

niums zu dem des Kupfers wie 1:0,52 verhält. Unter anderem ist die 130 km lange Leitung von den Elektrizitätswerken in Golpa nach Berlin mit drei Aluminiumseilen aus je 19 Drähten von 3 mm Stärke ausgeführt.

## IV. Legierungen.

### A. Allgemeines über Legierungen.

Legierungen sind erstarrte Lösungen zweier oder mehrerer Metalle ineinander. Vielfach kommen auch Lösungen von Nichtmetallen, wie Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor in Metallen in Betracht. Die Legierungen besitzen metallische Eigenschaften; die Eigentümlichkeiten der einzelnen Teile werden aber oft schon durch ganz geringe Zusätze in starkem Maße verändert und verschwinden häufig unter Auftreten ganz neuer Eigenschaften völlig. So werden die Farbe, der Schmelzpunkt, die Gießbarkeit, die Festigkeit und Härte, die Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische und chemische Einwirkungen u. a. in oft erheblichem Maße beeinflusst, so daß die Erzielung bestimmter Eigenschaften als Zweck des Legierens bezeichnet werden kann.

Alle Legierungen, mit Ausnahme der eutektischen und bestimmter chemischer Verbindungen zwischen den Bestandteilen der Legierung, schmelzen und erstarren in einem von der Zusammensetzung abhängigen, größeren oder kleineren Temperaturbereich. Je nachdem, ob dieser langsam oder rasch durchlaufen wird, ob also das Festwerden allmählich oder schnell vor sich geht, scheiden sich die im Überschuß vorhandenen Bestandteile in größeren oder kleineren Kristallen aus und bewirken so die Bildung eines gröbereren oder feineren Gefüges. Manchmal treten Ausseigerungen und dadurch Störungen der Gleichmäßigkeit der Festigkeits- und Bearbeitungseigenschaften auf. Zu diesen Erstarrungsvorgängen kommen häufig noch Veränderungen in festem Zustande, auf welche u. a. das Härten und Anlassen des Stahls, das Vergüten des Duralumins zurückzuführen sind, so daß die Eigenschaften der Legierungen nicht allein durch die Zusammensetzung, sondern auch durch die Behandlung während und nach dem Erstarren bedingt werden. All das ist die Begründung dafür, daß sich manchmal Legierungen nicht beharren, die an anderen Stellen mit bestem Erfolge angewendet werden.

Die Schmelztemperaturen liegen häufig niedriger, als nach der Zusammensetzung und den Schmelzpunkten der Bestandteile zu erwarten ist. Da zudem die Herstellung von Gußstücken meist durch größere Leichtflüssigkeit und geringere Neigung zur Blasen- und Lunkerbildung unterstützt wird, erklärt sich, daß sich Legierungen viel häufiger als die reinen Metalle finden.

Schrifttum: [II, 1, 5, 23]

Von großer Wichtigkeit für die praktische Verwendung sind die Preise der einzelnen Bestandteile. Sie sind in starkem Maße von der Marktlage abhängig; immerhin war das gegenseitige Verhältnis vor dem Kriege annähernd unveränderlich. Anders heutzutage: Die Preise der einzelnen Metalle schwanken innerhalb weiterer Grenzen und unabhängig voneinander; namentlich ist Zinn bedeutend teurer geworden, so daß seine Verwendung beschränkt und sein Ersatz, wo irgend möglich, angestrebt werden sollte. Im Verhältnis zum Kupfer kostete:

	Zinn	Antimon	Zink	Blei	Aluminium
vor dem Kriege im Mittel das	1,97	0,79 -	0,34	0,20	— fache
Mitte 1926 das	4,7	0,9	0,6	0,5	2 „

### B. Kupfer-Zinnlegierungen, Bronzen.

#### 1. Einteilung und Haupteigenschaften.

Die zahlreichen Kupfer-Zinnlegierungen kann man in 4 Hauptgruppen einteilen:

- a) reine Zinnbronzen, lediglich aus Kupfer und Zinn bestehend,
- b) Phosphorbronzen, mit geringen Zusätzen von Phosphor beim Einschmelzen, die desoxydierend wirken sollen,

- c) Rotguß, bei dem ein Teil des Zinns durch Zink und Blei ersetzt ist,  
d) Sonderbronzen.

#### a) Zinnbronzen.

Schon geringe Zusätze von Zinn erhöhen die Festigkeit, die Härte und namentlich die Gießbarkeit des Kupfers wesentlich, lassen dagegen die Dehnbarkeit und Geschmeidigkeit abnehmen, Abb. 120, nach Versuchen von Shepherd und Upton. Die Festigkeit steigt bis zu etwa 17,5% Zinngehalt, die Härte erreicht bei 28% ihren größten Wert. Eine Bearbeitung durch Hämmern, Walzen und Pressen ist bis 6% Zinngehalt im kalten, bis 15% im glühenden Zustande, bis 22% bei Dunkelrotglut, aber nur unter besonderer Vorsicht möglich. Zinnreiche Bronzen neigen beim Gießen zu Seigerungen, die sich häufig in Gestalt von weißlichen Zinnflecken geltend machen.

Legierungen bis zu 6% Zinngehalt werden vor allem zu Blechen, Drähten und Bändern ausgewalzt.

#### b) Phosphorbronzen.

Zur Erhöhung der Dünnflüssigkeit, Dichtigkeit und Festigkeit erhalten Legierungen mit Zinngehalten zwischen 8 und 20% Zinn meist geringe Zusätze von Phosphor beim Einschmelzen und werden dann Phosphorbronzen genannt. Der Phosphor wirkt dabei, in Mengen von 0,5 bis 1% in Form von Phosphorkupfer oder Phosphorzinn zugeführt, lediglich als Desoxydationsmittel, und zwar zersetzt er nach den Untersuchungen von Bauer und Heyn die im flüssigen Metall schwimmende Zinnsäure. Im fertigen Gußstück ist er nicht oder nur noch in Spuren nachweisbar. Ein größerer Gehalt würde im Gegenteil die Sprödigkeit steigern und die Legierungen für viele Zwecke unbrauchbar machen. Bei Zinngehalten bis zu 10% werden die Zugfestigkeiten nach Künzel durch den Phosphorzusatz um ungefähr 30% gesteigert; die Härte und im Zusammenhang mit ihr die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung nehmen zu, während die Bruchdehnung unverändert bleibt. Die Phosphorbronzen dienen vor allem zur Herstellung von Gußstücken, so z. B.:

weiche Phosphorbronzen mit 8 bis 12% Zinn, leicht bearbeitbar, zu Büchsen, Hähnen, Ventilen, Schiebern, Pumpenkolben usw.,

harte Phosphorbronzen mit 12 bis 16% Zinn zu Zahn- und Schneckenrädern, stark belasteten Lagerschalen, Sitzen und Tellern von Ventilen usw.

Glockenbronze mit rund 20% Zinn zu Spurplatten und andern Teilen, die starkem Verschleiß unterliegen.

#### c) Rotguß,

auch Maschinenbronze genannt, ist durch Zusätze von Zink und Blei billiger und wegen der geringeren Härte leichter bearbeitbar. Kleine Mengen von Zink fördern die Dünnflüssigkeit der Legierungen und die Dichtigkeit der Gußstücke. Im Durchschnitt besteht guter Rotguß aus 82 bis 90 Teilen Kupfer, 15 bis 7 Teilen Zinn, 2 bis 5 Teilen Zink, oder Blei und Zink.

#### d) Sonderbronzen

entstehen durch Zusätze von Silizium, Mangan, Magnesium, Eisen, Nickel, größeren Mengen Blei und andern Stoffen. Oft werden die besonderen Bestandteile in den Namen der Legierungen angedeutet — Silizium- und Manganbronzen —, häufig werden die Namen der Erfinder oder Firmen zur Bezeichnung benutzt. Vermieden werden sollte aber, den Namen Bronze auf zinkreiche, dem Messing nahestehende Legierungen anzuwenden.

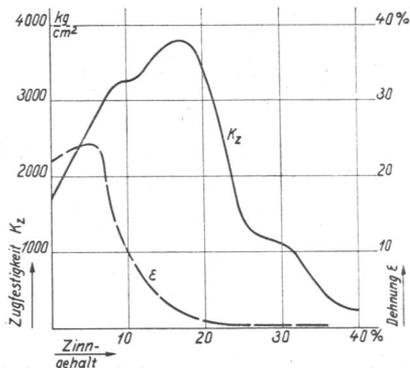


Abb. 120. Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Zinnlegierungen, gegossen, nach Shepherd und Upton.

Silizium, Mangan und Magnesium haben ähnliche Wirkungen wie Phosphor, nur in etwas geringerem Maße. So dient das Silizium bei der Herstellung des zu Fernsprech- und Fahrdrähtleitungen benutzten Siliziumbronzedrahtes im wesentlichen zur Reinigung der Bronze. Es darf im fertigen Draht nur noch in ganz geringen Mengen vorhanden sein, weil sonst die elektrische Leitfähigkeit erheblich beeinträchtigt wird. Dagegen haben Überschüsse an den drei genannten Stoffen keinen schädlichen Einfluß auf die Festigkeit. In die Gruppe der Manganbronzen pflegt man auch die Legierungen, die lediglich aus Kupfer und Mangan bestehen, einzuschließen.

Einige Angaben über die Bestandteile häufig gebrauchter Bronzen bringt die folgende Zusammenstellung.

Zusammenstellung 38. Zusammensetzung häufig gebrauchter Bronzen.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei	Phosphor- kupfer mit 10 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> P.	Sili- zium	Man- gan
Zinnbronze für Lagerschalen, hart . . . . .	83	17	—	—	—	—	—
Zinnbronze für Zahnräder (Ledebur) . . . . .	90	10	—	—	—	—	—
Weiche Phosphorbronze . . . . .	91—87	8—12	—	—	1 <sup>1)</sup>	—	—
Harte Phosphorbronze . . . . .	87—83	12—16	—	—	1 <sup>1)</sup>	—	—
Glockenbronze i. M. . . . .	79	20	—	—	1 <sup>1)</sup>	—	—
Harter Rotguß für Maschinenteile i. M. . . . .	82	10	8		—	—	—
Weicher Rotguß für Maschinenteile i. M. . . . .	85	5	10		—	—	—
Lagerschalen, Vorschrift d. preuß. Staatsbahn . . . . .	84	15	1	—	—	—	—
Zähe Legierung für Ventile, Hähne usw. . . . .	88	12	3	—	—	—	—
Dichte Legierung für Pumpen und Ventilgehäuse . . . . .	88	10	2	—	—	—	—
Für dünnwandigen Guß, Armaturen, Schneckenräder . . . . .	85	9	6	—	—	—	—
Lagermetall der Pennsylvania Railroad Co. . . . .	77	8	—	15	—	—	—
Manganbronze, zäh und fest. . . . .	84	15,6	—	—	—	—	0,4
Siliziumbronze für Fernsprechdrähte . . . . .	91—98	9—1	0—1	—	—	0,05 <sup>2)</sup>	—

1) Im Einsatz, in der fertigen Legierung nur noch in Spuren.  
2) In der fertigen Legierung.

2. Festigkeitseigenschaften der Bronzen.

Was die Festigkeitseigenschaften anlangt, so treten bei der erstmaligen Belastung gegossener Bronzen schon bei niedrigen Beanspruchungen bleibende Formänderungen ein. In diesem Zustande fehlt auch die Verhältnissgleichheit zwischen Spannungen und Dehnungen, die sich aber, ebenso wie die Elastizitätsgrenze, bei wiederholter Belastung

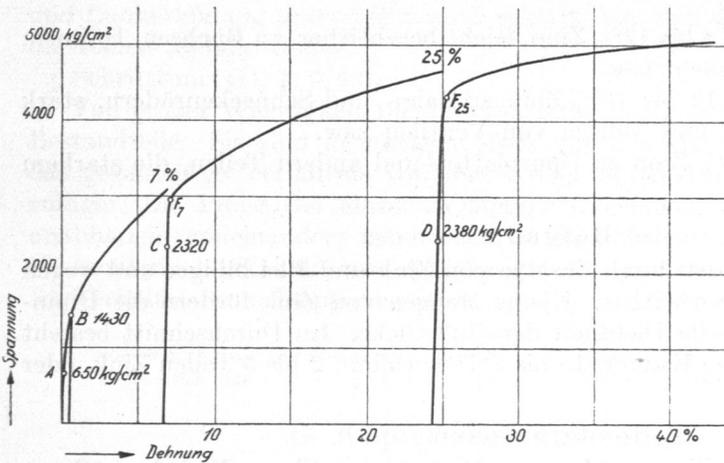


Abb. 121. Zugversuch an Hohenzollern-Propellerbronze. Erhöhung der Elastizitäts- und der Fließgrenze infolge Kaltreckens (Verfasser).

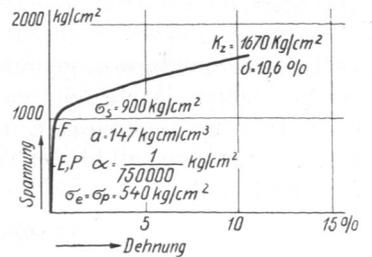


Abb. 121a. Zugversuch an Rotguß (Verfasser).

oder beim Recken im kalten oder beim Walzen und Schmieden im warmen Zustande ausbildet. Die Dehnungszahl liegt dann zwischen  $\alpha = \frac{1}{800000}$  bis  $\frac{1}{1200000}$  cm<sup>2</sup>/kg, wäh-