenbar in die christliche Zeit des 15. und 16. Jahrhunderts. Die Glockenbronze — auch Glockenspeise und Glockengut genannt — muß hart sein, um einen schönen Klang zu ergeben, darf andererseits aber auch nicht spröde sein, um durch das Anschlagen des Klöppels keine Sprünge zu bekommen. Nach langer Erfahrung hat sich eine reine Zinnbronze mit 75·80% Cu und 20·25% Sn am besten be-

währt. Andere Beimengungen sind möglichst zu vermeiden, da sie nur die Sprödigkeit der Bronze erhöhen, ohne die Klangwirkung zu verbessern. Auch ein Silberzusatz, den man früher gern der Schmelze beigab, bringt keine nachweisbaren Verbesserungen hervor. Die fremden Bestandteile in den Analysenergebnissen alter Glocken sind darauf zurückzuführen, daß man die Metalle nicht genügend rein eingeschmolzen bzw. viel Altmaterial zugesetzt hat. In Tabelle 18 sind einige Analysen von Glocken aufgeführt, die wegen ihrer Zusätze sämtlich als Sonderzinnbronzen anzusprechen sind.

Tabelle 18. Zusammensetzung von Glockenbronzen.

	Cu %	Sn %	Zn %	Pb %	Fe %	Ag %	Ni %
Glocke zu Darmstadt von 1670 . . .	73,94	21,67	—	1,19	0,17	—	2,11
„ „ Reichenhall von 1562 . . .	80	20	—	—	—	—	—
„ „ Rouen	75	22,5	1,5	—	—	1,5	—
„ „ Rom, 12. Jahrhundert . . .	71,5	26,5	1,8	—	—	1,2	—
„ „ Berliner Dom von 1471 . .	75,97	21,41	—	0,72	—	0,16	0,19
Japanische Glocken	60,5	18,5	6,0	12,0	3,0	—	—
Urglocken, Deutsche	73	24,3	2,7	—	—	—	—
„ „ Schweizer	74,5	25,0	—	0,5	—	—	—
„ „ Pariser	72	26,5	—	—	—	1,4	—
Schellenmaterial	84,5	15,4	—	—	—	—	—
Tamtam	71	24	—	4	—	—	—

Die Glockenbronze wird im Flammofen mit Holzfeuerung niedergeschmolzen, nur bei kleinen Gußmengen verwendet man den Tiegelofen. Wegen der starken Abbrandgefahr dieser hochzinnhaltigen Legierungen muß mit niedriger Schmelztemperatur bei schwachem Luftzug gearbeitet werden, um eine Flamme mit möglichst geringer Oxydationswirkung zu erhalten.

Kunstbronze. Die Verwendung von Kupfer-Zinn-Legierungen für Kunstgegenstände, Geräte, Schmucksachen und Waffen ist bis ins frühe Altertum zu verfolgen. Die Gegenstände werden im Gießverfahren hergestellt und mit Meißel, Grabstichel und Feile nachgearbeitet. Die reinen Zinnbronzen sind jedoch für vielgestaltige Abgüsse nicht dünnflüssig genug, um die Formen scharf auszufüllen, und außerdem auch zu hart, um leicht bearbeitbar zu sein. Diese Nachteile werden durch einen Zinkzusatz beseitigt, so daß scharfe Abgüsse entstehen, die gut bearbeitet und ziseliert werden können. Die Menge des Zinkgehaltes ist aber oftmals so groß, daß diese Legierungen streng genommen nicht mehr als Bronzen angesprochen werden können, sondern mehr in die Gruppe der Rotgußlegierungen gehören. Als weiteren Zusatz findet man häufig Blei, das ebenfalls die Gießbarkeit erhöht und die Schnittbearbeitbarkeit erleichtert. Neuere Kunstbronzen weisen etwa 80·90% Cu, 3·8% Sb, 1·10% Zn und 1·3% Pb auf. Einen höheren Bleigehalt, bis über 20%, haben chinesische und japanische Bronzen, die durch Glühen oder chemische Einwirkung eine tiefschwarze Färbung erhalten.

Von den Bronzen, die als Statuen u. dgl. den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, verlangt man eine Zusammensetzung, die an den Oberflächen der Gußstücke allmählich eine schöne braune Grundfarbe mit grünem Überzug, Patina, bildet. Die Patina besteht im wesentlichen aus Oxyden und basisch kohlen-sauren Verbindungen, die im Laufe der Zeit unter der chemischen Einwirkung der Feuchtigkeit und der Luft entstehen. Es ist demnach verständlich, daß der Standort eines Bronzegegenstandes ebenfalls von Einfluß auf seine Ausfärbung ist, und daß in einer rauchigen, schwefelwasserstoffhaltigen Luft selbst die beste Bronzelegierung bald mit einem schwarzen Überzug aus Schwefelpulver behaftet ist. In derartigen

Fällen ist es ratsam, die Gegenstände schon von vornherein mit einer künstlichen Patina zu versehen. Neben diesem gibt es noch eine Reihe anderer Färbeverfahren und Färbemittel, die in der einschlägigen Literatur nachzulesen sind.

Münzenbronze. Für Scheidemünzen werden schon seit den ältesten Zeiten Kupferlegierungen verwandt, da reines Kupfer für diesen Zweck zu weich ist. Man findet bei Münzen aus früherer Zeit wegen Mangels jeglicher Kontrollanalysen stark wechselnde Legierungen, von reinen Bronzen angefangen bis zu Bronzen mit mehr oder weniger Blei- und Zinkzusatz und reinen Messinglegierungen. In der Neuzeit werden die Kupferscheidemünzen in Deutschland, England, Frankreich, Schweden und anderen Ländern mit 95% Cu, 4% Sn und 1% Zn, in Italien mit 96% Cu, 4% Sn und in Dänemark mit 90% Cu, 5% Sn und 5% Zn hergestellt. Der vorliegende Zinngehalt genügt einerseits, um eine harte und grifffeste Legierung zu schaffen und ist andererseits nicht zu hoch, um nicht noch eine gute Prägung zu gestatten. Die deutschen 5- und 10-Rentenpfennigstücke bestehen hingegen aus einer Aluminiumbronze mit 91,5% Cu und 8,5% Al und neuerdings aus einer Zinklegierung. Preismünzen und Medaillen pflegt man auch aus Zinnbronze, teilweise mit höherem Zinngehalt, herzustellen, da hier eine durch die größere Härte erschwerte Prägung bei den kleineren Stückzahlen nicht so sehr ins Gewicht fällt. Die verschiedenen Farbtonungen werden wie bei den Kunstbronzen durch chemische Behandlung, über die in der einschlägigen Fachliteratur nachzulesen ist, erzeugt.

IV. Rotguß.

1. Allgemeines.

Es lag von jeher nahe, das teure Zinn in den reinen Zinnbronzen wenigstens zum Teil durch das billigere Zink zu ersetzen. Solche Legierungen mit einem Zinngehalt bis etwa 10% werden als „Rotguß“ bezeichnet; sie sind zwar gegenüber den Zinnbronzen in der Härte etwas geringer, doch ergeben sie einen dünnflüssigen, scharfen und blasenfreien Guß. Die Deutschen Normen in DIN 1705 Bl. 1 benennen als „Rotguß eine Legierung aus Kupfer, Zinn, Zink und gegebenenfalls Blei“. Eine neuere Begriffsbestimmung soll folgende Fassung erhalten: „Rotguß ist eine Legierung aus Kupfer, Zinn und Zink mit überwiegendem Kupfergehalt, gegebenenfalls mit Bleizusatz. Rotguß mit nachweisbarem Phosphorgehalt wird auch als Phosphor-Rotguß bezeichnet. Der Mindestgehalt an Kupfer beträgt 81%, an Zinn 3%, an Zink 2%. Der Phosphorgehalt des Phosphor-Rotgusses beträgt mindestens 0,1%. Rotguß mit einem Mindestgehalt an Kupfer + Zinn von 94 bzw. 95% wird auch als Maschinenbronze bzw. Flanschenbronze (bei einem Phosphorgehalt von mindestens 0,1% als Phosphor-Maschinenbronze bzw. Phosphor-Flanschenbronze) bezeichnet.“

2. Herstellung und Verarbeitung.

a) Schmelzen. Der Rotguß wird aus Neumaterial, fertiglegierten Blöcken und aus Altmaterial erschmolzen. Beim Einschmelzen aus Neumaterial muß wie bei der Bronze verhindert werden, daß Sauerstoff in die Schmelze aufgenommen wird. Das Kupfer wird daher zuerst unter einer Holzkohlendecke erschmolzen, mit Phosphorkupfer desoxydiert, und dann wird Zinn, Zink und gegebenenfalls Blei zugegeben. Beim Einschmelzen aus Blöcken und Altmaterial, bestehend aus Angüssen, Gußabfällen und im Handel erhältlichem Rotgußschrott, ist eine Sauerstoffaufnahme nicht zu befürchten, da die bei der hohen Schmelztemperatur eintretende Zinkverdampfung sie verhindert. Mit dieser Verdampfung ist bei der

Gattierung des Gusses als Abbrandverlust für Zink zu rechnen; sie ist mit etwa $2 \cdot \cdot \cdot 5\%$ zu veranschlagen.

Über die Wirkung verschiedener Beimengungen im Rotguß, die bei Verwendung von Altmaterial kaum zu vermeiden sind, hat CZOCHRALSKI folgende Feststellungen gemacht: Blei bis zu 6% übt keinen nachhaltigen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften aus, es verbessert aber die Bearbeitbarkeit, Gießbarkeit und Dünnflüssigkeit. Antimon ist bis $0,3\%$ unschädlich, ebenfalls Arsen. Wismut ist bis $0,1\%$ ohne Einfluß, doch bei höheren Gehalten nehmen Festigkeit, Dehnung und Härte stark ab.

Die Temperatur der Schmelze beträgt etwa $1200 \cdot \cdot \cdot 1300^{\circ}$, während die Gießtemperatur auf etwa 1150° zu erniedrigen ist. Große Sorgfalt ist darauf zu verwenden, die Schmelze nicht zu überhitzen. Es bildet sich sonst wie bei der Bronze leicht Zinnsäure, die auch nach dem Erstarren im Metall zurückbleibt und seine Eigenschaften stark beeinträchtigt. Als Schmelzöfen werden Tiegel-, Schacht- und Kippöfen mit Koks- oder Ölfeuerung verwendet. Für große Gußmengen bis zu 10 t Fassungsvermögen kommen Herdflammöfen in Betracht. Neuerdings scheint sich auch der elektrische Ofen für das Schmelzen von Rotguß immer mehr durchzusetzen.

b) Gießen. Die Gießtemperatur wird niedriger gehalten als die Schmelztemperatur und beträgt etwa 1150° . Wichtig ist, daß beim Gießen die Schlackendecke sorgfältig zurückgehalten wird, da mitgerissene Schlackenreste eine häufige Fehlerursache beim Rotguß bilden. Die gebräuchliche Gußart ist für größere Gußstücke der trockene und für kleine Gußstücke der nasse Sandguß. Für Stangen und Blöcke lassen sich gut metallene Dauerformen verwenden.

Zur Erzeugung eines dichten, feinkörnigen Gußstückes ist bei niedriger Gießtemperatur schnelle Abkühlung und Erstarrung anzustreben. Das Gefüge (Abb. 54) besteht aus den bekannten Schichtkristallen (Tannenbaumgefüge). Ein poriger, blasiger Guß und umgekehrte Blockseigerung (s. S. 47) wird durch Gasaufnahme des Schmelzflusses erhalten, die bei zu hoher Schmelztemperatur und zu starker Badbewegung als Folge eines zu heiß gehenden Ofens entsteht.

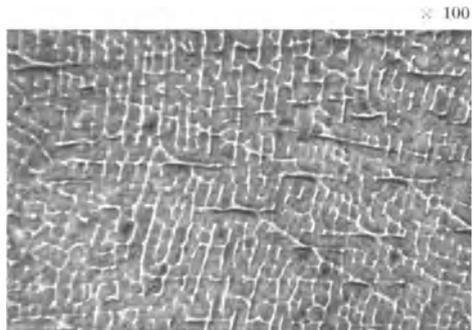


Abb. 54. Gußgefüge von Rotguß Rg 9 (Schichtkristalle).

3. Physikalische Eigenschaften und Verwendung.

Die Rotgußlegierungen haben je nach ihrer Zusammensetzung ein spezifisches Gewicht von $8,56 \cdot \cdot \cdot 8,90\text{ g/cm}^3$ und einen Elastizitätsmodul von rund 8300 kg/mm^2 . Die Festigkeitseigenschaften der genormten Legierungen Rotguß 10 (Rg 10), auch Maschinenbronze genannt, Rotguß 9 (Rg 9), Rotguß 8 (Rg 8), Rotguß 5 (Rg 5) und Rotguß 4 (Rg 4), auch Flanschenbronze genannt, sind in DIN 1705, Bl. 2 (Tabelle 11, S. 48) festgelegt. Die für gewöhnlichen Sandguß geltenden Festigkeiten lassen sich bei Schleuderguß erheblich verbessern (Tabelle 19).

Tabelle 19. Festigkeiten von Schleuderguß-Rotguß.

	Zugfestigkeit σ_B kg/mm ²	Dehnung δ_s %	Brinellhärte H kg/mm ²
für Rg 10 . .	30	9	95
„ Rg 9 . . .	27	9	90
„ Rg 5 . . .	26	13	80

Der Schleuderguß kann jedoch nur in Form von reinen Rotationskörpern, d. h. von glatten Rohren oder Ringen, geliefert werden.

Die Festigkeitseigenschaften bei höheren Temperaturen sind, da Rotguß viel für Armaturen benutzt wird, von besonderer Bedeutung (Tabelle 20). Wie aus

Tabelle 20. Festigkeit von Rotguß bei höheren Temperaturen.

Temperatur ° C	Rotguß 4		Rotguß 9	
	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung (l = 5 d) %	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung (l = 5 d) %
20	24	36	23	18
100	24	35	23	20
200	22	34	22	17
300	14	11	16	7
400	6	0	11	1,5
500	4	0	6	0

dieser Aufstellung zu ersehen ist, ist bei 100° noch keine nennenswerte Änderung der mechanischen Eigenschaften eingetreten. Bei 200° ist bereits ein merklicher und bei 300° ein sehr starker Abfall der Festigkeit und Dehnung vorhanden, so daß Betriebstemperaturen über 200° für Rotguß nicht mehr zu empfehlen sind.

Die Rotgußlegierungen finden überall da Verwendung,

wo der Werkstoff gewisse Gleiteigenschaften und Korrosionsbeständigkeit aufweisen muß, wo also Eisen und Stahl wegen Rostgefahr nicht in Betracht kommen. Rotguß 10 ist geeignet für Ventile, Hähne, Schieber, Stutzen, Wellenböcke und Zubehörteile an Pumpen, Kondensatoren und Maschinen und Rotguß 9 als Lager- und Armaturteile (für Eisenbahnzwecke). Rotguß 8 stellt eine harte Legierung dar für Gußteile, die Verschleiß unterworfen sind, und Rotguß 5 eine weiche Legierung für Maschinengußteile. Beide Legierungen werden meist blank bearbeitet. Rotguß 4 schließlich hat sich für Rohrflansche und für Teile, die hart gelötet werden müssen, gut bewährt.

Metallographie des Aluminiums und seiner Legierungen. Von Dr.-Ing.
V. Fuß. Mit 203 Textabbildungen und 4 Tafeln. VIII, 219 Seiten. 1934.
RM 21.—; gebunden RM 22.50

Metallographie der technischen Kupferlegierungen. Von Dipl.-Ing.
Alfred Schimmel. Mit 199 Abbildungen im Text, einer mehrfarbigen Tafel und 5 Diagrammtafeln. VI, 134 Seiten und 4 Seiten Anhang. 1930. RM 17.10; gebunden RM 18.45

Grundlagen der Metallkunde in anschaulicher Darstellung. Von Professor
Dr. phil. **Georg Masing,** Göttingen. Mit 121 Abbildungen. V, 127 Seiten. 1940.
RM 8.70; gebunden RM 9.60

Was ist Stahl? Einführung in die Stahlkunde für Jedermann. Von **Leopold Scheer.**
Fünfte, ergänzte Auflage. Mit 49 Abbildungen im Text und einer Tafel. VI,
107 Seiten. 1940. RM 3.—; gebunden RM 3.80

Texturen metallischer Werkstoffe. Von Dr. phil. habil. **G. Wassermann.**
Mit 184 Abbildungen im Text. VI, 194 Seiten. 1939. RM 18.—; gebunden RM 19.80

Lehrbuch der chemischen Technologie und Metallurgie. Unter Mit-
wirkung hervorragender Fachleute herausgegeben von Professor Dr. **Bernhard Neu-
mann,** Breslau. Dritte, neu bearbeitete und erweiterte Auflage. In zwei Bänden.
Erster Band: Brennstoffe. Anorganische Industriezweige. Zweiter Band:
Metallurgie. Organische Industriezweige. Mit 616 Abbildungen. IX, V, 1280 Seiten.
1939. Zusammen RM 90.—; gebunden RM 96.60

C. J. Smithells, Beimengungen und Verunreinigungen in Metallen.
Ihr Einfluß auf Gefüge und Eigenschaften. Erweiterte deutsche Bearbeitung von
Dr.-Ing. **W. Hessenbruch,** Heraeus Vakuumschmelze A.-G., Hanau a. M. Mit 248 Text-
abbildungen. VII, 246 Seiten. 1931. Gebunden RM 29.—

Fachwörterbuch der Metallurgie. (Eisen- und Metallhüttenkunde.)
Von **Henry Freeman.**

Erster Teil: **Deutsch-Englisch.** 327 Seiten. 1933.

Zweiter Teil: **Englisch-Deutsch.** 347 Seiten. 1934.

Mit 750 alphabetisch geordneten technischen Umwandlungsfaktoren, 21 Zahlen-
tafeln, einer mehrseitigen Zusammenstellung deutscher bzw. englischer Kurz-
zeichen technischer Größen und Einheiten, über 33 000 Stichwörtern mit rund
25 000 rein technischen Fachausdrücken. Jeder Teil gebunden RM 25.—

Die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie. Von Dr. phil. **Ernst Damerow**, Berlin. Mit 280 Textabbildungen und 9 Tafeln. VI, 207 Seiten. 1935. RM 16.50; gebunden RM 18.—

Hilfsbuch für die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie. Von Dr. phil. **E. Damerow** und Dipl.-Ing. **A. Herr**, Berlin. Mit 38 Abbildungen und 42 Zahlentafeln. IV, 80 Seiten. 1936. RM 9.60

Die Dauerprüfung der Werkstoffe hinsichtlich ihrer Schwingungsfestigkeit und Dämpfungsfähigkeit. Von Prof. Dr.-Ing. **O. Föppl**, Braunschweig, Dr.-Ing. **E. Becker**, Ludwigshafen, und Dipl.-Ing. **G. v. Heydekampf**, Braunschweig. Mit 103 Abbildungen im Text. V, 124 Seiten. 1929. RM 8.55

Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente. Elastizität und Festigkeit von Stahl, Stahlguß, Gußeisen, Nichteisenmetall, Stein, Beton, Holz und Glas bei oftmaliger Belastung und Entlastung sowie bei ruhender Belastung. Von **Otto Graf**. Mit 166 Abbildungen im Text. VIII, 131 Seiten. 1929. RM 12.60; gebunden RM 13.95

Die Wechselfestigkeit metallischer Werkstoffe. Ihre Bestimmung und Anwendung. Von Dr. techn. **Wilfried Herold**, Wien. Mit 165 Textabbildungen und 68 Tabellen. VII, 276 Seiten. 1934. (Verlag von Julius Springer-Wien.) Gebunden RM 24.—

Physik der mechanischen Werkstoffprüfung. Von Dr. phil. **Wilhelm Späth** VDI, Beratender Physiker. Mit 84 Abbildungen im Text. VI, 179 Seiten. 1938. Gebunden RM 14.60

Physik und Technik der Härte und Weiche. Von Dr. phil. **Wilhelm Späth** VDI, Beratender Physiker. Mit 214 Textabbildungen. VIII, 250 Seiten. 1940. RM 18.—; gebunden RM 19.50

Ausgewählte chemische Untersuchungsmethoden für die Stahl- und Eisenindustrie. Von Chem.-Ing. **Otto Niezoldi**, Vorsteher des chemischen, metallographischen und röntgenographischen Laboratoriums der Firma Rheinmetall-Borsig A.-G., Werk Borsig, Berlin-Tegel. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. VIII, 175 Seiten. 1939. RM 6.90

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten (Fortsetzung)

III. Spanlose Formung

	Heft
Freiformschmiede I (Grundlagen, Werkstoff der Schmiede, Technologie des Schmiedens). 2. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt	11
Freiformschmiede II (Schmiedebeispiele). 2. Aufl. Von B. Preuss und A. Stodt	12
Freiformschmiede III (Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede). 2. Aufl. Von A. Stodt	56
Gesensschmiede I (Gestaltung und Verwendung der Werkzeuge). 2. Aufl. Von H. Kaessberg	31
Gesensschmiede II (Herstellung und Behandlung der Werkzeuge). Von H. Kaessberg	58
Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle). Von A. Peter	41
Die Herstellung roher Schrauben I (Anstauchen der Köpfe). Von J. Berger	39
Stanztechnik I (Schnitttechnik). 2. Aufl. Von E. Krabbe	44
Stanztechnik II (Die Bauteile des Schnittes). Von E. Krabbe	57
Stanztechnik III (Grundsätze für den Aufbau von Schnittwerkzeugen). Von E. Krabbe	59
Stanztechnik IV (Formstanzen). Von W. Sellin	60
Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 2. Aufl. Von W. Sellin	25
Hydraulische Preßanlagen für die Kunstharzverarbeitung. Von H. Lindner	82

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 4. Aufl. Von P. Schimpke	18
Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl. Von E. Klosse	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. Von Rud. Hesse	74
Widerstandsschweißen. Von Wolfgang Fahrenbach	73
Das Schweißen der Leichtmetalle. Von Theodor Ricken	85
Das Löten. 2. Aufl. Von W. Burstyn	28
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec	72
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer	14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer	17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck	37
Kupolofenbetrieb. 2. Aufl. Von C. Irresberger. (Vergriffen, wird neu bearbeitet)	10
Handformerei. Von F. Naumann	70
Maschinenformerei. Von U. Lohse	66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse	68

V. Antriebe, Getriebe, Vorrichtungen

Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine. Von O. Weidling	54
Hohe Drehzahlen durch Schnellfrequenz-Antrieb. Von Fritz Beinert und Hans Birett	84
Die Getriebe der Werkzeugmaschinen I (Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen). Von H. Rognitz	55
Maschinelle Handwerkzeuge. Von H. Graf	79
Die Zahnformen der Zahnräder. Von H. Trier	47
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer	29
Teilkopparbeiten. 2. Aufl. Von W. Pockrandt	6
Spannen im Maschinenbau. Von Fr. Klautke	51
Der Vorrichtungsbau I (Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze). 3. Aufl. Von F. Grünhagen	33
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 3. Aufl. Von F. Grünhagen	35
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen). 2. Aufl. Von F. Grünhagen	42

VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 2. Aufl. Von P. Riebensahm	34
Metallographie. Von O. Mies	64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt	18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress	65
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 2. Aufl. Von F. Klautke	3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. Von A. Dorl	38
Technisches Rechnen I. 2. Aufl. Von V. Happach	52
Der Dreher als Rechner. 2. Aufl. Von E. Busch	63
Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. Von P. Heinze	67