

Zweiter Abschnitt.

Die Werkstoffe des Maschinenbaues.**I. Allgemeines über ihre Untersuchung und die an sie zu stellenden Anforderungen.**

Maßgebend für die Verwendung der verschiedenen Werkstoffe sind ihre Eigenschaften. Ihre Kenntnis, durch die Baustoffkunde vermittelt, bildet eine der Grundlagen des Gestaltens. Die Eigenschaften sind mechanisch-technologischer, physikalischer oder chemischer Natur und hängen nicht allein von der Art des Werkstoffes an sich, sondern auch von seiner Herstellung und dem Grad der mechanischen Bearbeitung, der er unterworfen war, manchmal auch von der chemischen Behandlung ab. Zu den mechanisch-technologischen Eigenschaften, die vor allem bei der Weiterbearbeitung des Rohstoffes und bei seinem Verhalten mechanischen Kräften gegenüber in Frage kommen, gehören die Gießbarkeit, die Bildsamkeit im warmen und im kalten Zustande, die Festigkeit, Elastizität, Härte, Zähigkeit und Sprödigkeit, die Bearbeitbarkeit durch Werkzeuge, die Schweißbarkeit, Lötbarkeit und andere mehr. Wichtige physikalische sind: die Lage der Schmelz-, Erstarrungs- und Siedepunkte, die Wärmeleitfähigkeit und das Ausstrahlungsvermögen sowie die elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Von größtem Einfluß ist die Zusammensetzung der Werkstoffe, indem oft schon ganz geringfügige Beimengungen weitgehende Änderungen des Verhaltens bedingen. Chemische Eigenschaften spielen bei der Gewinnung, aber auch bei der Berührung der Werkstoffe mit Flüssigkeiten, Dämpfen oder Gasen, die als Betriebsmittel in Frage kommen, eine entscheidende Rolle.

Die Ermittlung der Eigenschaften ist die Aufgabe der Werkstoffprüfung. Einfache Proben technischer Art sind uralte; das wissenschaftliche Prüfwesen unter Messen und Vergleichen der Eigenschaften auf Grund von Normen ist erst in der neueren Zeit entstanden, gewinnt aber immer größere Bedeutung, je höhere und schärfere Anforderungen an die Stoffe gestellt werden. Neben der Ermittlung der Eigenschaften neuer Baustoffe obliegt dem Prüfungswesen vor allem die laufende Überwachung der Herstellung der Werkstoffe (Werkprüfung), die Nachprüfung der fertigen sowie die Untersuchung ausgeführter ganzer Bauteile (Abnahmeprüfung).

Gründliche Kenntnisse der Eigenschaften der Werkstoffe und ihres Verhaltens gegenüber den in den Maschinen auftretenden Kräften und Betriebsmitteln braucht sowohl der gestaltende Konstruktions-, wie der die Ausführung leitende Betriebsingenieur; aber auch bei der Festlegung der Abnahmebedingungen und der Aufstellung von Lieferverträgen sind sie unentbehrlich. Stets gilt es, den beabsichtigten Zweck auf wirtschaftlichste Weise zu erreichen. Man muß für den betreffenden Fall sorgfältig die passenden Werkstoffe auswählen, für untergeordnete Zwecke mit gewöhnlichen, billigen auszukommen suchen, die Eigenschaften der teureren, besseren aber, so weit irgend möglich, auszunutzen bestrebt sein. In schwierigen oder in Zweifelsfällen tut man gut, mit dem Erzeuger wegen der Angabe geeigneter Werkstoffe in Verbindung zu treten.

Eine allmähliche Steigerung der Ansprüche an die Werkstoffe seitens der Verbraucher wirkt im allgemeinen fördernd auf die Herstellung. Andererseits schaden unberechtigt hohe oder gar einander widersprechende Bedingungen, weil sie die wirtschaftliche Herstellung des Baustoffes erschweren.

a) Entnahme der Proben und Durchführung der Versuche.

An Werkstoffen und Teilen, die größeren Beanspruchungen ausgesetzt sind, werden Festigkeitsuntersuchungen vorgenommen: Zug-, Druck-, Biege-, Falt- und Schlagbiegeversuche sowie Härteprüfungen, seltener Dreh-, Scher- und Lochversuche. Vielfach

dienen technologische Versuche, ohne Messung der aufgewandten Kräfte, zur raschen Beurteilung des Zustandes des Baustoffs während seiner Herstellung und vor der weiteren Verwendung.

Die Proben sind der Art der Inanspruchnahme der Maschinenteile entsprechend zu wählen. So sollte z. B. an Werkstoffen, die beim Gebrauch Biegebeanspruchungen unter Stößen und harten Schlägen ausgesetzt sind, größerer Wert auf Schlagbiegeversuche gelegt werden, als auf den noch vielfach vorgeschriebenen Zugversuch. — Bei Schienen ist in neuerer Zeit richtigerweise die Härteprüfung durch das Kugeldruckverfahren neben den Zugversuch getreten.

Die Entnahme der Proben nach Zahl und Art an Form-, Stab- und Breitereisen, sowie an Schrauben- und Nieteisen regeln die DIN 1612 und 1613. Vgl. Seite 82 u. 83. Wichtig ist die Art der Probeentnahme an vorgeschmiedeten und fertigen Maschinenteilen. Wenn irgend möglich, sollen die Versuchsstücke unmittelbar aus dem betreffenden Teil herausgearbeitet werden, wie Abb. 76 an einem Turbodynamoanker zeigt. An dem vorgedreht gelieferten Anker ist der Absatz *a* nur am linken Ende vorgesehen, am rechten dagegen weggelassen, in der Absicht, dort bei der endgültigen Bearbeitung einen Ring abzustechen, dem die Festigkeitsproben entnommen werden. Auf jeden Fall muß das Schmieden der Proben im warmen oder das Recken im kalten Zustande, das die Eigenschaften wesentlich beeinflußt, vermieden werden. Daher auch die Vorschrift, daß bei Achsen und Wellen das angeschmiedete, zur Untersuchung bestimmte Stück im rohen Zustande mindestens den Durchmesser des schwächsten Teiles der ganzen Welle haben,

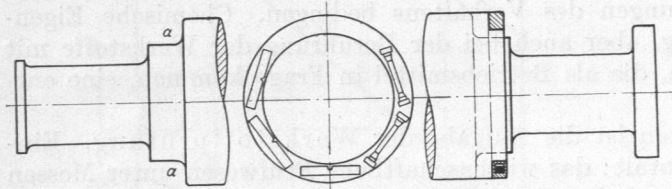


Abb. 76. Entnahme von Festigkeitsproben an einem Turbodynamoanker nach Lasche.

jedenfalls durch Schmieden nicht weiter gestreckt werden soll. An Walzeisen ist die Walzhaut auf den Probestücken möglichst zu belassen. Eine Ausnahme bilden Proben für Kugeldruckversuche. Wird das Gebrauchsstück gegläht, so sind auch die Proben in gleicher Weise auszuglühen. Bei Guß-

stücken ist die Dicke der Biegestäbe, die zweckmäßigerweise unmittelbar angegossen werden, den Wandstärken entsprechend zu wählen.

Einheitliche Vorschriften über die Ausführung der Versuche sowie Zahlen für die zu verlangenden Festigkeitseigenschaften sind neuerdings in den deutschen Industrienormen festgelegt worden.

Diejenigen für Stahl und Eisen sind zusammengefaßt im Beuth-Heft 1 [II, 40] herausgegeben. Unter der Mitwirkung der folgenden Behörden und Verbände aufgestellt, dürften sie auf allseitige Anerkennung und baldige allgemeine Einführung rechnen. Sie sind den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt.

An den Normen für Stahl und Eisen arbeiteten mit:

für die Erzeuger
 der Verein deutscher Eisenhüttenleute,
 der Verein deutscher Stahlformgießereien,
 der Verein deutscher Eisengießereien;
 für die Verbraucher
 das Eisenbahnzentralamt,
 das Reichswehrministerium,
 das Ministerium für Handel und Gewerbe,
 die Arbeitsgemeinschaft der eisenverarbeitenden Industrie,
 der Verein deutscher Maschinenbauanstalten,
 der deutsche Eisenbau-Verband,
 der Handelsschiff-Normen-Ausschuß,
 der Reichsverband der Automobilindustrie,
 der Verein für die bergbaulichen Interessen in Essen,
 der Verband deutscher Elektrotechniker,

der Verband deutscher Waggonfabriken,
 der Verein der märkischen Kleineisen-Industrie;
 für die wissenschaftliche Materialprüfung
 der deutsche Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Neben den Normen gelten aber vielfach noch die von den Behörden und Verbänden herausgegebenen Liefervorschriften, von denen die folgenden genannt seien:

Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln 1908, desgl. über Schiffsdampfkessel 1908, z. Z. in Neubearbeitung begriffen — (vgl. auch die „Grundlagen der deutschen Material- und Bauvorschriften für Dampfkessel“ von Prof. Baumann 1912),

die Vorschriften der Deutschen Reichsbahn und die der Marine,
 Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau,

Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken, DIN 1000,
 die Materialvorschriften des germanischen Lloyds, 1925.

Für Sonderbaustoffe geben die Hersteller Zahlen an.

Der Zugversuch pflegt meist nur zur Bestimmung der Zugfestigkeit K_z in kg/cm^2 , der größten Spannung, die der Werkstoff, bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt, ausgehalten hat, außerdem zur Ermittlung der Bruchdehnung δ und der Einschnürung ψ in Hundertteilen benutzt zu werden. In den Liefervorschriften werden gewöhnlich nur bestimmte Werte für K_z und δ verlangt.

Nach der Zugfestigkeit wählt man die zulässige Beanspruchung bei der Berechnung der Maschinenteile und beurteilt nach ihr umgekehrt die Sicherheit der Konstruktion gegen Bruch. Daß es für den Konstrukteur wichtig ist, auch die Lage der Elastizitäts- und namentlich der Streckgrenze, die für das Auftreten bleibender Formänderungen maßgebend sind, zu kennen, war schon früher, Seite 3, hervorgehoben.

Über den praktischen Wert großer Dehnung δ und Einschnürung ψ vgl. S. 5.

Sollen untereinander vergleichbare Werte, namentlich in bezug auf die Dehnung, erhalten werden, so müssen die Versuche an geometrisch ähnlichen Probestäben durchgeführt werden. Die DIN 1605 unterscheidet in der Beziehung die Formen 1 und 3 bzw. 2 und 4 der Zusammenstellung 15, indem neben die von Martens vorgeschlagenen und viel benutzten langen Normal- und Proportionalitätsstäbe Nr. 1 und 3 die mit halb so großer Meßlänge versehenen Nr. 2 und 4 gestellt worden sind, die eine nicht unerhebliche Ersparnis an zur Untersuchung nötigem Werkstoff bieten. Die Übergänge zu den Stabköpfen, deren Form sich im einzelnen nach der Zerreißmaschine richtet, auf der die Versuche durchgeführt werden sollen, dürfen nicht scharf abgesetzt sein. Erfolgt der Bruch außerhalb des mittleren Drittels der Meßlänge, so ist die Dehnung nach dem besonderen, in der DIN 1605 angegebenen Verfahren zu ermitteln.

Zusammenstellung 15. Normale Probestäbe für Zugversuche nach DIN 1605.

Lfd. Nr.	Probestabform	Stabquerschnitt F_0 mm ²	Durchmesser des Rundstabes d mm	Meßlänge l mm	Versuchslänge l_v mm	Zeichen für die Bruchdehnung
1	Langer Normalstab	314	20	200	$\leq l + d$	δ_{10}
2	Kurzer Normalstab	314	20	100	„	δ_5
3	Langer Proportionalstab	beliebig	beliebig	$11,3 \sqrt{F_0}$	„	δ_{10}
4	Kurzer Proportionalstab	„	„	$5,65 \sqrt{F_0}$	„	δ_5
Außerdem zulässig, aber nicht geometrisch ähnlich sind:						
5	Langstab	beliebig	beliebig	200	„	δ_l
6	Kurzstab	„	„	100	„	δ_k

Die an langen Normal- oder Proportionalstäben Nr. 1 und 3 ermittelten Dehnungen sollen mit δ_{10} , die an den kurzen Stäben gefundenen mit δ_5 , dem Verhältnis $\frac{l}{d}$ ent-

sprechend bezeichnet werden. An den geometrisch untereinander nicht ähnlichen Lang- und Kurzstäben Nr. 5 und 6 erhaltene Werte sind davon durch δ_l und δ_k zu unterscheiden.

Das Produkt aus K_z in kg/cm^2 und der Bruchdehnung δ in Hundertteilen ist die von Tetmajer eingeführte Wertziffer oder Gütezahl. Sie gibt einen Anhalt für das Arbeitsvermögen oder die spezifische Formänderungsarbeit, die zum Zerreißen des Baustoffes nötig ist. Daß man dabei den Inhalt des umschriebenen Rechteckes statt dem des Schaubildes des Zugversuches selbst benutzt, Abb. 10, ist zulässig, weil das Verhältnis beider, der Völligkeitsgrad, bei ein und demselben Baustoff nahezu unveränderlich ist. Werkstoffe mit gleichen Wertziffern werden in nicht zu weiten Grenzen als gleichwertig erachtet, so daß z. B. bei Abnahmeversuchen etwas zu geringe Festigkeit durch größere Dehnung ausgeglichen werden kann. Für sich allein hat allerdings die Wertziffer keine praktische Bedeutung, weil neben ihr noch einer der beiden Faktoren, die Festigkeit oder die Bruchdehnung, zur Beurteilung des Baustoffes bekannt sein muß. Manchmal wird in ähnlicher Weise die Summe aus K_z und δ benutzt.

Der statische Druckversuch und der dynamische, unter dem Fallwerk ausgeführte Stauchversuch werden nur selten zur Prüfung der Werkstoffe des Maschinenbaues herangezogen. Maßgebend ist bei spröden Stoffen die Bruchgrenze, bei sehr bildsamen — die sich weitgehend zusammendrücken lassen, ohne zu brechen — die Quetschgrenze. Häufige Anwendung findet dagegen der Druckversuch auf Steine und Beton.

Der Biegeversuch wird insbesondere zur Untersuchung von Gußeisen benutzt und hat ferner als technologische Probe (Faltversuch), sowie als Kerbschlagversuch große Bedeutung. Beim einfachen Biegeversuch stellt man die Bruchspannung K_b und die Durchbiegung δ im Augenblick des Bruches fest. An Gußeisen werden Biegeversuche nach den Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen des Vereins deutscher Eisengießereien — die Dinormen sind z. Z. in Bearbeitung — an Rundstäben durchgeführt, die in Rücksicht auf das Ähnlichkeitsgesetz in einer Entfernung gleich dem 20fachen Durchmesser zu stützen sind. Der Durchmesser ist, da die Festigkeit der Gußstücke mit wachsender Wandstärke abnimmt, in Abhängigkeit von der mittleren Dicke gemäß der Zusammenstellung 16 zu wählen.

Die Stäbe sollen in getrockneten Formen ohne Gußnaht in steigendem Guß und bei mittlerer Gießhitze aus derselben Schmelze, wie die Stücke der Lieferung gegossen werden und in der Form erkalten. Läßt sich eine Gußnaht nicht vermeiden, so ist dieselbe beim Versuch in die neutrale Faser zu legen. Die Stäbe behalten ihre Gußhaut, werden nur mit der Bürste geputzt und durch eine Einzelkraft P , die in der Mitte zwischen den Auflagern wirkt, bei gleichzeitiger Beobachtung der Durchbiegung δ bis zum Bruch belastet. Unter Ausschluß von Stäben mit Fehlstellen sollen die Mittelwerte aus je drei Versuchen den folgenden Zahlen genügen:

Zusammenstellung 16. Abmessungen normaler Biegestäbe und Anforderungen an Gußeisen nach den Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen des Vereins deutscher Eisengießereien.

Wandstärke <i>s</i> mm	Stababmessungen		Gußeisen								
	Durchmesser <i>d</i> mm	Stützweite <i>l</i> mm	mittlerer Festigkeit			hoher Festigkeit			sehr hoher Festigkeit		
			Bruchlast <i>P</i> kg	Biegefestigkeit K_b kg/cm^2	Durchbiegung δ mm	<i>P</i> kg	K_b kg/cm^2	δ mm	<i>P</i> kg	K_b kg/cm^2	δ mm
bis zu 15	20	400	250	3200	≧ 5	265	3400	≧ 6	280	3600	≧ 7
15—20	30	600	530	3000	≧ 8	565	3200	≧ 9	600	3400	≧ 10
über 20	40	800	880	2800	≧ 10	940	3000	≧ 11	1000	3200	≧ 12

Der Faltversuch dient nach DIN 1605 zum Nachweisen der Biegebarkeit (Zähigkeit) der Werkstoffe bei Zimmerwärme, entweder im Anlieferungszustande oder nach Ausglühen des Werkstoffes. Er wird an Flachstäben von 30—50 mm Breite mit abgerundeten

Kanten oder an Rundstäben oder an ganzen Formeisen durchgeführt. Dabei wird die Probe langsam unter einer Presse entweder

a) um einen Dorn mit vorgeschriebenem Durchmesser D bis zum Winkel γ , Abb. 77, durchgebogen oder

b) um einen Dorn von beliebigem Durchmesser vorgebogen und dann durch Druck auf die Schenkkelenden frei vollständig oder bis zum Anriß zusammengedrückt, Abb. 77—80.

Im Falle a dürfen auf der Zugseite der Probe keine Risse im metallischen Werkstoff auftreten. Im Falle b dient als Gütemaß die Tetmajersche Biegegröße $B_g = \frac{50a}{r}$,

wobei a die ursprüngliche Probendicke, r den Biegehalbmesser in der Mitte der Probe bedeuten.

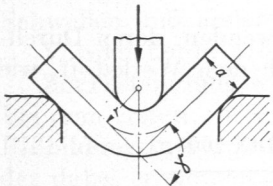


Abb. 77. Faltversuch.

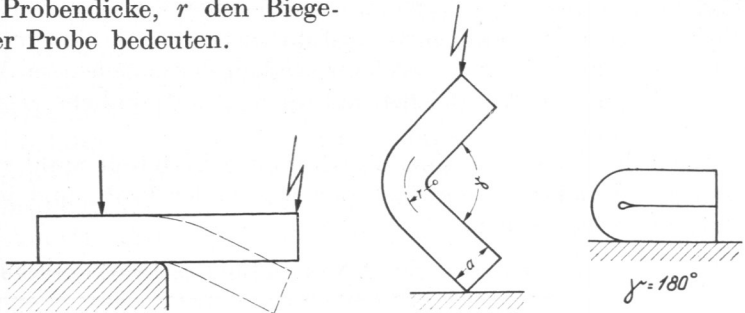


Abb. 78—80. Falt- und Schlagbiegeversuche.

Der an rotwarmen Stäben in ähnlicher Weise durchgeführte Rotbruchversuch dient zum Nachweisen der Warmbearbeitbarkeit der Werkstoffe (DIN 1605).

Blaubrudiversuche werden an Stahl bei etwa 300° , wenn eine angefeilte Stelle blau anläuft, Hartbiegeversuche an weichem Flußstahl im abgeschreckten Zustande ausgeführt. Zu letzterem Zwecke wird das Stück auf Kirschrotglut (750°) gebracht, in kaltem Wasser schnell abgekühlt und dann gebogen.

Auch an geschweißten Stäben werden Biegeversuche angestellt, bei denen die Schweißstelle weder im kalten noch im warmen Zustande brechen oder aufreißen darf (DIN 1605).

An Drähten führt man Biegeversuche in der Weise aus, daß die Drähte zwischen zwei Backen mit vorgeschriebenen Abrundungen eingespannt und nach beiden Seiten um je 90° hin und her gebogen werden. Jedes Umlegen und Wiedergerechtern gilt als eine Biegung; ihre Zahl bis zum Bruche dient als Vergleich.

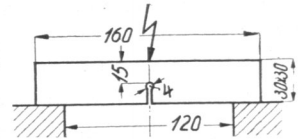


Abb. 81. Normale Kerbschlagprobe.

Gegenüberstoßweiser Beanspruchung bietet der Kerbschlagversuch ein Maß für die Widerstandsfähigkeit. Die Proben nach dem Vorschlage des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, Abb. 81, von $30 \cdot 30$ mm Querschnitt werden mit einem Rundkerb versehen, der durch Einbohren eines Loches von 4 mm Durchmesser und Aufscheiden des Stabes von der einen Seite her entsteht, und bei 120 mm Stützweite auf dem mittleren oder dem großen Pendelschlagwerk von 75 bzw. 250 mkg Schlagarbeit von der nicht aufgeschnittenen Seite her durchschlagen. Die Proben für das kleine Pendelschlagwerk von 10 mkg Schlagarbeit sind noch nicht einheitlich festgelegt. Vielfach pflegen sie $10 \cdot 10$ mm Querschnitt, 100 mm Länge und 70 mm Stützweite zu haben und mit einem scharfen Kerb von 90° Flankenwinkel und 2 mm Tiefe versehen zu werden. Als Vergleichsmaß dient die Kerbzähigkeit, d. i. die auf einen Quadratcentimeter des durchschlagenen Querschnitts bezogene Arbeit. Zu erwarten wäre, daß diese Kerbzähigkeit der verschiedenen Baustoffe mit den bei Zugversuchen gefundenen Dehnungsziffern zu- und abnähme. Das ist aber nicht immer der Fall; die Kerbzähigkeit führt vielmehr zu einer anderen Bewertung der Werkstoffe gegenüber Stößen als die Dehnungsziffer. So ergeben Nickel- und Chromnickel- sowie manche Sonderstähle sehr große Kerbzähigkeit im Verhältnis zu gewöhnlichem Stahl von gleicher Festigkeit und Dehnung,

minderwertiger oder falsch behandelte, z. B. verbrannter Stahl, dagegen sehr niedrige Werte, trotz guter Dehnungsziffern bei Zugversuchen. Stahlguß liefert unregelmäßige Ergebnisse; seine geringere Sicherheit gegenüber stoßweiser Beanspruchung im Vergleich zu geschmiedeten Stoffen kommt darin zum Ausdruck. Der Kerbschlagversuch verlangt geringe Abmessungen der Stücke, ist rasch ausführbar und eines der schärfsten Untersuchungsverfahren [II, 8].

Die Härte kennzeichnet den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen härteren Körpers entgegensetzt. Sie ist in starkem Maße von der Form des letzteren abhängig, gibt aber einen Anhalt für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit des Werkstoffes, sowie für seine Bearbeitbarkeit durch Werkzeuge, die mit steigender Härte schwieriger wird. Von den verschiedenen Verfahren wird der Kugeldruckversuch seiner raschen und einfachen Ausführbarkeit wegen am meisten benutzt und vielfach zur laufenden Prüfung der Gleichmäßigkeit der eingehenden Werkstoffe verwendet, wenn man sich auch bei Vergleichen naturgemäß auf ähnliche Stoffe gleicher Herstellung beschränken muß.

Nach der DIN 1605 sind Kugeln von gehärtetem Stahl zu verwenden, deren Durchmesser und Belastung je nach der Stärke der Probe und je nach dem Werkstoff, wie folgt, zu wählen sind:

Zusammenstellung 17. Normen für Kugeldruckversuche nach DIN 1605.

Dicke der Probe <i>a</i> mm	Kugeldurchmesser <i>D</i> mm	Belastung <i>P</i> kg		
		$30 \cdot D^2$ für Gußeisen und Stahl	$10 \cdot D^2$ für hartes Kupfer, Messing, Bronze u. a.	$2,5 D^2$ für weichere Metalle
über 6	10	3000	1000	250
von 6 bis 3	5	750	250	62,5
unter 3	2,5	187,5	62,5	15,6

Die Eindrücke sind an blanken, ebenen Flächen so weit vom Rande des Probestückes vorzunehmen, daß kein Ausbauchen oder Aufbeulen des Randes eintritt. Die Belastung ist stoßfrei während 15 Sekunden gleichmäßig bis zum Endwert zu steigern und dann 30 Sekunden lang unverändert zu lassen.

Aus dem Durchmesser der Eindruckfläche *d*, dem Kugeldurchmesser *D* und der Belastung *P* errechnet sich die Brinellhärte

$$H = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (78)$$

d ist als Mittelwert von mindestens zwei Eindrücken zu bestimmen, wobei die mittleren Durchmesser einzusetzen sind, wenn die Eindrücke unrund sind.

Zwischen der Brinellhärte *H* und der Zugfestigkeit *K_z* besteht angenähert die Beziehung:

für Kohlenstoffstahl bei einer Zugfestigkeit von 30—100 kg/mm²

$$K_z = 0,36 H, \quad (79)$$

für Chromnickelstahl bei einer Zugfestigkeit von 65—100 kg/mm²

$$K_z = 0,34 H. \quad (80)$$

Der Kugeldruckversuch kann auf Grund dieser Beziehung vielfach als Ersatz für den umständlicheren und teureren Zugversuch dienen und bietet dabei den Vorteil, unmittelbar an dem vorgearbeiteten oder sogar fertigen Stück ohne wesentliche Schädigung ausgeführt werden zu können.

(Brinell ermittelt die Härte nach der oben angeführten Formel, indem er den Druck durch die Oberfläche der entstehenden Kugelkalotte teilt; nach Meyer bezieht man die

Kraft richtiger auf die dem Eindruck entsprechende Kreisfläche, also auf die Projektion der Kalotte senkrecht zur Kraftrichtung. Zwischen der Kraft P und dem Eindrucksdurchmesser d besteht dann die Beziehung

$$P = a \cdot d^n, \quad (81)$$

wobei a und n Festwerte des Baustoffes sind [II, 7]).

In Fällen wo die rechnerische Bestimmung der Abmessungen eines Konstruktions- teiles unsicher ist oder wo Ausführungsschwierigkeiten, Lunkerbildungen, Spannungen usw. auftreten, wird häufig die Prüfung des ganzen Maschinenteiles notwendig. Dabei ist noch mehr, als in den bisher besprochenen Fällen auf die Durchführung der Versuche in einer Weise, die der Inanspruchnahme des Stückes im späteren Betriebe entspricht, zu achten. Beispielweise ist es von zweifelhaftem Werte, Teile, die im Betriebe durch äußeren Überdruck belastet werden, bei der Abnahme unter innerem zu prüfen, weil die Erzeugung äußeren Überdrucks manchmal schwierig ist. Häufig werden bei Abnahme- prüfungen Versuche an fertigen Teilen verlangt; so müssen Radreifen, Eisenbahnachsen, Schwellen und andere Eisenbahnteile vorgeschriebenen Bedingungen genügen.

Von den technologischen Versuchen seien noch die folgenden wichtigeren erwähnt.

Zur Feststellung der Schmiedbarkeit dienen Ausbreite-, Stauch- und Lochversuche. Bei dem ersten wird das rotwarme Probestück am Ende mit der Hammerfinne bis zur Ribbildung in der Längsrichtung gestreckt oder quer dazu ausgebreitet. Das Verhältnis der dabei erreichten Länge oder Breite zur ursprünglichen gibt ein Gütemaß. Beim Stauchversuch verlangt man, daß die Höhe eines Zylinders sich um ein bestimmtes Maß verringern läßt. Zum Lochversuch wird ein kegeliger Dorn, z. B. von 10 und 20 mm Enddurchmesser und 50 mm Länge benutzt, der in einer Entfernung gleich der halben Probendicke vom Rande des rotwarmen Stückes aufgesetzt und durchgetrieben wird. Der Werkstoff soll dabei nicht aufreißen.

An Drähten benutzt man noch den Verwindeversuch, bei dem verlangt wird, daß der Bruch erst nach einer Mindestzahl von Windungen um 360° eintritt.

Schließlich muß noch die Wasserdruckprobe für Hohlkörper, die auf inneren Druck beansprucht oder auf Dichtheit zu prüfen sind — Röhren, Zylinder, Ventile, Schieber- gehäuse, Kessel usw. — erwähnt werden. Die Stücke werden, um bei einem etwaigen Bruche ein Umherschleudern von Teilen zu verhüten, vollständig mit Wasser gefüllt und einem, den Betriebsdruck meist überschreitenden Probedruck längere Zeit ausgesetzt. Gleichzeitig Abklopfen der Wandung hat den Zweck, vorhandene Gußspannungen auszulösen.

b) Beeinflussung der Eigenschaften durch die Bearbeitung und die Wärme.

Die Festigkeitseigenschaften zäher Stoffe können durch die Bearbeitung, insbesondere durch Strecken im warmen oder kalten Zustande, stark beeinflußt und verändert werden. So bewirkt das Schmieden oder Walzen gegossener Werkstoffe eine wesentliche Verbesserung der Eigenschaften durch die Verdichtung des Stoffes und durch die Änderung des Gefüges, das aus einem grobkristallinen in ein feinkörniges oder sehniges übergeht. Festigkeit und Dehnung werden dabei meist erheblich gesteigert.

Das Recken im kalten Zustande bedingt eine Erhöhung der Elastizitäts- und Streckgrenze, der Festigkeit und der Härte, aber eine Verminderung der Bruchdehnung; macht also den Baustoff spröder. Das läßt sich schon durch einen Zugversuch an weichem Flußstahl zeigen, wenn man einen Stab, nachdem er eine gewisse Verlängerung erfahren, ihn also kalt gereckt hat, entlastet und von neuem untersucht. In Abb. 82 wurde der Versuch an einem Stabe von 20 mm Durchmesser und 200 mm Meßlänge bei A , nach einer Verlängerung der Meßstrecke um 20 mm, also nach 10% Dehnung, unterbrochen, die Last entfernt, der Stab aber nach sieben Tagen wiederum belastet. Dabei stellte sich eine neue, gegenüber der früheren, bei F_u gelegenen, wesentlich höhere Fließgrenze F_u' ein. Der Verlauf der Schaulinie müßte weiterhin der gestrichelt gezeichneten Fort-

setzung des ersten Versuches entsprechen; oft ergibt sich aber auch eine durchweg höhere Lage der Kurve, wie stark ausgezogen dargestellt ist. Die Dehnung des Baustoffes nach der Streckung im kalten Zustande ist durch die Länge $CD = 19,3$ mm gegeben und beträgt, auf die dem Punkte C entsprechende Meßlänge von 220 mm bezogen, nur noch

$$\delta' = \frac{CD}{220} = \frac{19,3}{220} = 0,088 \text{ oder } 8,8\%$$

Dagegen ist die Festigkeit wesentlich erhöht worden. Punkt B der gestrichelten Schaulinie, die dem ursprünglichen Zustande des Werkstoffes entspricht, ergibt bei 20 mm Durchmesser oder $F_0 = 3,141$ cm² Querschnitt des Stabes

$$K_z = \frac{P}{F_0} = \frac{12800}{3,141} = 4080 \text{ kg/cm}^2$$

Festigkeit. Bei der Unterbrechung des Versuches im Punkte A war der Durchmesser der Probe infolge der Quersamenzuehung auf 19,08 mm, ihr Querschnitt auf $F' = 2,86$ cm² gesunken. Legt man den letzteren der Berechnung der Zugfestigkeit des kalt gestreckten Stoffes zugrunde, so folgt aus Punkt B'

$$K'_z = \frac{P}{F'} = \frac{14750}{2,86} = 5160 \text{ kg/cm}^2;$$

d. i. eine Steigerung um 26,4%.

Von diesem Umstand macht man u. a. beim Kaltziehen von Drähten ausgiebigen Gebrauch. Die folgenden Zahlen zeigen deutlich die Zunahme der Festigkeit und die gleichzeitige Verminderung der Dehnung einer weichen Flußstahlstange nach mehrfachem Ziehen [II, 1].

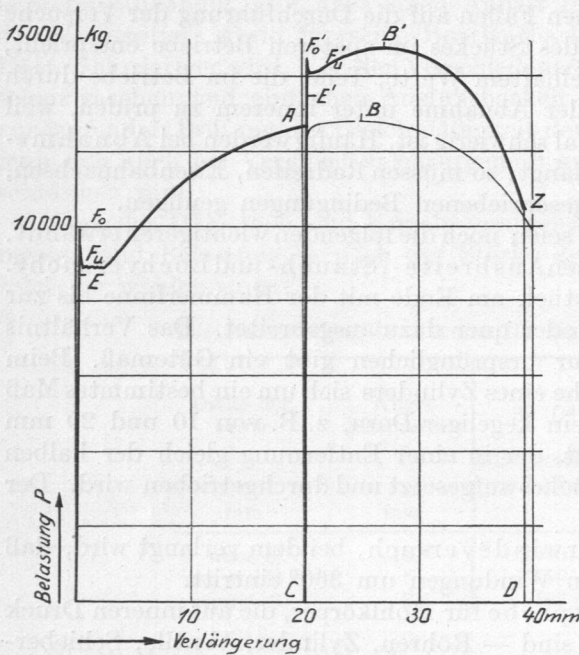


Abb. 82. Zugversuch an weichem Flußstahl unter Entlastung nach 10% Streckung.

Zusammenstellung 18. Einfluß des Kaltziehens auf die Festigkeitseigenschaften weichen Flußstahls.

	Spannung an der Streckgrenze kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z in kg/cm ²	Bruchdehnung δ in %
Ursprünglicher Zustand, warm gewalzt auf 51,5 mm Durchm.	1860	3890	34,6
Auf 49,1 mm kalt gezogen . .	4300	4950	15,6
Auf 45,9 mm kalt gezogen . .	—	5750	0,75

Die eben erwähnten Veränderungen können durch Ausglühen beseitigt werden, so daß annähernd der ursprüngliche Zustand wieder eintritt, eine Erscheinung, die bei der Weiterverarbeitung hart gezogener oder kalt gewalzter Stoffe, aber auch in dem Falle zu beachten ist, daß solche Teile hohen Wärmegraden ausgesetzt werden. Beispielweise verlieren Seile aus hart gezogenem Stahldraht ihre Tragfähigkeit und werden unbrauchbar, wenn sie bei einem Brande erhitzt wurden.

Für den Einfluß reiner Wärmebehandlungen bieten das Härten des Stahls, sowie das Vergüten des Duralumins und des Stahles Beispiele. Zu hohe Wärmegrade können infolge Oxydation sehr schädlich wirken. (Verbrennen des Stahles).

Wie die Temperatur die Festigkeit der einzelnen Werkstoffe beeinflusst, ist später ausführlich bei den wichtigeren gezeigt. In der Regel nimmt die Festigkeit von einer bestimmten Grenze an rasch ab.

Der dem Gewicht nach am meisten angewendete Werkstoff des Maschinenbaues ist seiner Billigkeit, leichten Gieß- und Bearbeitbarkeit wegen das Gußeisen. Stahl, Kupfer, Aluminium und zahlreiche Legierungen kommen dann in Frage, wenn die Festigkeits-eigenschaften des Gußeisens oder seine Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische oder chemische Einflüsse nicht genügen.

II. Eisen und Stahl.

A. Einteilung und Haupteigenschaften.

Reines Eisen ist schwierig herzustellen und kommt als Werkstoff nicht in Betracht. Alle in der Technik verwandten Eisensorten sind Legierungen. Stets ist Kohlenstoff in ihnen enthalten; daneben wirken Silizium, Mangan, Nickel, Chrom und Wolfram im allgemeinen günstig, Phosphor und Schwefel schädlich. Da der Gehalt an Kohlenstoff entscheidenden Einfluß auf die Eigenschaften hat, benutzt man ihn als Grundlage für die Einteilung der Eisensorten. Eisen mit sehr niedrigem Kohlenstoffgehalt ist in der Hitze leicht schmiedbar. Mit steigendem Gehalt sinkt die Schmiedbarkeit; sie hört bei mehr als 2⁰/₁₀ ganz auf. Das ermöglicht die Scheidung in zwei Hauptgruppen, die des schmiedbaren und des Roheisens, die sich dadurch noch schärfer trennen, daß Eisen mit 1,6—2,6⁰/₁₀ Kohlenstoff keine technisch wertvollen Eigenschaften hat und praktisch nicht verwendet wird.

Nach den Dinormen soll alles ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen in Zukunft als Stahl bezeichnet und weiterhin nur nach der Art der Herstellung a) der im flüssigen Zustande gewonnene Flußstahl von b) dem im teigigen Zustande gewonnenen Schweiß- oder Puddelstahl unterschieden werden. Der letztere wird mittels des älteren Puddelverfahrens durch Zusammenschweißen einzelner Körner im teigigen Zustande, der erstere flüssig im Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martin-Verfahren, durch Schmelzen im Tiegel oder auf elektrothermischem Wege hergestellt. Kennzeichnend für den Schweißstahl ist der unvermeidliche Gehalt an Schlacke.

Die früher nach dem Grade der Härte übliche Trennung in Schmiedeeisen und Stahl hat man damit fallen lassen. Die Härte, d. i. die Eigentümlichkeit, durch plötzliche Abkühlung aus Hitzegraden, die über 700⁰ liegen, große Härte anzunehmen, ist zwar in erster Linie vom Kohlenstoffgehalt, daneben aber auch von anderen Zusätzen, wie Mangan, Nickel und Chrom abhängig, so daß eine scharfe Abgrenzung nicht möglich ist. Auch dem Vorschlag, die an ausgeglühten Proben ermittelte Zugfestigkeit zur Trennung zu benutzen — 5000 kg/cm² zwischen Flußeisen und Flußstahl, 4500 kg/cm² zwischen Schweißeisen und Schweißstahl —, steht der Einwand entgegen, daß die Festigkeit von dem Grade der Verarbeitung abhängig ist. Immerhin ist im Buche, wo es nötig schien, zwischen weichen, kohlenstoffarmen, zähen und harten, kohlenstoffreicheren, festeren, aber spröderen Stahlsorten unterschieden, sofern nicht die genauere Angabe der Festigkeitszahlen oder der Zusammensetzung nach den Dinormen möglich und notwendig war.

Nur der Flußstahl ist genormt worden.

Im Roheisen tritt bei langsamer Abkühlung eine Ausscheidung des Kohlenstoffes in Form von Graphitblättchen ein, die dem Eisen eine graue bis schwarze Farbe und eine größere Weichheit verleihen. Derartiges graues Roheisen mit einem Kohlenstoffgehalt von 3—3,6⁰/₁₀ bildet das Gußeisen des Maschinenbaues; es wird meist unter nochmaligem Umschmelzen in die Gebrauchsformen gebracht. Silizium begünstigt, Mangan erschwert die Ausscheidung des Kohlenstoffes. Bleibt dieser infolge geeigneter Zusammensetzung oder sehr rascher Abkühlung gebunden, so zeigt die Bruchfläche weiße Farbe. Solches weißes Roheisen ist hart und spröde und nur zu wenigen Konstruktionsteilen unmittelbar geeignet, hat dagegen als Bestandteil des Hartgusses und für die Herstellung des Tempergusses große Bedeutung. Hartguß besitzt eine äußere harte Schicht von weißem Eisen auf einer zähen Grundlage von grauem.

Flußstahl kann sowohl durch Gießen (Stahlguß), wie auch in festem Zustande durch Schmieden, Schweißstahl nur in festem Zustande, Gußeisen nur durch Gießen zu Konstruktionsteilen verarbeitet werden.

In Abb. 83 sind die Eigenschaften der Eisensorten in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt dargestellt. Dabei konnten nur für die Schmelztemperatur und die Festigkeit

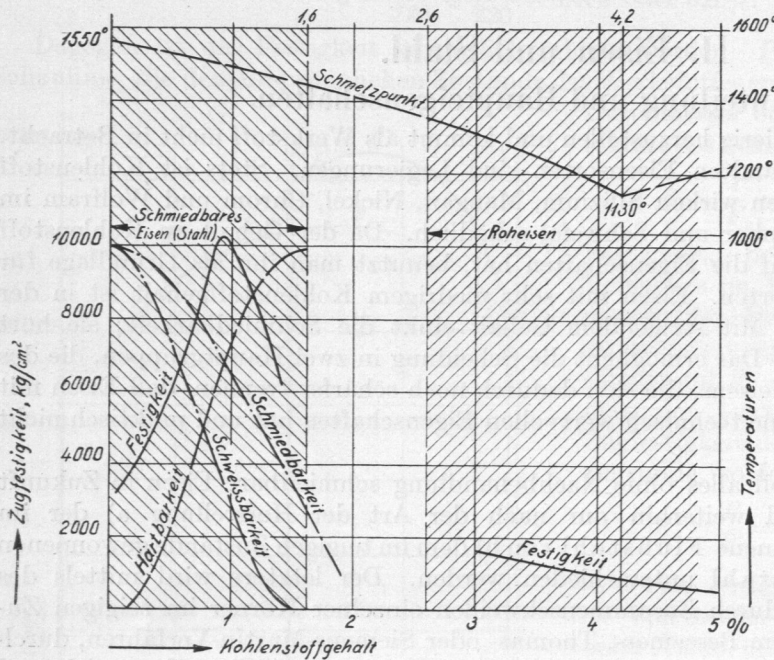


Abb. 83. Eigenschaften der Eisen-Kohlenstofflegierungen.

Wert bei etwa 4,2% Kohlenstoff unter gleichzeitiger Abnahme der Dickflüssigkeit, so daß sich Eisen innerhalb der für den Maschinenbau geltenden Grenzen um so leichter vergießen läßt, je höher der Kohlenstoffgehalt ist. Flußstahl verlangt feuerfeste, getrocknete Formen; Gußeisen kann in nassen Sand gegossen werden.

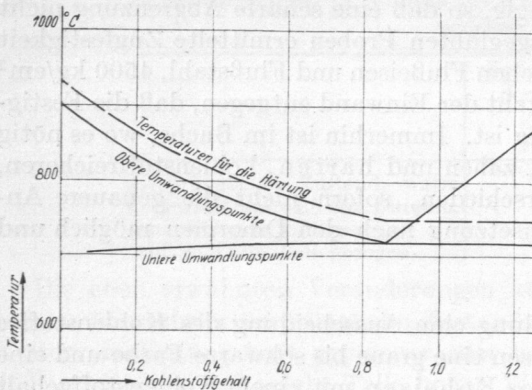


Abb. 84. Härtetemperaturen für Kohlenstoffstahl (unlegierter Stahl).

Umgekehrt wie die Zugfestigkeit verhält sich die Dehnung. Sie hat im allgemeinen um so größere Werte, je reiner der Werkstoff ist und wird gering im Punkte der größten Festigkeit. Gußeisen weist niedrige Werte sowohl für die Festigkeit, also auch die Dehnung auf.

Die Härte des Eisens im ausgeglühten Zustand wächst mit dem Kohlenstoffgehalt und erreicht bei etwa 1% einen Höchstwert. Durch Abschrecken in Wasser oder

Maßstäbe angegeben werden, da für die Schmied- und Schweißbarkeit Vergleichsmittel fehlen, die Härbarkeit aber nicht allein vom Kohlenstoffgehalt, sondern auch in starkem Maße von anderen Bestandteilen abhängt. Die Darstellung ist daher in bezug auf die drei zuletzt erwähnten Eigenschaften nur schematisch. Aus ihr geht zunächst der starke Einfluß des Kohlenstoffes auf den Schmelzpunkt hervor. Reines Eisen ist schwer schmelzbar, dickflüssig und zum Gießen nicht geeignet. Die Schmelztemperatur sinkt bis zu einem kleinsten

Die Schmiedbarkeit nimmt, wie schon oben erwähnt, mit wachsendem Kohlenstoffgehalt ab und fehlt dem Roheisen. Noch rascher sinkt die Schweißbarkeit auf Grund des teigigen Zustands, in welchen der Stahl in der Nähe seines Schmelzpunktes kommt, und der die Vereinigung zweier Stücke zu einem Ganzen durch Druck oder Hammerschläge ermöglicht. Harter Stahl mit mehr als 1% Kohlenstoff läßt sich nur noch sehr schwierig schweißen.

Die Zugfestigkeit, in der Abbildung an schwedischem Siemens-Martinstahl dargestellt, steigt zunächst mit dem Kohlenstoffgehalt rasch bis zu einem Höchstwerte bei etwa 0,9%, fällt dann aber wieder. Um-

Öl aus Wärmegraden, die 30—50° C über der oberen Umwandlungstemperatur, Abb. 84, liegen, läßt sich die Härte unlegierten Stahls erheblich steigern. Stahl von mittlerem und höherem Kohlenstoffgehalt nimmt dadurch Glashärte an, unter gleichzeitiger wesentlicher Erhöhung der Streck- und Bruchgrenze, aber auch der Sprödigkeit. Durch nachheriges Erwärmen auf Temperaturen, die zwischen 200 und 700° liegen, durch Anlassen, können die Eigenschaften bis zu denen in ungeglühtem Zustande geregelt werden. Abb. 85 zeigt die ungefähren Werte für die mechanischen Eigenschaften eines Stahles von etwa 0,3% Kohlenstoffgehalt, ausgeglüht, gehärtet und verschieden hoch angelassen. (Für Stähle andern Kohlenstoffgehalts verlaufen die Kurven anders.) Auf Härten und nachfolgendem Anlassen beruht auch das in neuerer Zeit in ausgedehntem Maße angewendete Vergüten des Stahles. Bei Kohlenstoffstählen lassen sich nur Stücke bis zu etwa 40 mm Stärke gleichmäßig bis zum Kern durchhärten und -vergüten. Dickere Stücke müssen aus legiertem Stahl ausgeführt werden, wenn hohe Vergütungswerte erreicht werden sollen.

Das Eisen wird durch atmosphärische und chemische Einflüsse erheblich angegriffen. Der Sauerstoff der Luft ruft in Gegenwart von Feuchtigkeit Rosten, die Bildung von Eisenhydroxyd, hervor. Durch Seewasser und manche Salzlösungen wird die Wirkung noch erheblich verstärkt. Ob der Stahl oder das Gußeisen stärker rostet, ist eine noch unentschiedene Frage. Vielfach kommen an ersterem starke örtliche Anfressungen vor, die die Stücke unbrauchbar machen, während Gußeisen gleichmäßiger angegriffen wird [II, 9]. Verdünnte Säuren lösen das Eisen meist rasch auf.

Als Rostschutzmittel kommen für den Maschinenbau vor allem in Betracht:

1. Ölfarbenanstriche, auf einem gut getrockneten Grund von Leinölfirnis ein- oder zweimal aufgetragen. Der Firnis wird am besten mit Bleimennige oder auch mit Graphit, Eisenmennige usw. gemischt.
2. Zement. Er bildet beim Einbetten des Eisens in Beton oder Zementmörtel den schützenden Bestandteil und haftet, selbst in dünnen Schichten aufgestrichen, sehr fest am Eisen.
3. Für Stahl: Metallüberzüge. Den besten Schutz gibt das Zink, das mit dem Eisen eine Legierung eingeht (verzinktes oder galvanisiertes Blech). Zinn und Blei verhüten das Rosten so lange die Deckschicht vollständig dicht bleibt, Nickel nur bei größerer Stärke.
4. Zum Schutz blanker Teile können Zaponlack, eine Zellidlösung oder Bernsteinlack und Kautschuk, in Terpentinöl aufgelöst, verwendet werden. Schiffswellen und Isolatoren werden häufig mit Überzügen aus Hartgummi versehen.
5. Rohre, Säulenfüße und ähnliche gegossene Teile schützt man durch eine Teer- oder Asphaltenschicht, die entweder heiß aufgetragen oder durch Eintauchen in die geschmolzene Masse hergestellt wird. Stellen, die ohne Überzug bleiben sollen, bestreicht man vorher mit Kalkmilch. Schmiedeeiserne Rohre werden mit in Teer getränkten Geweben oder Jutestricken umwunden.
6. Emaille, hauptsächlich auf gußeiserne Gegenstände des Hausbedarfs und Teile der chemisch-technologischen Industrie angewendet.
7. Zu vorübergehendem Schutz bei längerem Lagern oder beim Versand dienen Anstriche mit Talg, konsistenten Fetten und Harzöl.

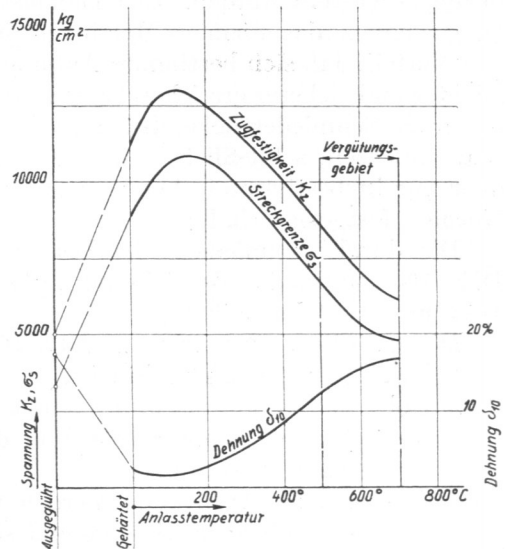


Abb. 85. Einfluß des Härten und Anlassens auf Flußstahl mit etwa 0,3% Kohlenstoffgehalt (nach DIN 1606).

Vgl. [II, 10].

Stahl wird leicht magnetisch und bleibt es um so eher dauernd, je höher sein Kohlenstoffgehalt, und zwar in Form der Härtungskohle ist. Deshalb ist glasharter Stahl zu Dauermagneten besonders geeignet.

B. Flußstahl.

1. Herstellung und Handelsformen, Einheitsgewicht und Leitvermögen.

Flußstahl zu Konstruktionszwecken wird in Deutschland vor allem nach dem Thomas- und dem Siemens-Martin-, und nur in kleineren Mengen nach dem Bessemerverfahren hergestellt. Die teuren Schmelzverfahren im Tiegel und im elektrischen Ofen kommen fast nur für Werkzeugstähle und solche Sorten in Frage, an die besonders hohe Anforderungen gestellt werden. Das Thomasverfahren gestattet große Mengen in kurzer Zeit zu gewinnen, das Siemens-Martinverfahren bietet infolge seines langsameren Verlaufs den Vorteil, daß sich bestimmte Anforderungen an Zusammensetzung und Eigenschaften leichter und sicherer erreichen lassen. Als Werkstoff wird Flußstahl in Form von Blöcken für große Schmiedestücke, durchgewalzt oder durchgeschmiedet, ferner als Blech, Form- und Stabeisen, schließlich in Gestalt von Schienen, Draht und Röhren geliefert, meist aber nur in bestimmten Abmessungen und Querschnitten, die durch Profilbücher und Normen festgelegt sind.

Die durch Schmieden oder Walzen vorbehandelten Maschinenbaustähle sind nach DIN 1606 unter der Bezeichnung „geschmiedeter Stahl“ zusammengefaßt, in DIN 1611 und 1661 behandelt.

Die Bleche teilt man nach DIN 1620 der Art nach ein in:

Feinbleche unter 3 mm Stärke,

Mittelbleche von 3 bis unter 5 mm Stärke,

Grobbleche von 5 mm Stärke und darüber,

Riffel- und Warzenbleche.

Fein- und Mittelbleche werden nach den Nummern der deutschen Blechlehre und nach Millimetern bezeichnet und sind nach DIN 1542, in der auch Angaben über die zulässigen Abweichungen in bezug auf Größe, Dicke und Gewicht gemacht sind, in den folgenden für die Verwendung wichtigen Größen im Handel und auf Lager zu haben.

Zusammenstellung 19. Normale Stärken und Abmessungen gewalzter Eisenbleche nach DIN 1542 (Auszug).

Blechlehre Nr.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Blechedicke, Nennmaß mm	4,5	4,25	4	3,75	3,5	3,25	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75	1,5
Abmessungen	800 · 1600, 1000 · 2000, 1250 · 2500 mm												
Blechlehre Nr.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Blechedicke, Nennmaß mm	1,375	1,25	1,125	1	0,875	0,75	0,625	0,562	0,5	0,438	0,375	0,3	
Abmessungen	800 · 1600, 1000 · 2000 mm										800 · 1600 mm		

Auch die Grobbleche von 5 mm Stärke und darüber werden nur bis zu gewissen Breiten und Größen oder Gewichten zu den gewöhnlichen Preisen geliefert, größere Maße bedingen Überpreise. Das Blechwalzwerk Schulz-Knautd in Essen z. B. gibt folgende normalen Abmessungen und Gewichte an:

Zusammenstellung 20. Normale Maße und Gewichte von Grobblechen des Blechwalzwerkes Schulz-Knautd, Essen.

Bei einer Dicke von mm	Breite und Durchmesser bis zu mm	Fläche bis zu m ²	Gewicht bis zu kg
5 bis unter 6	1600	6	500
6 „ „ 7	1700	7	600
7 „ „ 8	1800	8	700
8 „ „ 9	1900	9	800
9 „ „ 10	2000	10	900
10 „ „ 15	2200	12	1250
15 „ „ 25	2400	15	2500
25 und darüber	2700	20	3500

Die zulässigen Abweichungen an Dicke, Länge, Breite und Gewicht regelt DIN 1543. Fertig gepreßt sind Buckelplatten und Tonnenbleche zum Belegen der Brücken, Riffel-, Waffel- und Warzenbleche zu Abdeckungen, Treppen usw. erhältlich.

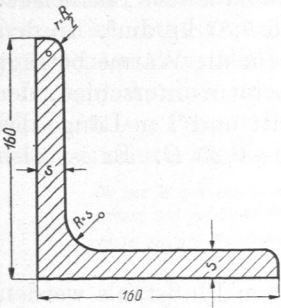


Abb. 86.

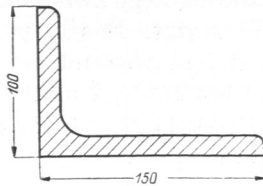


Abb. 87.

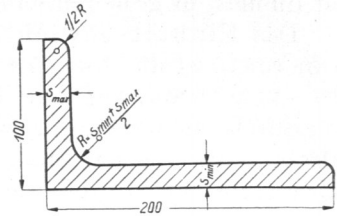


Abb. 88.

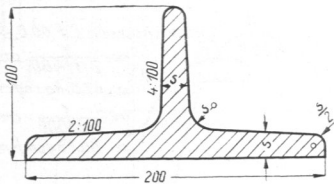


Abb. 89.

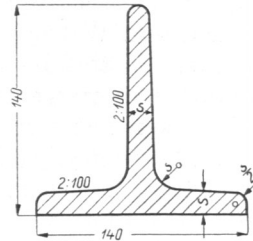


Abb. 90.

Abb. 86 bis 90. Beispiele normaler L- und T-Eisen.

- Abb. 86. Gleichschenkliges Winkeleisen mit 160 mm Schenkellänge u. 15 mm Dicke: L 160 · 160 · 15,
 Abb. 87. Ungleichschenkliges „ „ 150 u. 100 mm „ „ 12 mm „ L 150 · 100 · 12,
 Abb. 88. „ „ „ 200 u. 100 mm „ „ 14 mm „ L 200 · 100 · 14,
 Abb. 89. I-Eisen mit 20 cm Fußbreite und 10 cm Höhe: I 20 · 10,
 Abb. 90. I-Eisen „ 14 cm „ „ 14 cm „ I 14 · 14.

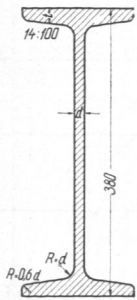


Abb. 91. Doppel-T-Eisen von 38 cm Höhe: I 38.

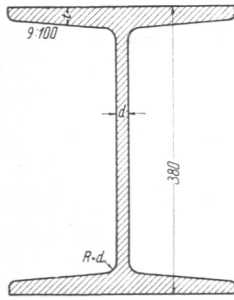


Abb. 92. Differding Breitflansch-Eisen von 38 cm Höhe: ID 38.

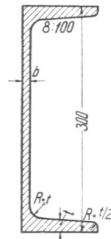


Abb. 93. U-Eisen von 30 cm Höhe: U 30.

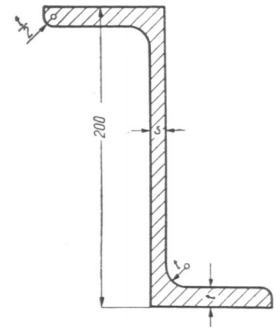


Abb. 94. Z-Eisen von 20 cm Höhe: Z 20.

Die für den Maschinenbau wichtigsten Querschnitte der Formeisen, der L, T, I, C, Z, Belag- und Quadranteisen sind mit den vorschrittmäßigen Neigungen und Abrundungen, sowie den Bezeichnungen nach DIN 1350 in den Abb. 86—96 dargestellt. Ihre normalen Längen liegen zwischen 4 und 8 m, die größten betragen 12 bis 16 m, nur die I-Eisen werden mit 4—10 m gewöhnlicher, 14—20 m größter Länge geliefert.

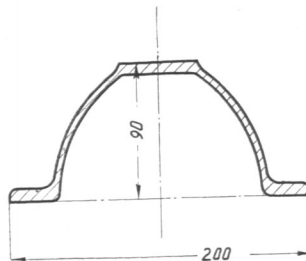


Abb. 95. Belageisen von 9 cm Höhe.

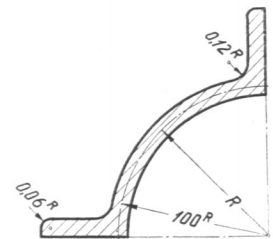


Abb. 96. Quadranteisen mit 100 mm Halbmesser der Wandmitte und 12 mm Dicke der Rundung, 100 · 12.

Stabeisen kommt als Rund-, Sechs- und Achtkant-, Quadrat- und Flacheisen in den Handel. Breitereisen und Universaleisen sind auf dem Universalwalzwerk hergestellte Eisen rechteckigen Querschnitts von mehr als 180 mm Breite; Bandeisen ist dünnes, in größeren Längen in Form von Bündeln im Handel zu habendes Flacheisen.

Das Einheitsgewicht des Flußstahls liegt zwischen 7,85 und 7,87 kg/dm³. In den Dinormen ist durchweg 7,85 kg/dm³ benutzt. Das Leitvermögen für die Wärme beträgt 40—50 kcal/Std. auf 1 m² Fläche und 1 m Abstand bei 1° Temperaturunterschied, der spezifische elektrische Leitwiderstand bei 15° C, 1 mm² Querschnitt und 1 m Länge des Drahtes an weichen Stahlsorten 0,10—0,14 Ω, an härteren 0,10—0,25 Ω. Er ist also über sechsmal so groß wie in reinem Kupfer.

2. Festigkeit von Stahl.

Die Festigkeitseigenschaften des in Form von Blöcken gegossenen Flußstahls werden durch Schmieden und Walzen im heißen Zustande ganz wesentlich verbessert, bis der Block auf etwa ein Drittel des ursprünglichen Querschnitts heruntergearbeitet ist; weiteres Warmrecken hat nur noch geringen Einfluß. Die Zugfestigkeit solchen durchgeschmiedeten, unlegierten Flußstahls ist in erster Linie vom Kohlenstoffgehalt abhängig, wie Abb. 83 an schwedischem Siemens-Martinstahl zeigt. Sie steigt von rund 3000 kg/cm² an reinem Eisen auf 10300 kg/cm², also auf das 3,4fache bei 0,90/0 Kohlenstoffgehalt. Mangan in kleineren Mengen erhöht die Festigkeit in geringem Maße; bei großer Menge (> 10⁰/0) verleiht es dem Stahl eine ganz außerordentliche Härte. Solcher

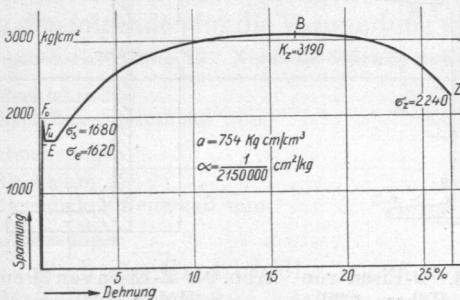


Abb. 97. Schaulinie eines Zugversuchs an weichem Flußstahl.

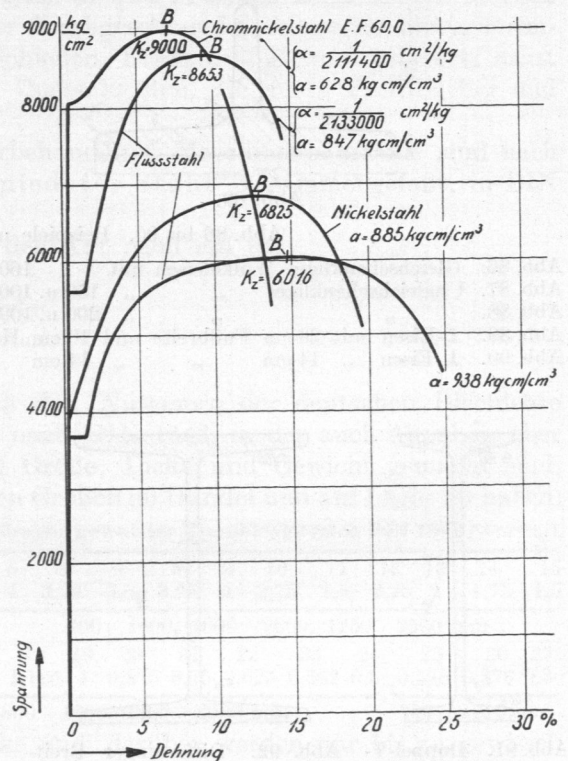


Abb. 98. Zugversuche an Flußstahl, ausgeglüht (nach Bach).

Manganstahl findet für Stücke, die sehr großer Abnutzung ausgesetzt sind, Steinbrecher, Kollergänge, Herzstücke usw. Anwendung. Nickel, Chrom, Wolfram und Vanadium verbessern schon in kleinen Mengen die Festigkeit und Härte erheblich und werden ausgiebig bei der Herstellung von Panzerplatten, legierten Stählen aller Art, Sonder- und Werkzeugstählen benutzt.

Schädlich auf die Festigkeitseigenschaften wirken Phosphor und Schwefel. Ersterer bedingt Kaltbruch, d. h. große Sprödigkeit bei gewöhnlichen Wärmegraden. Schwefel macht das Eisen rotbrüchig, d. i. empfindlich in glühendem Zustande.

Das Verhalten ausgeglühten, weichen Flußstahls bei einem Zugversuch ist durch die Linie, Abb. 97, gekennzeichnet, die eine ausgeprägte Fließgrenze, oft unter deutlicher Ausbildung einer oberen und unteren Streckgrenze F_o und F_u , zeigt und nach dem Über-

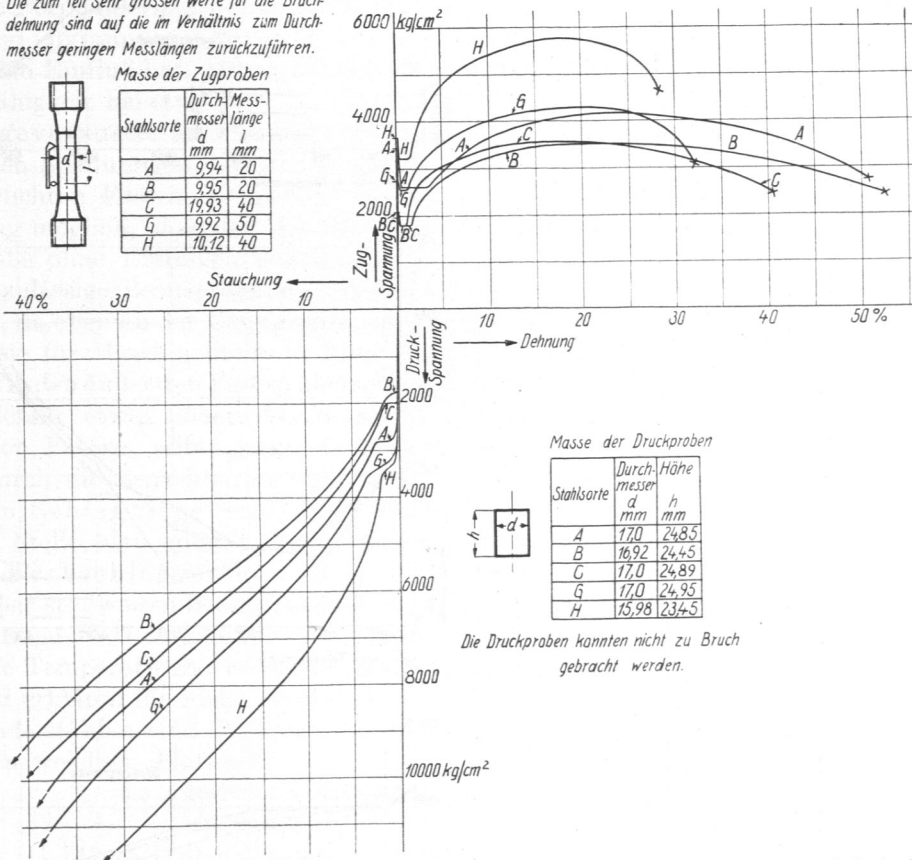
schreiten der Höchstlast infolge der Querschnittverminderung durch die Einschnürung wieder sinkt. Dehnung und Formänderungsarbeit sind groß. Die Streckgrenze liegt im ausgeglühten Zustande an weichen Sorten bei etwa 0,6 der Bruchfestigkeit, an harten bei 0,55 K_z , die Elastizitätsgrenze in beiden Fällen auf annähernd 0,5 K_z , während die Proportionalitätsgrenze häufig mit der Elastizitätsgrenze zusammenfällt. Die Abb. 98 gibt Schaulinien, die an härteren Stahlsorten gewonnen wurden, wieder. Aus ihnen geht hervor, daß im allgemeinen bei größerer Festigkeit die Dehnung abnimmt, die Elastizitäts-, Proportionalitäts- und Streckgrenzen aber höher liegen, und daß die zuletzt genannte häufig nicht mehr deutlich ausgeprägt ist.

Die zum Teil sehr grossen Werte für die Bruchdehnung sind auf die im Verhältnis zum Durchmesser geringen Messlängen zurückzuführen.



Masse der Zugproben

Stahlsorte	Durchmesser d mm	Messlänge l mm
A	9,94	20
B	9,95	20
C	19,93	40
G	9,92	50
H	10,12	40



Masse der Druckproben

Stahlsorte	Durchmesser d mm	Höhe h mm
A	17,0	24,85
B	16,92	24,45
C	17,0	24,89
G	17,0	24,95
H	15,98	23,45

Die Druckproben konnten nicht zu Bruch gebracht werden.

Abb. 99. Zug- und Druckversuche an 5 Sorten Flußstahl, geglüht (Verfasser und Scholl).

Abb. 99 stellt die an fünf geglühten Flußstahlsorten gewonnenen Zug- und Druck-schaulinien dar derart, daß die Linien der Druckversuche im linken unteren Viertel die Fortsetzung der Zugversuche im rechten oberen bilden. Die Quetschgrenze liegt praktisch genügend genau auf gleicher Höhe, wie die untere Streckgrenze, ist aber weniger ausgeprägt. Der weitere Verlauf der im Gegensatz zu den Zugversuchlinien schwach S-förmigen Druckkurven zeigt, daß die zu starken Formänderungen nötigen Spannungen immer höher werden, weil der Querschnitt dauernd zunimmt. Die Druckproben konnten nicht zu Bruch gebracht werden.

Strecken im kalten Zustande durch Hämmern, Walzen oder Ziehen erhöht die Fließ-, Quetsch- und Bruchgrenzen, vermindert aber die Dehnung, wie schon auf Seite 69 ausführlich besprochen wurde.

Der Einfluß des Härtens und Anlassens ist in Abb. 99a dargestellt. Die Elastizitäts-, Fließ- und Bruchgrenzen sind wesentlich gehoben, die Dehnung ist dagegen vermindert worden. Der Stahl hat größere Sprödigkeit angenommen.

Auf Härten und darauf folgendes Anlassen ist auch das Vergüten des Stahls zurückzuführen.

Die Bruchfläche durchgeschmiedeten Flußstahls zeigt graue bis hellgraue Farbe und ein um so feinkörnigeres Gefüge, je mehr sich der Kohlenstoffgehalt 0,9% nähert und je stärker die vorangegangene Bearbeitung im warmen oder kalten Zustande war. Auch das Härten hat eine Verfeinerung des Gefüges zur Folge.

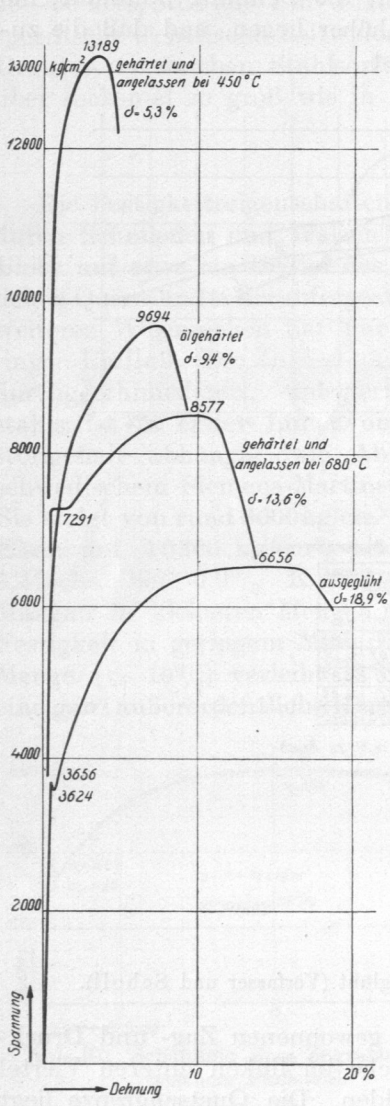


Abb. 99 a. Einfluß des Härten und Anlassens auf die Festigkeit von Siemens-Martin-Flußstahl (Bach).

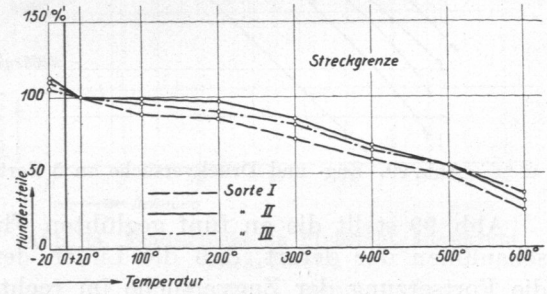
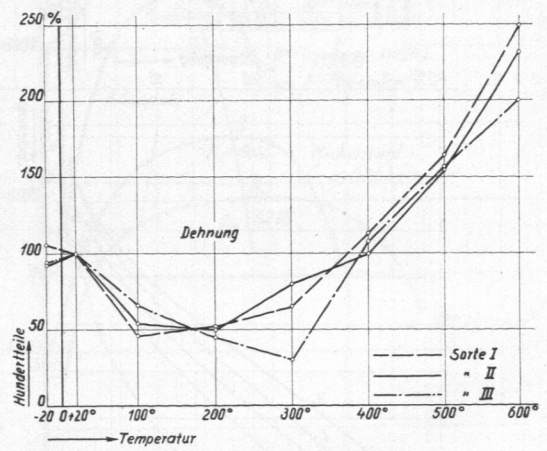
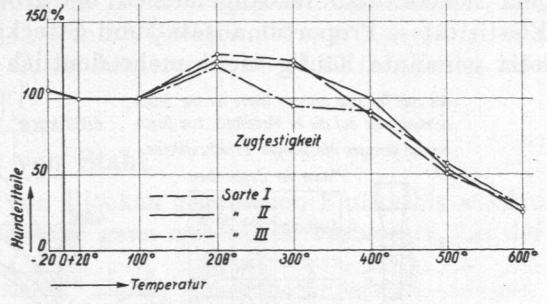


Abb. 100 bis 102. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Flußstahl (Martens).

Die Untersuchungen von Martens, Rudeloff, Bach u. a. über den Einfluß der Wärme haben übereinstimmend eine Steigerung der Zugfestigkeit bei 200—300° und in großer Kälte, andererseits aber eine starke Abnahme sowohl der Dehnung zwischen 100 und 200°, wie der Einschnürung bei 250—300° und bei Kälte festgestellt. Die Abb. 100—102 geben Versuche von Martens [II, 11] an drei verschiedenen Flußstahlsorten in Hundertteilen der folgenden, bei 20° ermittelten Grundwerte wieder.

Die Unregelmäßigkeiten im Verlaufe der Zugfestigkeitslinie der Sorte III dürfte auf vorzeitigen Bruch zurückzuführen sein, der bei den betreffenden Probestücken stets am

Sorte	Streckgrenze σ_s kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruchdehnung δ %	Einschnürung ψ %
I	2200	3840	30,4	56,8
II	2600	4370	28,9	48,7
III	2860	4700	28,6	61,5

äußersten Ende der Meßlänge erfolgte. Die Dauer der Versuchsdurchführung an Stahlstäben ist bei gewöhnlichen Wärmegraden von geringem Einfluß.

Das Verhalten gedrückter Körper aus Flußstahl bei höheren Wärmegraden hat Riedel [II, 12] eingehend untersucht und dabei nachgewiesen, daß der Kraftverlauf und die Formänderungen durch die von den Endflächen her sich ausbildenden Druckkegel und -pyramiden bedingt sind und daß infolgedessen die Form der Probekörper bedeutenden Einfluß hat. Durch Schlagversuche stellte Martens eine Zunahme der Widerstandsfähigkeit bei etwa 200°, bei höheren Wärmegraden aber eine Abnahme fest [II,13].

Biegeversuche an Flußeisen und -stahl zeigen zunächst Verhältnismäßigkeit zwischen den Spannungen und Durchbiegungen, bis an der Biegegrenze die am stärksten beanspruchten Fasern nachgeben. Häufig ist aber noch eine sehr weitgehende Formänderung möglich, ohne daß der Stab bricht. Bei zähen Sorten lassen sich die Schenkel der Probe ohne Einreißen vollständig zusammenbiegen.

Die zulässige Beanspruchung auf Biegung stimmt mit derjenigen auf Zug und Druck überein, da eben an der Biegegrenze, an welcher die Widerstandsfähigkeit des Baustoffes, soweit sie für Maschinenteile in Frage kommt, erschöpft ist, die Streck- und Quetschgrenzen in den äußersten Fasern überschritten werden. Immerhin kann man in vielen Fällen ohne Gefahr etwas höhere Werte als bei Beanspruchungen auf Zug zulassen, da die äußersten Fasern, selbst wenn sie gelegentlich überbeansprucht und gedehnt worden sind, durch die benachbarten unterstützt werden.

Beim Schlagbiegeversuch ist Flußstahl bei etwa 300°, bei welchen eine blankgefeilte Stelle blau anläuft, besonders empfindlich (Blaubrüchigkeit).

Der Kerbschlagversuch läßt die Überlegenheit der Nickel- und Chromnickelstähle gegenüber stoßweisen Beanspruchungen erkennen, vgl. Abb. 183; verbrannter Stahl zeigt sehr geringe Kerbzähigkeit.

Tiefe Temperaturen verringern die Kerbzähigkeit gewöhnlichen Flußstahls beträchtlich und erklären die nicht seltenen Brüche durch stoßweise Beanspruchung im Winter. Bei Sonderstählen sind die Unterschiede geringer. Ehrensberger [II, 8] fand beispielsweise an weichem Flußstahl:

bei +200°C 33,9 mkg/cm², bei +20°C 24,7 mkg/cm²,
 „ -1°C 16,3 „ „ -20°C 4,2 „ Kerbzähigkeit;

Kaiser [II,14] an Thomasflußstahl von 4010 kg/cm² Zugfestigkeit und 26,8% Dehnung

bei gewöhnlicher Temperatur 14,8 mkg/cm²
 „ -20° 1,7 „
 „ -85° 1,3 „

Der Scherversuch führt nach der Formel $K_s = \frac{P}{F}$ zu Werten, die rund 0,8 der Zugfestigkeit betragen.

Aus Drehversuchen folgt nach Bach für weichen Flußstahl zwar etwas höhere Widerstandsfähigkeit — $K_d \approx 1,15 K_z$ —; dagegen liegt die Fließgrenze und dementsprechend wahrscheinlich auch die Elastizitätsgrenze verhältnismäßig niedriger; bei weichen Sorten ist $\tau_s \approx 0,8 \sigma_s$, bei harten $\tau_s \approx 0,5 \sigma_s$.

Die Elastizitätsziffer ist sowohl bei Beanspruchung auf Zug als auch auf Druck oder Biegung gleich groß und liegt bei weichen Sorten zwischen $\alpha = \frac{1}{2\,100\,000}$ bis $\frac{1}{2\,150\,000}$ cm²/kg. Bei harten beträgt sie etwa $\frac{1}{2\,200\,000}$ cm²/kg und ist bei gehärtetem Stahl unabhängig von dem Grade der Härtung. Für die Schubzahl gilt $\beta = \frac{1}{830\,000}$ bzw. $\frac{1}{850\,000}$ cm²/kg.

3. Gütevorschriften und Anforderungen an Flußstahl.

a) Nach den Dinormen.

In den Dinormen sind bisher nur die unlegierten, für den Maschinenbau aber wichtigsten, weil am häufigsten benutzten Stahlsorten, genormt worden. In DIN 1600 wurde zunächst eine einheitliche Markenbezeichnung festgelegt, die sich aus Buchstaben und zwei Ziffergruppen zusammensetzt. Die Buchstaben dienen zur Unterscheidung der Hauptarten des technischen Eisens, indem St: Flußstahl, Stg: Stahlguß, Ge: Gußeisen, Te: Temperguß kennzeichnet. Die erste zweistellige Ziffergruppe gibt bei unlegiertem Stahl die Mindestzugfestigkeit in kg/mm^2 an. Bei Handelsgüte, bei der eine bestimmte Festigkeit nicht gewährleistet wird, lautet die erste Gruppe 00. Die zweite weist auf die Nummer des Dinormblattes hin, auf welchem der Stahl angegeben ist; man findet diese Nummer, wenn man vor die Zahlen der zweiten Gruppe 16 setzt. So kennzeichnet

St 34.13 (sprich: Stahl 34 — 13) einen Flußstahl von 34 kg/mm^2 Mindestzugfestigkeit nach DIN 1613, St 00.11 einen Flußstahl von Handelsgüte, ohne Angabe von mechanischen Eigenschaften, nach DIN 1611.

Bei legierten und Sonderstählen dient die erste Ziffergruppe zur näheren Bezeichnung der Art nach dem Kohlenstoffgehalt oder dem Legierungsbestandteil:

St C 35.61 ist ein Vergütungsstahl von 0,35% mittlerem Kohlenstoffgehalt nach DIN 1661.

Soll ausnahmsweise das Herstellverfahren angegeben werden, so geschieht das durch die folgenden, hinter die zweite Ziffergruppe zu setzenden Buchstaben:

B	Th	M	T	E
Bessemer-,	Thomas-,	Martin-,	Tiegel-,	Elektrostahl.

Bei Bestellungen wird vor die Markenbezeichnung die Benennung des Werkstoffes, dahinter die vollständige DIN-Nummer gesetzt: Nieteisen $22 \varnothing$ St 34.13 DIN 1613 ist Nieteisen nach DIN 1613 von 22 mm Durchmesser aus Flußstahl von 34 kg/mm^2 Mindestfestigkeit.

Rundeisen $30 \varnothing$ St 00.11 DIN 1611 ist Rundeisen nach DIN 1611 von 30 mm Durchmesser in Handelsgüte.

Vergütungsstahl St C 35.61 DIN 1661, ausgeglüht, ist ausgeglühter Vergütungsstahl nach DIN 1661 mit 0,35% mittlerem Kohlenstoffgehalt.

Einsatzstahl St C 16.61 E DIN 1661 ausgeglüht, ist ein im Elektroofen hergestellter Einsatzstahl nach DIN 1661 von 0,16% mittlerem Kohlenstoffgehalt.

Gütevorschriften sind bisher aufgestellt worden:

für geschmiedeten, unlegierten Stahl in DIN 1611,

für unlegierten Einsatz- und Vergütungsstahl in DIN 1661,

für Form-, Stab- und Breiteisen in DIN 1612,

für Schrauben- und Nieteisen in DIN 1613,

für Eisenblech in DIN 1620 und 1621.

Bei dem in der Regel im allgemeinen Maschinenbau verwandten geschmiedeten Stahl der DIN 1611 (Regelstahl) werden zwei Reinheitsgrade A und B unterschieden.

Im Falle A wird der Schwefel- und Phosphorgehalt zahlenmäßig nicht gewährleistet.

Im Falle B soll der Gehalt an Schwefel und Phosphor nicht mehr als je 0,06%, in Summe nicht mehr als 0,1% betragen. Hohe Ansprüche an Einsatz- und Vergütbarkeit können nicht gestellt werden.

Die Streckgrenze liegt durchschnittlich bei 0,55 K_z .

In Sonderfällen ist der Verwendungszweck anzugeben, z. B. Einsatzstahl, Feuerstahl, Stahl für eine größere Turbinenscheibe.

Bei höheren Ansprüchen in bezug auf die Verbesserungen, die sich durch Einsetzen und Vergüten des Stahles erreichen lassen, wie sie an hoch beanspruchte Zapfen, Wellen, Steuerungsteile, Gleitstücke, Rollen, Zahnräder usw. gestellt werden, verwendet man die im folgenden angeführten Stahlsorten. Je geringer der Kohlenstoffgehalt des Einsatz-

Zusammenstellung 21. **Geschmiedeter Stahl, unlegiert (Regelstahl), nach DIN 1611**
(vgl. auch DIN 1906), Auszug.

Reinheitsgrad A.

Die mechanischen Eigenschaften gelten für den Anlieferungszustand des gut durchgeschmiedeten oder gut durchgewalzten Werkstoffes und in der Faserrichtung.

Markenbezeichnung	Zugversuch nach DIN 1605			Kohlenstoffgehalt ¹⁾ %	Eigenschaften	Verwendungsgebiete und Anwendungsbeispiele
	Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens				
		am kurzen Normal-o. Proport.-Stab δ_5 %	am langen Normal-o. Proport.-Stab, δ_{10} %			
St 00.11	—	—	—	—	Ohne Angabe von mechanischen Eigenschaften. Weder kalt- noch rotbrüchig.	Für untergeordnete Zwecke Geländerstangen usw.
St 37.11	37 bis 45	25	20	—	Übliche Güte des Thomas- und Siemens-Martin-Stahls. Läßt sich nicht immer gut schweißen.	Stab- und Formeisen, roh bleibende Teile mit mäßigen Beanspruchungen, Eisenbauteile.

Reinheitsgrad B.

Die mechanischen Eigenschaften gelten in der Faserrichtung im ausgeglühten (normalisierten) Zustand, in dem der Stahl meist geliefert wird.

St 34.11	34 bis 42	30	25	~ 0,12	Einsetzbar, feuerschweißbar.	Teile mit großer Zähigkeit, Schrauben, Schrumpfringe usw. Leicht bearbeitbar. Für einzusetzende Teile, wenn nicht sehr hohe Anforderungen gestellt werden.
St 42.11	42 bis 50	24	20	~ 0,25	Noch einsetzbar, wenn Kern bereits hart sein darf. Schwer feuerschweißbar.	Treibstangen, Kurbeln, mäßig beanspruchte Wellen und Achsen, Preßstücke, gering beanspruchte Stirnräder.
St 50.11	50 bis 60	22	18	~ 0,35	Nicht für Einsatzhärtung bestimmt. Kaum feuerschweißbar. Wenig härtbar.	Höher beanspruchte Triebwerkteile, Wellen, gekröpfte Wellen, Kolben- und Schieberstangen, Bolzen, mäßig beanspruchte Zahnräder.
St 60.11	60 bis 70	17	14	~ 0,45	Härtbar, vergütbar	Hoch beanspruchte Triebwerkteile, Teile mit hohem Flächendruck, Paßstifte, Keile, Ritzel, Schnecken, Preßspindeln usw. Bearbeitung teuer.
St 70.11	70 bis 85	12	10	~ 0,60	Hoch härtbar, vergütbar	Naturharte Teile: ungehärtete Steuerteile, harte Walzen, Gesenke, Ziehringe, Preßdorne. Für höchst und nicht wechselnd beanspruchte Teile. Bearbeitung teuer.

¹⁾ Für die Abnahme nicht bindend.

stahls ist, um so höhere Dehnung behält der Kern nach dem Abschrecken, um so höher ist aber im allgemeinen auch der Preis. Teile von mehr als 40 mm Stärke lassen sich wegen der großen Gefügeumwandlungsgeschwindigkeiten nicht mehr bis in den Kern durchhärten und daher auch nicht gleichmäßig durchvergüten. Bei dickeren Stücken sind hohe Vergütungswerte nur mit legierten Stählen mit geringen Umwandlungsgeschwindigkeiten zu erreichen.

Zusammenstellung 22. **Geschmiedeter Stahl, unlegiert, Einsatz- und Vergütungsstahl nach DIN 1661** (vergl. auch DIN 1606). (Auszug).

Reinheitsgrad: Schwefel- und Phosphorgehalt nicht größer als je 0,04⁰/₀, zusammen jedoch nicht größer als 0,07⁰/₀. Die mechanischen Eigenschaften gelten in der Faserrichtung.

Einsatzstahl.

Nach dem Einsetzen hat der Werkstoff höhere Festigkeit, auch im Kern.

Markenbezeichnung	Zustand	Zugversuch nach DIN 1605				Kohlenstoffgehalt %	Mangan- gehalt höchstens %	Silizium- gehalt höchstens %
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung, mindestens		Streckgrenze mindestens σ_s kg/mm ²			
			am kurzen Normal-o. Proport.- Stab δ_5 %	am langen Normal-o. Proport.- Stab δ_{10} %				
St C 10.61	ausgeglüht	i. M. 38	30	25	21	0,06 bis 0,13	0,5	0,35
St C 16.61	„	i. M. 42	28	23	23	0,13 bis 0,20	0,4	0,35

Vergütungsstahl.

Die im folgenden unter „vergütet“ aufgeführten Werte der mechanischen Eigenschaften liefern einen Maßstab für die Vergütungsfähigkeit des Stahles. Sie werden durch Abschrecken aus 30 bis 50° C oberhalb des oberen Umwandlungspunktes mit darauffolgendem Anlassen auf 600° C erreicht. Gewöhnlich wird weniger hoch angelassen; die Werte der Streckgrenze und Zugfestigkeit liegen dann höher, vgl. z. B. Abb. 85.

St C 25.61	ausgeglüht	42 bis 50	27	22	24	~ 0,25		
	vergütet	47 bis 55	24	20	28			
St C 35.61	ausgeglüht	50 bis 60	23	19	28	~ 0,35		
	vergütet	55 bis 65	22	18	33			
St C 45.61	ausgeglüht	60 bis 70	19	16	34	~ 0,45	0,8	0,35
	vergütet	65 bis 75	18	15	39			
St C 60.61	ausgeglüht	70 bis 85	15	13	40	~ 0,60		
	vergütet	75 bis 90	14	12	45			

Unter „Ausglühen“ (Normalisieren) ist ein gleichmäßiges Erhitzen auf eine Temperatur dicht oberhalb des oberen Umwandlungspunktes, Abb. 84, mit darauffolgendem Erkalten in ruhiger Luft zu verstehen.

Zusammenstellung 23. **Anforderungen an Form- Stab-, und Breitereisen nach DIN 1612.** (Auszug.)

Markenbezeichnung	Güte	Zugversuch nach DIN 1605							Faltversuch nach DIN 1605	Bemerkungen
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens % am Kurzstab δ_k am Langstab δ_l						Lichte Weite der Schleife bei 180° Biege Winkel, bezogen auf Probendicke a	
			Probendicke mm			Probendicke mm				
St 37.12	Normalgüte	37 bis 45	25	22	18	20	18	15	0,5a	Gut feuer- schweiß- bar
St 34.12	Sondergüte	34 bis 42	30	26	22	25	22	18	Die Probe muß sich, ohne Anrisse auf der Zugseite zu zeigen, kalt zusammenschla- gen lassen, bis die Schenkel flach aneinanderliegen	
St 42.12	Sondergüte	42 bis 50	24	22	18	20	18	15	2a	
St 44.12	Sondergüte	44 bis 52	24	22	18	20	18	15	3a	
St 00.12	Handelsgüte	Der Stahl darf weder kalt- noch rotbrüchig sein, d. h. die Proben müssen sich im kalten und warmen Zustande bis zum rechten Winkel biegen lassen bei einer Ausrundung, deren Halbmesser gleich der doppelten Probendicke ist.								

¹⁾ Die in dieser Spalte angegebenen Werte gelten allgemein auch für δ_5 am kurzen Proportionalstab nach DIN 1605. Bei dem im Auslande zum Teil üblichen kleineren Meßlängenverhältnis werden die Dehnungswerte entsprechend höher.

²⁾ Die in dieser Spalte angegebenen Werte gelten allgemein auch für δ_{10} am langen Proportionalstab nach DIN 1605.

Für den Werkstoff zu Kupplungsteilen an Eisenbahnfahrzeugen werden die Eigenschaften des *St* 44.12, jedoch 45—52 kg/mm² Zugfestigkeit verlangt.

Form-, Stab- und Breiteisen werden im allgemeinen a) in Handelsgüte, ohne Gewähr für bestimmte mechanische Eigenschaften und b) in Normalgüte auf Lager gehalten. Außerdem sind in der DIN 1612 noch drei Sondergüten mit den in der Zusammenstellung 23 angegebenen Festigkeitszahlen aufgestellt worden.

Die Anforderungen an Schrauben- und Nieteisen sind durch DIN 1613 geregelt.

Zusammenstellung 24. Anforderungen an Schrauben- und Nieteisen nach DIN 1613. (Auszug).

Markenbezeichnung	Güte	Zugversuch nach DIN 1605						Faltversuch nach DIN 1605 Lichte Weite der Schleife bei 180° Biegewinkel, bezogen auf Probendicke <i>a</i>	Bemerkungen	
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens % am Kurzstab δ_k am Langstab δ_l Probendicke mm							
			8 und mehr ¹⁾	unter 8 bis 7	unter 7 bis 5	8 und mehr ²⁾	unter 8 bis 7			unter 7 bis 5
<i>St</i> 38.13	Schraubeneisen	38 bis 45	25	22	18	20	18	15	0,5 <i>a</i>	—
<i>St</i> 34.13	Nieteisen, auch Sondergüte weiches Schraubeneisen	34 bis 42	30	26	22	25	22	18	Die Prob.muß sich, ohne Anrisse auf der Zugseite zu zeigen, kalt zusammenschlagen lassen, bis die Schenkel flach aneinanderliegen.	Stauchversuch. Ein Stück Nieteisen, dessen Länge gleich dem doppelten Durchmesser ist, soll sich im warmen, der Verwendung entsprechenden Zustande bis auf $\frac{1}{3}$ seiner Länge zusammestauchen lassen, ohne Risse zu zeigen.

¹⁾ und ²⁾ siehe auf S. 82.

Über die Durchführung der Prüfung und der Abnahme, sowie über die zulässigen Abweichungen in bezug auf Maß und Gewicht vergleiche die Normblätter DIN 1612/13.

Die Bleche teilt man der Güte nach entsprechend DIN 1620/21 ein in:

A. Gewöhnliche Bleche, sogenannte Handelsware, wie sie z. B. für einfache Behälter in Frage kommen. Gütezahlen werden nicht gewährleistet. (*St* 00.21.)

B. Baubleche I und II. Von ihnen werden nach DIN 1621 die folgenden Werkstoffeigenschaften verlangt:

Markenbezeichnung	Benennung	Zugversuch nach DIN 1605			Faltversuch nach DIN 1605 Lichte Weite der Schleife bei 180° Biegewinkel, bezogen auf Probendicke <i>a</i> , ohne daß auf der Zugseite Risse entstehen
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung am Langstab δ_l mindestens % Blechedicke mm		
			5 bis 10	über 10	
<i>St</i> 37.21	Baubleche I	37 ¹⁾ bis 45	18	20	2 <i>a</i>
<i>St</i> 42.21	Baubleche II	42 bis 50	16	20	2 <i>a</i>

¹⁾ Für die Querrichtung ist 36 zugelassen.

C. Schiffsbleche.

D. Kesselbleche, für welche die anschließend erwähnten allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Land- und Schiffsdampfkessel gelten.

E. Sonderbleche mit abweichenden Bedingungen.

Über die äußere Beschaffenheit, Prüfungen und Abnahme der Bleche, über Maß- und Gewichtsabweichungen siehe DIN 1620/21, 1542/43.

b) Die allgemeinen polizeilichen Bestimmungen
über die Anlegung von Landdampfkesseln,

sowie diejenigen über Schiffsdampfkessel von 1908 mit Abänderungen vom 2. 3. 1912, vom 14. 12. 1913 und 15. 8. 1914 (neue Bestimmungen sind z. Z. in Bearbeitung) verlangen vom Nieteisen:

1. Zugfestigkeit $K_z = 3400\text{--}4100 \text{ kg/cm}^2$, bei einer Dehnung von mindestens $\delta = 25\%$ und einer Gütezahl von mindestens $\frac{K_z}{100} + \delta = 62$. Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 4100 kg/cm^2 verwendet werden, darf das Nietmaterial entsprechend bis zu 4700 kg/cm^2 Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie in der folgenden Zahlentafel für Bleche ist. Für solches Nieteisen sind Prüfungsbescheinigungen beizubringen.

2. Im kalten Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu zeigen, so gebogen werden können, daß der Abstand der parallel zusammengebogenen Schenkel voneinander nicht mehr als ein Fünftel des Nietdurchmessers beträgt.

3. Im warmen Zustande muß sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist als der Durchmesser, auf ein Drittel bis ein Viertel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

4. Nach dem Härten soll sich das Nieteisen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der zweifachen Dicke des Nieteisens ist, bis zu 180° biegen lassen.

An den Nieten selbst muß sich α) im warmen Zustande ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß wie der Durchmesser ist, auf ein Drittel bis ein Viertel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

β) Nach dem Härten soll sich ein Stück Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, um zwei Fünftel seiner Länge zusammenstauchen lassen, ohne daß die Oberfläche reißt. Für Anker- und Stehbolzen gelten dieselben Bedingungen, wie für Nieteisen unter 1) erster Absatz und 4). Ausnahmsweise ist Baustoff bis 4700 kg/cm^2 Festigkeit zugelassen, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie in der Zahlentafel für Bleche ist.

An Kesselblechen darf

1. der verwandte Flußstahl keine geringere Zugfestigkeit als 3400 und in der Regel keine höhere als 5100 kg/cm^2 haben. In bezug auf die Mindestdehnung ist folgende Zahlentafel maßgebend:

Festigkeit kg/cm^2	5100—4600	4500	4400	4300	4200	4100—3700	3600	3500	3400
Geringste Dehnung $\%$	20	21	22	23	24	25	26	27	28

Bis auf weiteres kommen drei Blechsarten zur Anwendung, und zwar:

Blechsorte I mit $3400\text{--}4100 \text{ kg/cm}^2$ (Berechnungsfestigkeit 3600 kg/cm^2),

Blechsorte II mit $4000\text{--}4700 \text{ kg/cm}^2$ (Berechnungsfestigkeit 4000 kg/cm^2),

Blechsorte III mit $4400\text{--}5100 \text{ kg/cm}^2$ (Berechnungsfestigkeit 4400 kg/cm^2).

2. Für diejenigen Teile des Kessels, welche gebördelt werden, oder im ersten Feuerzug liegen, dürfen nur Bleche der Sorte I verwendet werden.

3. Für Teile, die nicht gebördelt werden oder nicht im ersten Feuerzuge liegen, können Bleche der II. und III. Sorte genommen werden.

4. Der Unterschied zwischen der Mindest- und Höchtfestigkeit darf bei einem einzigen Bleche sowie bei Blechen gleicher Art einer und derselben Lieferung bei Längen

bis 5 m höchstens 600 kg/cm^2 ,
über 5 m höchstens 700 kg/cm^2

betragen. Die Mindest- und Höchtfestigkeiten müssen aber innerhalb der festgesetzten Grenzen liegen.

5. Beim Hartbiegeversuch muß sich der Probestreifen bei Blechen mit einer Festigkeit bis zu 4100 kg/cm^2 einschließlich, in Längs- und Querfasern flach, von 4100 bis 4700 kg/cm^2 um einen Dorn mit einem Durchmesser von der zweifachen Blechdicke,

über 4700 kg/cm² um einen solchen von der dreifachen Blechdicke um 180° zusammenbiegen lassen.

Die Bestimmungen für Schiffsdampfkessel lassen in besonderen Fällen für Teile, welche gebördelt werden, oder im ersten Feuerzuge liegen, Bleche der Sorte II und ausnahmsweise für gebördelte Bleche, die nicht von den Heizgasen bestrichen werden, solche der Sorte III zu.

c) Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken.

Für Eisenbauwerke ist durch die DIN 1000, aufgestellt vom Verband Deutscher Architekten- und Ingenieurvereine, Verein Deutscher Ingenieure, Verein Deutscher Eisenhüttenleute und vom Deutschen Eisenbauverband, eine einheitliche Vorschrift geschaffen worden. Hervorgehoben seien die folgenden Punkte: die Bestimmungen gelten für Eisen von 4—28 mm Dicke; für andere Stärken sind besondere Vereinbarungen zu treffen. Das Flußeisen soll glatt gewalzt sein und keine Schiefer, Blasen oder Kantenrisse aufweisen. Die Proben sind kalt abzutrennen und möglichst unter Erhaltung der Walzhaut kalt zu bearbeiten; dabei ist die schädigende Wirkung etwaiger Scherenschnitte, des Auslochens oder Aushauens sorgfältig zu beseitigen. Ausglühen ist, wenn das Gebrauchsstück nicht ebenfalls ausgeglüht wird, zu unterlassen. Querproben werden nur an solchem Eisen gemacht, das auch quer beansprucht wird.

1. Zerreißproben.

Sie sollen in der Regel eine Meßlänge von 200 mm bei 3,0—5,0 cm² Querschnitt haben. Bei geringerem Querschnitt F_0 ist die Meßlänge l nach der Formel $l = 11,3 \cdot \sqrt{F_0}$ zu bestimmen. Über die Meßlänge hinaus müssen die Probestäbe nach beiden Seiten noch auf je 10 mm Länge den gleichen Querschnitt haben.

Zusammenstellung 25. Anforderungen an weichen Flußstahl nach den Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken, DIN 1000.

Art des Baustoffes	Grenzwerte der Zugfestigkeit in kg/cm ²	Kleinste Dehnung in % der Meßlänge
von 7 bis 28 mm Dicke	Längsrichtung	20
	Querrichtung	17
von 4 bis unter 7 mm Dicke	Längsrichtung	18
	Querrichtung	15
für Nieteisen	3500—4200	24
für Schraubeneisen	3800—4500	20

2. Sonstige Proben.

a) An Flacheisen, Formeisen und Blechen.

a) Biegeproben. Zu ihnen sind Streifen von 30—50 mm Breite oder Rundeisenstäbe von einer der Verwendung entsprechenden Dicke zu benutzen, vorausgesetzt, daß diese Dicke nicht größer als 28 mm ist. Die Kanten der Streifen sind abzurunden.

I. Kaltbiegeprobe. Die Stücke sollen bei Zimmerwärme gebogen eine Schleife bilden, deren lichter Durchmesser bei Längsstreifen gleich der halben Dicke, bei Querstreifen gleich der Dicke des Versuchsstückes ist.

II. Härtebiegeprobe. Die Stücke sind hellrotwarm (700 bis 750° C) zu machen, in Wasser von etwa 28° C abzuschrecken und dann so zusammenzubiegen, daß sie eine Schleife bilden, deren lichter Durchmesser bei Längsstreifen gleich der einfachen, bei Querstreifen gleich der doppelten Dicke des Versuchsstückes ist.

Weder bei der Kalt- noch bei der Härtebiegeprobe dürfen an den Längsstreifen Risse entstehen; an Querstreifen sind unwesentliche Oberflächenrisse zulässig.

β) Rotbruchprobe. Ein im rotwarmen Zustande auf 6 mm Dicke und etwa 40 mm

Zusammenstellung 26. Festigkeitseigenschaften des Flußstahls großer Wellen, Krupp, Essen.

	Werkstoff	Festigkeit K_s kg/cm ²	Bruch- dehnung δ %	Proben-		Hauptabmessungen der Wellen			Gewicht kg	
				durch- messer mm	länge mm	Durchmesser mm	Kurbel- halbmess. mm	Gesamt- länge mm		
Wellenleitung für den Schnelldampfer Kaiser Wilhelm II.	Nickelstahl	6050	21				635 255	900	21950	114 000
1 sechsfache Kurbelwelle, aus 6 zusammengebauten, gekuppelten Kurbelwellenstücken bestehend	"	5560	21,5	25	200	976, 255	641	—	5906	18170
1 Druckwelle	Martinstahl	5450	24			604	255	—	6274	66870
5 Laufwellen	Tiegelstahl	5210	22			651	260	—	12550	27160
1 Schraubenwelle										
Vierfache Kurbelwelle, aus 4 zusammengebauten Kurbelwellenteilen für den Schnelldampfer Deutschland	Nickelstahl	6350	22,3	20	200	640	255	925	18070	101500
Kurbelwelle für eine Gasgebläsemaschine	Martinstahl	5300	25,3	12	120	550	140	760	11610	55090
Dreifache Kurbelwelle für eine Drillings-Walzenzug-Maschine	"	4800	24	20	200	525		650	7680	22250
Kurbelwelle mit 2 aufgezogenen Stahlfußkurbeln für eine Fördermaschine	"	5480	22,5	12	120	760, 600		1000	7660	34700
Dreifache Kurbelwelle } für eine Maschine in einer Dynamowelle } elektrischen Zentrale	"	4990	29,6	20	200	450, 630		650	8950	46 000
Blindwelle für eine elektrische Lokomotive	5% Nickelstahl	5200	25	20	200	550, 800		—	6295	
		6100	23,2	25	200	250	60	300	2260	1326

Breite abgeschmiedeter Probe-
streifen soll mit einem sich
verjüngenden Lochstempel,
der 80 mm lang ist und 20 mm
Durchmesser am dünnen,
30 mm am dicken Ende hat,
im rotwarmen Zustande in
der Mitte gelocht werden.
Das Loch von 20 mm Durch-
messer soll dann auf 30 mm
erweitert werden, ohne daß
hierbei ein Einriß im Probe-
streifen entstehen darf.

b) An Blechen von weniger
als 5 mm Stärke, Riffel- und
Warzenblechen.

Diese Bleche sind nur der
Kaltbiegeprobe zu unter-
ziehen.

c) An Nieteisen.

α) Biegeprobe. Rundeisen-
stäbe sind hellrotwarm (700
bis 750°C) in Wasser von etwa
28°C abzuschrecken und dann
so zusammenzubiegen, daß sie
eine Schleife bilden, deren
Durchmesser an der Biege-
stelle gleich der halben Dicke
der Probe ist. Hierbei dürfen
keine Risse entstehen.

β) Stauchprobe. Ein Stück
Nieteisen, dessen Länge gleich
dem doppelten Durchmesser
ist, soll sich im warmen, der
Verwendung entsprechenden
Zustande bis auf ein Drittel
seiner Länge zusammenstau-
chen lassen, ohne Risse zu
zeigen.

d) An Schraubeneseni.

Rundeisenstäbe sind hell-
rotwarm (700 bis 750°C) in
Wasser von etwa 28°C ab-
zuschrecken und dann so zu-
sammenzubiegen, daß sie eine
Schleife bilden, deren Durch-
messer an der Biegestelle
gleich der Probendicke ist.
Hierbei dürfen keine Risse
entstehen.

3. Gewalzter oder geschmiedeter Stahl.

Der Stahl muß gleichmäßig und frei von Schlacken, Rissen, Blasen und sonstigen Fehlern sein.

Die Probestücke sind den ausgewalzten, bzw. geschmiedeten, mit entsprechenden Zugaben hergestellten Teilen zu entnehmen und dürfen erst nach der Abstempelung abgetrennt werden. Bei Schmiedestücken soll der Querschnitt, aus dem die Proben herausgearbeitet werden, nicht geringer als der Kleinstquerschnitt der zu prüfenden Stücke sein, damit Änderungen der Werkstoffeigenschaften infolge weiteren Reckens vermieden werden.

Zerreißproben sollen eine Festigkeit von 5000 bis 6000 kg/cm² bei einer Dehnung von mindestens 18⁰/₀ ergeben.

d) Eisenbahnachsen.

Nach den Vorschriften des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute haben Zugstäbe von 20 mm Durchmesser und 200 mm Meßlänge mindestens 5000 kg/cm² Zugfestigkeit aufzuweisen. Beim Schlagversuch unter einem Fallwerk haben Achsen die folgenden Bedingungen zu erfüllen: Bei 1,5 m Stützenentfernung und Schlägen von 3000 kgcm Arbeitsinhalt soll eine rohgeschmiedete Achse von 130 mm Durchmesser eine Durchbiegung von 200 mm ohne Rißbildung oder Bruch aushalten, gemessen gegenüber der Verbindungslinie zweier, ursprünglich 1,5 m voneinander entfernter Körner. Bei Achsen von anderem Durchmesser steht die Mindestdurchbiegung im umgekehrten Verhältnis zum Durchmesser. Flußstahl für Lokomotivradreifen muß wenigstens 6000 kg/cm², für Wagen- und Tenderreifen 5000 kg/cm² Festigkeit haben.

e) Anforderungen an Flußstahl für große Wellen.

Einige Beispiele für die Eigenschaften der Stahllarten, die Krupp für große Wellen verwendet, gibt die Zusammenstellung 26.

Für die Kurbelwellen von Kraftomnibussen verwendet die Daimler-Gesellschaft in Coventry nach Stahl und Eisen 1913, S. 1909: Nickelstahl von 5740 bis 6580 kg/cm² an der Fließgrenze und 8540 bis 9310 kg/cm² Bruchfestigkeit bei 16 bis 18⁰/₀ Dehnung oder Chromvanadiumstahl von 5740 bis 6580 kg/cm² an der Fließgrenze und 7750 bis 8540 kg/cm² Bruchfestigkeit bei 17 bis 18⁰/₀ Dehnung.

Die Wellen werden in Öl gehärtet und angelassen (vergütet).

f) Anforderungen an Draht.

Die Anforderungen an Draht sind entsprechend den Verwendungszwecken außerordentlich verschieden, so daß keine einheitlichen Bestimmungen bestehen.

Der Verein Deutscher Eisenhüttenleute verlangt für verzinkten, geglühten Telegraphendraht aus weichem Flußstahl eine Zugfestigkeit von mindestens 4000 kg/cm². Der Draht wird ferner dem Biege- und Verwindeversuch unterworfen, und zwar soll

Draht von	6	5	4	3	2,5	2	1,7	mm Durchmesser
beim Biegeversuch	6	7	8	8	10	14	16	Biegungen,
wenn die Spannbacken einen								
Abrundungshalbmesser von		10				5		mm haben
und beim Verwindeversuch								
bei einer freien Länge von 15 cm	16	19	23	28	30	32	38	Windungen aushalten.

An verzinktem Fernsprechdraht aus hartem Flußstahl wird eine Zugfestigkeit von 13000 bis 14000 kg/cm², eine Dehnung, gemessen an einer Länge von 500 mm, von 5⁰/₀, bei Drähten unter 2 mm Durchmesser von 4⁰/₀ gefordert. Für den Biegeversuch über Backen von 5 mm Halbmesser sind

bei	2,5	2,2	2	1,8	1,6	mm Durchmesser
	4	6	7	8	10	Biegungen vorgeschrieben.

Zusammenstellung 27. Sonderstähle.

Art	Hersteller	Streckgrenze σ_s kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Dehnung δ o/o	Einschnü- rung ψ o/o	Kerb- zähigkeit mkg/cm ²	Anwendungsgebiete und Bemerkungen		
Tiegelstahl	Krupp	weich	2500	22	Melange = 10fachem Durchmesser	16	Für Teile, die höheren Beanspruchungen ausgesetzt sind und sehr betriebssicher sein müssen oder die sehr reinen Baustoff erfordern.		
		mittelhart	3000	20		12			
		hart	3500	18		8			
		sehr hart	4000	14		4			
Nickelstahl	"	naturhart	5000	8	Melange = 10fachem Durchmesser	—	Für Teile, die starkem Verschleiß unterworfen sind, und in gehärtetem Stahl nicht ausgeführt werden können.		
		weich	E 112 O	3000		22		30	Auch zur Einsatzhärtung geeignet.
			E 120 O	3500		20		über 40	
			E 312 O	3800		18		20	
mittelhart	E 220 O	4200	18	30	Schwere Schiffs- und Maschinenwellen, Lokomotivkurbelwellen usw.				
	E 320 O	4500	18	25					
Chromnickelstahl	"	EF 28 O	4500	18	Melange = 10fachem Durchmesser	25	Schmiedestücke geringerer Abmessungen, bis etwa 100 mm Dicke.		
		EF 40 O	4500	18		25		Lokomotivkurbelwellen u. dgl. } Schmiedestücke groß.	
		EF 55 O	7000	14		16			
		EF 60 O	6500	16		25			
A 2 O (Kohlenstoffstahl) A 4 O	"	1800	3500	25	Melange = 10fachem Durchmesser	25	Leistungen u. Geschwindigkeiten für mäßige Beanspruchung.		
		2000	4000	22		25		Für mäßige Beanspruchung.	
		2800	4500	22		22			Für hohe Beanspruchung, Hinterachsen, wenn Wert auf besondere Vorderachsensch., Zähigkeit des Kerns gelegt wird. } Kraftwagenbau.
		3000	5000	22		22			
E 112 O (Nickelstahl) E 120 O	"	3000	4500	20	Melange = 10fachem Durchmesser	20	Für sehr hohe Beanspruchungen } Zahnräder im Kraftw.-Bau.		
		4000	6000	20		20			
		5000—6000	10000—12000	24—18		60—50		Für Teile, die durch starke Stöße oder auf Verschleiß beansprucht sind (Zahnräder, Nocken, Rollen), ferner für hoch beanspruchte Wellen, Spindeln und Zapfen, die im Einsatz gehärtet werden.	
		~ 4000	6000—7000	15—8		55—50			
7000—8000	6000—7000	25—20	60—65						
~ 5000	11000—13000	12—8	40—30						
Nickelstahl N W W Nickelchromstahl	Bismarckhütte	~ 9000	7500—10000	18—10	Melange = 10fachem Durchmesser	40—50	Für hoch beanspruchte Federn.		
		5500—7000	15000—20000	10—5		40—30			
		12000—17500	8340—9560	18—20		37—39			
		7000—8000	14000	5		—			
Spezialfederstahl B 76 M Spezialfederstahl F 64 D Spezialstahl F 86 O	Krupp	5200—5750	~ 15000	~ 7,5	Melange = 10fachem Durchmesser	—	Für Federn an Rennwagen. Die Faserspannung kann bis 14500 kg/cm ² gesteigert werden, ohne daß eine bleibende Durchbiegung eintritt.		
		12000	17500—18000	3,5		—			
		7500	10000	8		—		Für Teile mit starkem Verschleiß, ferner solche, die große Festigkeit bei hohen Wärmegraden haben müssen (Zylinder von Metallpressen).	
		—	—	—		—			

g) Sonderstähle, Eigenschaften und Anforderungen.

Die teuren, besonders sorgfältig im Tiegel- oder im elektrischen Ofen hergestellten Sonder- und legierten Stähle kommen für stark beanspruchte Teile, bei denen gleichzeitig hohe Betriebsicherheit verlangt wird, in Frage. Ein Hauptgebiet ihrer Anwendung sind Kraftwagen- und Leichtmotoren, an denen es gilt, mit möglichst geringen Gewichten auszukommen. Die Zusammenstellung 27 bringt einige Angaben zweier Werke über solche hochwertige Stähle in bezug auf ihre Verwendung und die Anforderungen, die an sie gestellt werden können. Wegen der Einzelheiten und der Behandlung der Stähle, die oft große Sorgfalt verlangt und bei der kleine Fehler den Baustoff verderben und wertlos machen können, muß auf die ausführlichen Drucksachen der Werke verwiesen werden. Es empfiehlt sich vielfach, die Teile fertig oder vorge-schmiedet vom Erzeuger zu beziehen. Legierungen mit Nickel und Chrom sind außerordentlich fest und dehnbar und zeichnen sich durch große Kerbzähigkeit aus. Naturharter Tiegelstahl ist für Teile geeignet, die starkem Verschleiß unterworfen sind, in gehärtetem Stahl jedoch nicht ausgeführt werden können. Wolfram und Vanadium kommen fast nur als Zusätze zu Werkzeugstählen (Schnellschnittstahl) in Frage.

Durch reichliche Zusätze von Nickel und andern Stoffen lassen sich Stähle mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften herstellen. So führt Krupp u. a. die folgenden an:

Stahl mit 25% Nickel rostet nicht und ist gegen Salzwasser und verdünnte Säuren sehr widerstandsfähig. Stahl mit 28% Nickel ist ebenfalls rostbeständig und besitzt dieselbe Wärmeausdehnung wie Gußeisen, so daß er in Verbindung mit diesem bei verschiedenen Wärmegraden benutzt werden kann, wenn Wert auf gleiche Maß- und Formänderungen, wie z. B. an Ventilsitzen gelegt wird. Stahl mit 36% Nickel, Marke Indilitans, hat eine außerordentlich geringe Wärmeausdehnungsziffer von nur 0,0000008 für 1° C.

Alle diese Nickelstähle zeigen etwa 3000 kg/cm² an der Streckgrenze, 6000 kg/cm² Zugfestigkeit und 25% Dehnung.

h) Hartstahl.

Hartstahl, geeignet für Teile, die starkem Verschleiß unterworfen sind, kann nur durch Gießen, Schmieden oder Schleifen in die beabsichtigte Form gebracht, dagegen nicht durch Werkzeuge bearbeitet werden. Bei hoher Zugfestigkeit, 8000 bis 10000 kg/cm² ist der Hartstahl noch sehr zäh und besitzt mehr als 25% Dehnung.

4. Verarbeitung und Verwendung des Flußstahls.

Über die Verarbeitung und Verwendung des Flußstahls sei, soweit sie nicht schon im vorangehenden behandelt worden ist, kurz folgendes hervorgehoben.

Schmieden und pressen läßt sich Stahl um so leichter, je geringer seine Naturhärte und je höher die Bearbeitungstemperatur ist, für welche allerdings die obere Grenze durch das Verbrennen des Stahles gegeben ist. Da dieses mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt früher eintritt, muß harter Stahl vorsichtiger und bei wesentlich geringeren Wärmegraden verarbeitet werden als weicher. Durch Schmieden und Pressen erhalten Schraubenschlüssel, Hebel, Haken, Kurbelgriffe, Drehbankherzen usw. unter Benutzung von Gesenken ihre fertige Form, Schubstangen, Kreuzköpfe, Achsen und Wellen, Kurbeln usw. ihre rohe Gestalt, die durch Bearbeiten auf den Werkzeugmaschinen in die endgültige gebracht wird.

Beim Schweißen unterscheidet man die Feuerschweißung, das ist die unmittelbare Vereinigung zweier Stücke unter dem Hammer oder der Presse im teigigen, weißglühenden Zustande und die elektrischen und autogenen Schmelzschweißverfahren, bei denen die Stoßstelle verschmolzen oder die Fuge durch Einschmelzen von Schweißdraht geschlossen wird. Das erste Verfahren ist nur auf weichen Flußstahl anwendbar und wird im Schmiedefeuer oder mittels der Wassergasflamme durchgeführt. Das zweite läßt sich

auch auf härtere Stahlsorten anwenden. Beide werden zum Ansetzen von Köpfen und Gelenken an Stangen, zur Herstellung von Ringen, Ketten, Blechschüssen, Rohren usw. benutzt, ersetzen auch in vielen Fällen Nietungen, sowohl an Kesseln, wie auch in neuerer Zeit an Eisenbauwerken. Die Schmelzschweißverfahren dienen häufig zur raschen Wiederherstellung gebrochener Teile.

Stahl kann leicht hart und weich gelötet werden.

Das Härten erhöht, wie schon oben gezeigt, die Elastizitäts-, Streck- und Bruchgrenze des Stahls und verleiht ihm bedeutend größere Widerstandsfähigkeit gegen Flächen- und Abnutzung, wobei sich durch Schleifen eine sehr gleichmäßige und glatte Oberfläche herstellen läßt. Daher die Anwendung gehärteten Stahls zu hoch beanspruchten Teilen, zu Zapfen, Spurpannen, Druckplatten, Steuerdaumen, Kugel- und Rollenlagern usw. Die große elastische Arbeitsfähigkeit angelassenen Stahls begründet seine Anwendung zu Federn aller Art.

Die Härtung wird meist durch Abschrecken der glühenden Stücke in kaltem Wasser oder, falls ein geringerer Härtegrad erwünscht ist, durch Eintauchen in ein Ölbad, in einzelnen Fällen, in denen besonders hohe Härte verlangt wird, unter Benutzung von Quecksilber durchgeführt. Dabei erstreckt sich die Abkühlung zunächst auf die äußeren Schichten, zieht diese stark zusammen und erzeugt in den Stücken oft beträchtliche Spannungen, die zum Verziehen, Werfen, zu Rissen und Sprüngen führen können. Das Härten ist um so schwieriger, je dicker die Wandungen, je größer die Abmessungen und je verwickelter die Formen sind. Die zur Verminderung von Spannungen in Gußstücken im Abschnitt 3 erwähnten Maßregeln gelten sinngemäß auch für zu härtende Stücke. Der Konstrukteur hat auf möglichst einfache Formen, gleichmäßige Wandstärke, Vermeidung plötzlicher Absätze und unvermittelter Querschnittänderungen, ja selbst aller scharfen Kanten zu achten.

Solche Teile, die eine harte Oberfläche haben sollen, gleichzeitig aber hohe Beanspruchungen durch Stöße oder Kräfte aushalten und deshalb genügende Zähigkeiten aufweisen müssen, werden durch Einsatzhärtung nur mit einer besonders widerstandsfähigen Oberfläche versehen. Das geschieht durch längeres Glühen des an sich nicht oder nur in geringem Maße härtbaren Werkstoffs in einer Packung von Kohlenstoff abgebenden Stoffen, in Härtepulvern verschiedener Zusammensetzung, Lederkohle usw., die die Bildung einer härtbaren Stahlschicht hervorrufen, während der Kern bei dem späteren Abschrecken zäh und weich bleibt. Oberflächenteile, die nicht hart werden sollen, werden während des Einsetzens durch eine Lehm-packung geschützt. Anwendungsbeispiele bieten Zapfen verschiedenster Art, zu schleifende Kolbenstangen, häufig zu lösende blanke Muttern, Achsschenkel für Kraftwagen, Zahnräder usw.

Kalt lassen sich Flußeisen und -stahl durch Hämmern, Treiben, Ziehen, Drücken, Pressen, Walzen und verwandte Verfahren um so leichter und weitgehender verarbeiten, je beträchtlicher die Zähigkeit ist, die nötigenfalls nach größeren Formänderungen durch Ausglühen wieder hergestellt werden muß.

Auf den günstigen Festigkeitseigenschaften beruht die Anwendung des Flußstahls zu Schrauben, Nieten, Keilen, Ketten, Seilen, Zapfen, Kurbeln, Kreuzköpfen, Achsen, hoch beanspruchten Zahnrädern, Röhren, Preßzylindern für hohen Druck und hohe Wärmegrade usw.

Schädlich kann die Rostbildung an aufeinanderlaufenden oder gleitenden Teilen werden. Soll das Zusammenrosten verhütet werden, so wird mindestens der eine Teil aus einem nicht rostenden Werkstoff hergestellt. Das Laufen zäher Eisensorten aufeinander macht Schwierigkeiten infolge der mit der Temperatur zunehmenden Neigung zum Fressen. Durch verschiedene Härte oder noch besser verschiedenartige Baustoffe ist Abhilfe möglich.

Die Bearbeitung durch Werkzeuge wird mit steigender Härte schwieriger und muß dementsprechend mit geringerer Geschwindigkeit erfolgen. Werte dafür bietet nach Angaben der Hütte die folgende Zusammenstellung.

	Weicher Flußstahl		Maschinenstahl	
	mit gewöhnl. Werkzeugstahl m/Min.	mit Schnell- schnittstahl m/Min.	mit gewöhnl. Werkzeugstahl m/Min.	mit Schnell- schnittstahl m/Min.
Drehen	10–13	20–30	8–12	15–25
Lang- und Planfräsen	12–18	30–50	10–15	25–40
Hobeln	6–12	10–15	5–10	10–15

Gehärteter Stahl läßt sich nur noch schleifen.

C. Schweißstahl.

Der Schweißstahl hat seine frühere Bedeutung durch die Einführung der Verfahren eingeübt, die flüssigen Stahl in großen Massen zu erzeugen gestatten. Das beweisen die gewonnenen Mengen, die nur noch wenige Hundertteile des Flußstahls betragen (in Deutschland 1910 4,5%, 1920 0,65%). Die Herstellung erfolgt durch Puddeln, nur in wenigen Gegenden noch nach dem Herdfrischverfahren. Der Schweiß- oder Puddelstahl wird dabei im teigigen Zustande in inniger Berührung mit Schlacke gewonnen. Dadurch ist der unvermeidliche Gehalt an Schlacke bedingt, der sich durch die Verarbeitung zwar verringern, aber nicht völlig beseitigen läßt; er gibt den Bruchflächen eine dunklere Farbe, häufig auch ein stark sehniges Gefüge. Die Schmied- und Schweißbarkeit wird durch den Schlackengehalt günstig beeinflusst, die Festigkeit, namentlich quer zur Faserrichtung, verringert. Die höheren Herstellungskosten haben dazu geführt, daß der Schweißstahl fast nur noch zu Nieten, Schrauben, Muttern, Röhren, Ketten, Lasthaken, geschweißten Ringen, gelegentlich zu Werkzeugen und zum Verstählen durch An- oder Aufschießen benutzt wird. Beim Schneiden der Muttern ist wichtig, daß körniges Schweißstahl das Einschneiden des Gewindes durch die Bildung kurzer Späne besonders erleichtert.

Die Festigkeitseigenschaften und ihre Beeinflussung durch Kalt- und Warmbearbeitung, sowie durch höhere Wärmegrade, entsprechen im allgemeinen denen des Flußstahles. Ein Vorteil ist die geringere Empfindlichkeit gegen die Bearbeitung in der Blauhitze und gegen unvorsichtiges Abkühlen aus dem heißen Zustande.

In der folgenden Zusammenstellung sind Festigkeitszahlen und auszugweise einige Abnahmevorschriften wiedergegeben.

Zusammenstellung 28. Anforderungen an Schweißstahl.

	Fließgrenze σ_s kg/cm ²	Zugfestigkeit K kg/cm ²	Bruch- deh- nung δ %	Ein- schnü- rung ψ %	Bemerkungen
Weicher Schweißstahl	1800–2600	3000–4200	20–12	55–40	Neben den Zugversuch- werden Schmiede-, Bie- ge- und Lochversuche verlangt. Außerdem Kaltbiege-, Stauch- u. Lochversuche
Vorschriften für Land- und Schiffs- dampfkessel:					
a) Feuerblech, parallel zur Faser		$\geq 3600 < 4000$	≥ 20		
senkrecht zur Faser		$\geq 3400 < 4000$	≥ 15		
b) Bördelblech, parallel zur Faser		$\geq 3500 < 4000$	≥ 15		
senkrecht zur Faser		$\geq 3300 < 4000$	≥ 12		
c) Nieteisen, Anker, Stehbolzen .		3500–4000	≥ 20		

Die Dehnungszahl ist etwa $\alpha = \frac{1}{2000000}$, die Schubzahl $\beta = \frac{1}{770000}$ cm²/kg.

Drehfestigkeitsversuche ergaben nach Bach $K_d \approx 1 \dots 1,15 K_z$, während das Verhältnis der Spannungen an den Fließgrenzen $\frac{\tau_s}{\sigma_s}$,

an weichem Schweißstahl 0,79,

an härterem Schweißstahl 0,57,

an einem durch Ziehen verdichteten Stahl nur 0,49 betrug.

Bei Schlagbiegeversuchen fand Kaiser [II, 14] eine geringere und langsamere Abnahme der Kerbzähigkeit bei niedrigen Wärmegraden als an Flußstahl, was für Teile, die plötzlichen Beanspruchungen in der Kälte ausgesetzt sind, wie Ketten, Eisenbahnkupplungen usw. wichtig sein kann. Ein Schweißstahl von etwa 3790 kg/cm² Festigkeit und 25,3 % Dehnung zeigte

	bei normaler Temperatur 16,2 mkg/cm ² ,
bei —20°	9,3 „
bei —85°	1,4 „ Kerbzähigkeit.

D. Stahlguß.

Unter Stahlguß oder Stahlformguß versteht man durch Gießen in Gebrauchsform gebrachten, ohne weitere Nachbehandlung schmiedbaren Flußstahl. Vielfach vergießt man den Stahl unmittelbar nach seiner Herstellung in den Siemens-Martinöfen, den Thomas- und den Bessemerbirnen; im übrigen dienen zum Einschmelzen Tiegel und elektrische Öfen. Unberechtigt und falsch ist es, die Bezeichnung Stahlguß auf Gußeißen, das durch Zusetzen von Schmiedeeisenabfällen oder -spänen verbessert ist, oder auf solche Gußstücke anzuwenden, die durch Tempern in einen schmiedbaren Zustand gebracht wurden.

Durch das starke Schwinden, das im Mittel 2% beträgt, ist die besondere Beachtung aller Regeln zur Verminderung von Spannungen, Blasen- und Lunkerbildungen (s. Abschnitt 3, III A 2), durch die hohen Schmelztemperaturen des Stahls die sorgfältige Herstellung der Formen aus feuerfestem Stoff und das gute Trocknen derselben geboten. Fehler in diesen Beziehungen machen sich häufig sehr stark und ungünstig geltend, so daß man in der Güte der Stahlgußstücke in hohem Maße von dem herstellenden Werke abhängig ist.

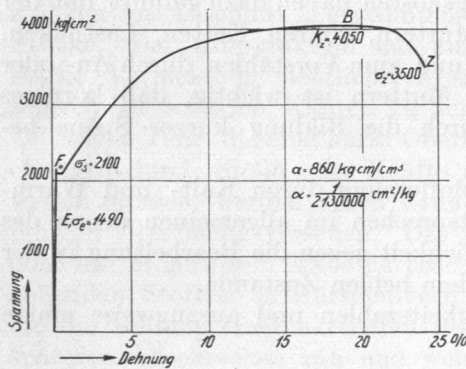


Abb. 103. Spannungs-Dehnungslinie bei einem Zugversuch an weichem Stahlguß.

Zur Beseitigung der Gußspannungen werden die Stücke gut ausgeglüht und danach ganz langsam abgekühlt.

Die Nebenbestandteile haben ähnlichen Einfluß wie im Flußstahl; schädlich sind namentlich Phosphor und Schwefel.

Das Einheitsgewicht kann im Durchschnitt mit 7,85 kg/dm³ in Übereinstimmung mit DIN 1681 angenommen werden:

Die Erscheinungen bei Zugversuchen entsprechen den an Flußstahl zu beobachtenden. In Abb. 103 ist das an einem weichen, zähen Stahlgußstabe gewonnene Schaubild wiedergegeben, vgl. hierzu etwa Abb. 97. An unbearbeiteten Proben vermindert die spröde Gußhaut die Dehnung wesentlich, oft bis auf die Hälfte.

Die Elastizitätszahl ist $\alpha = \frac{1}{2000000} \cdots \frac{1}{2150000}$, die Schubziffer $\beta \approx \frac{1}{830000} \cdots \frac{1}{850000}$ cm²/kg.

Höhere Wärmegrade wirken nach den Versuchen von Rudeloff [II, 15], Abb. 104, (dünne Linien) und Bach [II, 16] (starke Linien) ebenfalls bis zu etwa 300° auf eine Steigerung der Bruchfestigkeit hin, wenn auch nicht in dem hohen Maße wie bei Flußstahl, Abb. 100—102. Die Spannung an der Streckgrenze nimmt, wie dort, mit steigenden Wärmegraden fast stetig ab.

Gegenüber Stößen und Schlägen zeigt sich Stahlguß beim Pendelschlagversuch als ein empfindlicher und wenig gleichmäßiger Werkstoff [II, 8]. In Abb. 105 sind die Ergebnisse von Zug- und Kerbschlagversuchen an 18 Stahlgußsorten, nach der bei Zugversuchen gefundenen Dehnung geordnet, dargestellt. Die an ein und derselben Sorte erhaltenen

Zahlen sind übereinander auf derselben Senkrechten aufgetragen. Der ausgezogene Linienzug gibt die Zugfestigkeit wieder, der strich-punktierte, zwischen 4 und rund 20 kgm/cm² hin- und herspringende, die sehr stark schwankende Kerbzähigkeit.

Die DIN 1681 unterscheidet die folgenden Güteklassen (wegen der Bezeichnung vgl. S. 80):

Zusammenstellung 29. Anforderungen an Stahlguß nach DIN 1681 (Auszug).

Güteklasse Bezeichnung	Mindest- zugfestig- keit K_z kg/mm ²	Bruchdeh- nung δ_5 mindest. %	Magnetische Induktion mindestens AW/cm			Bemerkungen
			25	50	100	
Stg 38.81	38	20	—	—	—	Nur für Elektromaschinenbau
Stg 38.81 D	38	20	14500	16000	17500	
Stg 45.81	45	16	—	—	—	Nur für Elektromaschinenbau { Für Lokomotiv- und Wagenbau, nach { Vorschrift der deutschen Reichsbahn
Stg 45.81 D	45	16	14500	16000	17500	
Stg 50.81 R	50	16	—	—	—	
Stg 52.81	52	12	—	—	—	
Stg 60.81	60	8	—	—	—	

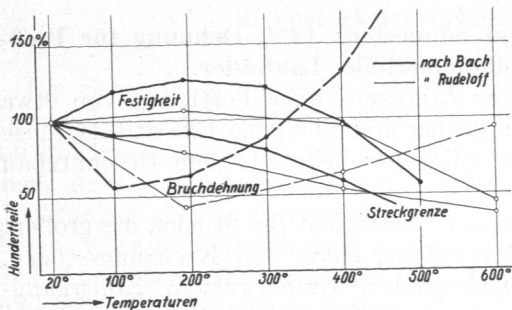


Abb. 104. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit von Stahlguß (Bach, Rudeloff).

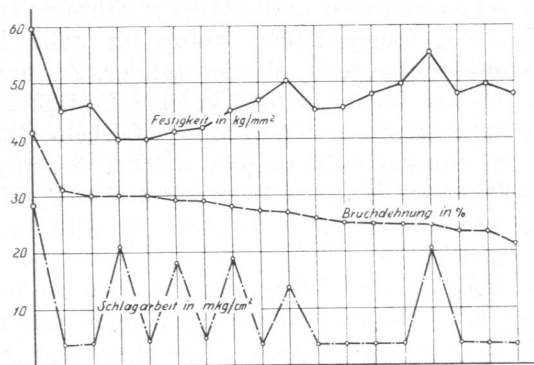


Abb. 105. Kerbschlagversuche an Stahlguß (Ehrensberger).

Der Stahlguß für den Schiffbau unterliegt Sonderbestimmungen.

Stahlgußstücke dürfen keine Gußfehler haben, welche die Verwendbarkeit und Bearbeitbarkeit der Stücke beeinträchtigen. Solche Gußfehler dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Bestellers geflickt oder verdeckt werden.

Probestücke zur Ermittlung der Festigkeitswerte sind an den Stücken selbst anzugießen. Nur wenn das Angießen aus gießtechnischen Gründen ausgeschlossen ist, sollen nach vorheriger Vereinbarung mit dem Besteller lose, aus der gleichen Schmelzung gegossene Proben benutzt werden.

Von Stahlformgußteilen für Eisenbauwerke verlangt die DIN 1000, daß sie keine Blasen oder Poren haben, die die Verwendbarkeit der Stücke beeinträchtigen. Sie müssen, nachdem sie mindestens aus dem Groben geputzt sind, vor Entnahme der Proben gut ausgeglüht werden. Die Proben sind möglichst gleichmäßig auf die verschiedenen Modelle verteilt, an den Gußstücken anzugießen und dürfen erst nach der Abstempelung abgetrennt werden.

Zerreißproben sollen eine Festigkeit von 6500 bis 6000 kg/cm² bei einer Dehnung von mindestens 10% ergeben.

Die Stahlgießereien pflegen ihre Ergebnisse je nach dem Zweck mit verschiedenen Festigkeitseigenschaften zu liefern. So geben die Gelsenkirchener Gußstahl- und Eisenwerke, vorm. Munscheid & Co. an, daß sie sich nach folgender Aufstellung richten, wenn ihnen die Wahl überlassen bleibt:

3600 bis 4000 kg/cm² Festigkeit bei mindestens 20% Dehnung für Dynamomaschinen-teile, von denen hohe magnetische Eigenschaften verlangt werden.

4000 bis 5000 kg/cm² Festigkeit bei 20 bis 15⁰/₁₀ Dehnung für Maschinenteile, die einem Verschleiß nicht unterworfen sind.

5000 bis 6000 kg/cm² Festigkeit bei 15 bis 10⁰/₁₀ Dehnung für Maschinenteile, die einem Verschleiß unterliegen, wie Zahnräder, Kammwalzen, Kupplungen, Bremsscheiben, Seilscheiben, Laufrollen, Gleitkörper u. dgl.

7000 kg/cm² Festigkeit und mehr für Teile des Hartzerkleinerungsfaches, wie Brechbacken, Mahlringe, Mahlbahnen, Walzenringe u. dgl.

Krupp unterscheidet in ähnlicher Weise:

A. Formguß für Dynamomaschinen, Motoren, Magnetgestelle und Polschuhe.

B. Formguß für den Schiffbau, Schiffsmaschinenbau, Lokomotiv-, Wagen- und allgemeinen Maschinenbau, in drei den Vorschriften der preußischen Staatsbahn und deutschen Marine entsprechenden Sorten:

a) Stahlguß von 3700 bis 4400 kg/cm² Festigkeit und mindestens 20⁰/₁₀ Dehnung für Radsterne, Lokomotiv- und Schiffsmaschinenteile, Steven- und Ruderrahmen;

b) von 4000 bis 5500 kg/cm² Festigkeit und mindestens 18⁰/₁₀ Dehnung für Steven, Ruderrahmen, Schiffsschrauben, Schiffsmaschinenkolben und -zylinderdeckel, Schiffsmaschinenrahmen und -ständer, Turbinentrommeln, Preßzylinder, Kolben, Kreuzköpfe, Kurbeln, Lagerschalen, Rohre für hohe Temperatur und hohen Druck, Windkessel, Dampfhammerteile, Walzenständer, Zahnräder;

c) von 5000 bis 6500 kg/cm² Festigkeit und mindestens 12⁰/₁₀ Dehnung für Preßzylinder, Kolben, Kreuzköpfe, Kurbeln, Dampfhammerteile, Laufräder.

C. Spezialstahlformguß, welcher neben großer Zähigkeit, hohe Festigkeit von etwa 6000 kg/cm² bei 18⁰/₁₀ Dehnung und 55⁰/₁₀ Einschnürung und eine hohe Elastizitätsgrenze bei etwa 4000 kg/cm² besitzt. Er wird hauptsächlich für Teile aus dem Geschützbau verwendet.

D. Harter Stahlformguß mit 5000 bis 7000 kg/cm² Festigkeit für Stücke, die großem Verschleiß unterliegen, wie Scheiben- und Speichenräder, Herz- und Kreuzungsstücke, Zahnräder und Ritzel, Schnecken und Schneckenräder, Kammwalzen, Kollergangringe usw.

E. Hartstahlformguß. Dieser Manganstahl hat im Gegensatz zum Hartguß sehr große Zähigkeit und Bruchsicherheit, kann aber nur durch Schleifen bearbeitet werden und ist für Stücke, die starkem Verschleiß unterworfen sind, wie Brechbacken, Kollergangringe usw. geeignet.

Die Bearbeitungsbedingungen des Stahlgusses sind ähnliche wie die des Flußstahls; mit der Härte nehmen die Schwierigkeiten zu. Weicher Stahlguß läßt sich kalt hämmern und biegen.

E. Gußeisen.

1. Einteilung der Gußeisensorten und Einheitsgewicht.

Gußeisen wird aus Roheisen allein oder mit Brucheseisen, Stahlabfällen und anderen Schmelzzusätzen erschmolzen und in Formen gegossen, jedoch keiner Nachbehandlung zwecks Schmiedbarmachung unterworfen. Gewöhnlich liegt der Gehalt an Kohlenstoff zwischen 3 und 3,6⁰/₁₀, der zum Teil chemisch gebunden, zum Teil aber als Graphit ausgeschieden ist. Je nach der Menge des letzteren unterscheidet man nach DIN 1690:

a) graues Gußeisen (Grauguß) mit reichlicher Graphitausscheidung,

b) halbgraues Gußeisen, mit geringer Graphitausscheidung,

c) weißes Gußeisen ohne oder nur mit Spuren von Graphitausscheidung,

d) Schalengußeisen (Hartguß oder Schalenguß) mit weißer Außenzone und grauem Kern.

Die meisten und namentlich die größeren Stücke des Maschinenbaues bestehen der leichteren Bearbeitbarkeit wegen aus grauem Gußeisen mit etwa 2,5 bis 2,9⁰/₁₀ Graphitgehalt.

Die Graphitbildung wird in starkem Maße durch die Abkühlungsgeschwindigkeit und den Siliziumgehalt beeinflusst, der zwischen 2,5 und 1,0% liegen und um so größer sein muß, je geringer die Wandstärke ist und je rascher die Abkühlung erfolgt. Mangan wirkt in Mengen von mehr als 1% der Ausscheidung des Kohlenstoffs entgegen. Schwefel macht schon bei geringen Beträgen das Eisen dickflüssig (Gehalt < 0,12%); dagegen erhöht Phosphor die Dünflüssigkeit, gleichzeitig aber auch die Härte und Sprödigkeit, so daß wichtige und größeren Kräften ausgesetzte Maschinenteile nicht mehr als 0,8% Phosphor enthalten sollen. Die für den jeweiligen Zweck nach Festigkeit, Härte und Bearbeitbarkeit geeignete Mischung wird durch Gattieren verschiedener Roheisensorten untereinander oder mit Gußeisenschrott, bei hohen Anforderungen mit Stahlabfällen, zweckmäßigerweise auf Grund chemischer Untersuchung der Rohstoffe hergestellt. Zum Schmelzen dienen in den meisten Fällen Kuppel-, seltener Flammöfen oder Tiegel.

Das Einheitsgewicht grauen Gußeisens liegt zwischen 7,1 und 7,25 kg/dm³, die Ausdehnungsziffer durch die Wärme bei etwa 0,0011 für je 100° C, die Schwindung an geraden Stäben zwischen 0,9 und 1,35%. Als Mittelwert kann 1% gelten, während bei der Herstellung von Modellen in Rücksicht darauf, daß sich die einzelnen Teile eines Gußstückes meist gegenseitig an der freien Schwindung hindern, 0,75% benutzt zu werden pflegt.

2. Festigkeitsverhältnisse grauen Gußeisens.

a). Zug- und Druckfestigkeit.

Die Schaulinien von Zug- und Druckversuchen an Gußeisen, Abb. 106 und 107, zeigen keine Verhältnisgleichheit zwischen Spannungen und Dehnungen, keine Elastizitäts- und Fließgrenze und ein sehr geringes Arbeitsvermögen. In den Abbildungen sind in den rechten oberen Vierteln Zugversuche, in den linken unteren Druckversuche an verschiedenen Sorten Gußeisen dargestellt, in Abb. 107 insbesondere an sieben Arten, die die Motorenfabrik Deutz laufend in ihrem Betrieb verwendet und von denen sie Proben für die Versuche dem Verfasser freundlichst zur Verfügung gestellt hatte. Die Versuche wurden unter Feinmessungen der elastischen und bleibenden Formänderungen an den Zugstäben bis zum Bruch, an den Druckproben bis 5000 kg/cm² Spannung durchgeführt. Dabei

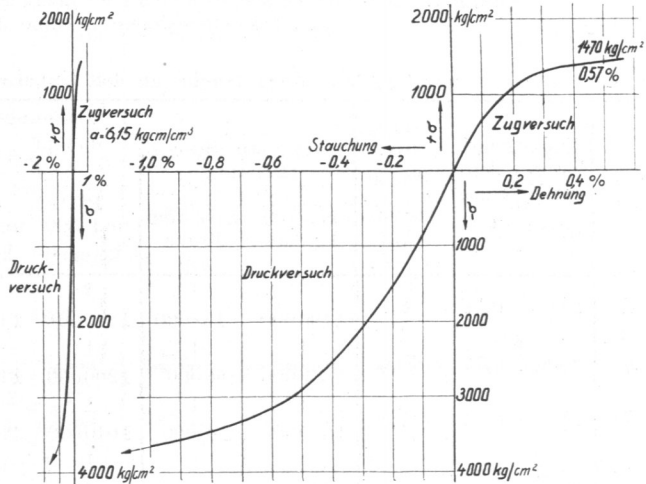


Abb. 106. Zug- und Druckversuch an Gußeisen, links vergleichshalber im gleichen Maßstabe wie Abb. 97.

hatten die Zugstäbe im zylindrischen Mittelteil rund 20 mm Durchmesser und 100 mm Meßlänge, die Druckproben 25 mm Durchmesser und 60 mm Höhe bei 50 mm Meßlänge. Alle Körper waren sorgfältig bearbeitet. Da sämtliche Druckproben bei 5000 kg/cm² Belastung standhielten, wurde zur Ergänzung die Druckfestigkeit an kleineren Stücken von 15 mm Durchmesser und 15 mm Höhe ermittelt. Die Hauptergebnisse sind in den Zusammenstellungen 30 und 31 wiedergegeben. Die Zugfestigkeit liegt zwischen 2500 und 1330 kg/cm², die zugehörige Bruchdehnung zwischen 0,73 und 0,51%. Dementsprechend ist das spezifische Arbeitsvermögen im Vergleich mit anderen Werkstoffen des Maschinenbaues sehr niedrig: 13,4 bis 7,1 kgcm/cm³, wie auch anschaulich aus der linken Nebenabbildung zu Nr. 106 hervorgeht, welche im gleichen Maßstab, wie die Abb. 97, 127 anderer Konstruktionsstoffe aufgetragen ist.

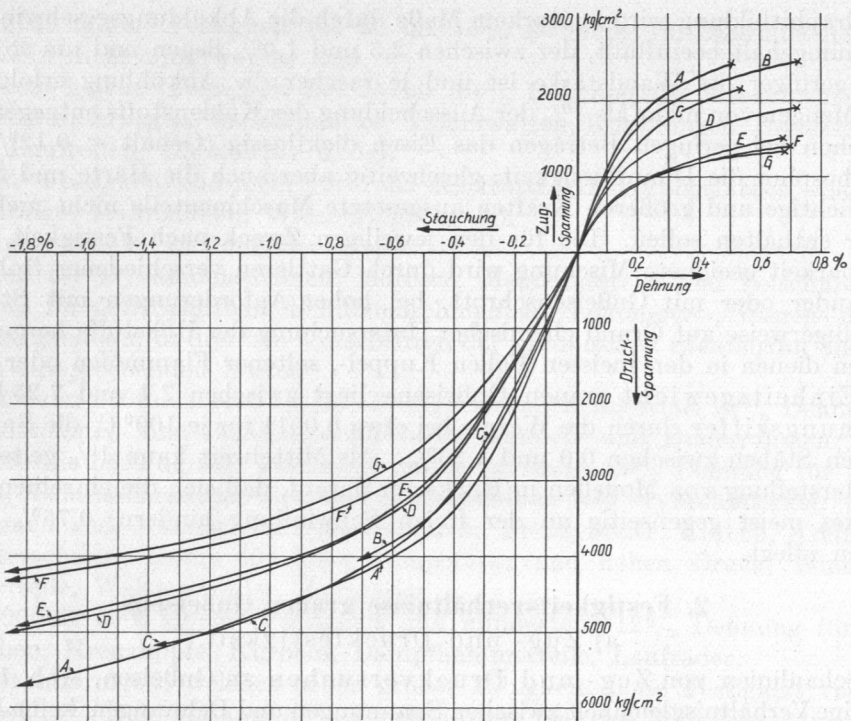


Abb. 107. Zug- und Druckversuche an 7 Gußeisensorten der Motorenfabrik Deutz. Vgl. Zusammenstellung 30 und 31 (Verfasser).

Zusammenstellung 30. Zugversuche an den Gußeisensorten A—G, Abb. 107 oben.

Sorte	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruchdehnung %	Arbeitsvermögen kg cm cm ³	Dehnungszahl α in cm ² /kg						
				bei erstmaliger Belastung		bei wiederholter Belastung zwischen				
				bei 100 kg/cm ²	nahe dem Bruch	100 und 500 kg/cm ²	100 und 1000 kg/cm ²	100 und 1500 kg/cm ²	100 und 2000 kg/cm ²	100 und 2500 kg/cm ²
A	2480	0,51	8,7	1	1	1	1	1	1	—
				1190000	138000	1235000	1181000	1076000	974000	—
B	2500	0,73	13,4	1	1	1	1	1	1	1
				1250000	60000	1200000	1102000	1000000	887000	789000
C	2110	0,53	7,6	1	1	1	1	1	1	—
				1050000	110000	1010000	900000	820000	735000	—
D	1880	0,72	9,7	1	1	1	1	1	—	—
				1240000	71000	1153000	893000	620000	—	—
E	1475	0,68	7,5	1	1	1	1	—	—	—
				565000	57000	855000	710000	100 und 1250 kg/cm ²	—	—
F	1390	0,70	7,1	1	1	1	1	—	—	—
				772000	45000	728000	507000	463000	100 und 1300 kg/cm ²	—
G	1330	0,69	7,5	1	1	1	1	1	—	—
				743000	37000	721000	560000	482000	—	—

Bei der erstmaligen Belastung treten schon unter niedrigen Spannungen bleibende Formänderungen auf. Der Bruch erfolgt plötzlich, ohne Einschnürung, zeigt hell- bis dunkelgraue Farbe und körniges Gefüge, das meist um so feiner ist, je höher die Festigkeit liegt.

Für gewöhnliches Gußeisen darf $K_z = 1100$ bis 1500 kg/cm^2 verlangt werden, bei hochwertigen Sorten steigt die Zugfestigkeit auf 2000 bis 2600 kg/cm^2 . In neuerer Zeit ist es gelungen, unter Niedrighalten des Kohlenstoffgehalts auf $2,4$ bis $2,8\%$ oder durch hohe Überhitzung des Eisens beim Gießen oder unter Vorwärmen der Formen, Zugfestigkeiten von 3000 und mehr kg/cm^2 zu erreichen.

Unbearbeitete Stäbe ergeben infolge der spröden Gußhaut um 15 bis 20% geringere Zahlen.

Der mäßigen Zugfestigkeit steht eine erheblich größere Widerstandsfähigkeit bei Inanspruchnahme auf Druck gegenüber, die bei den Sorten der Zusammenstellungen 30 und 31 das $3,8$ - bis $5,3$ fache der ersteren betrug. Dabei ist sie in starkem Maße von der Form der Probekörper, bei zylindrischer insbesondere von dem Verhältnis der Höhe zum Durchmesser abhängig, weil bei größerer Höhe Nebenbeanspruchungen auf Knickung und Biegung nicht zu vermeiden sind. An Proben mit einer Höhe gleich dem Durchmesser findet man K zwischen 6000 bis 10000 selbst bis zu 12000 kg/cm^2 .

Der Bruch erfolgt je nach der Höhe der Proben in verschiedener Weise; an niedrigen durch die Wirkung der Druckkegel oder -pyramiden, die sich auf den Endflächen bilden, an hohen durch Abgleiten längs einer schiefen Fläche.

Zusammenstellung 31. Druckversuche an den Gußeisensorten A—G, Abb. 107 unten.

Sorte	Druckfestigkeit K kg/cm^2	Stauchung bei 5000 kg/cm^2 %	Dehnungszahl α in cm^2/kg						
			bei erstmal. Belastung		bei wiederholter Belastung zwischen				
			bei 100 kg/cm^2	bei 5000 kg/cm^2	$100 \text{ u. } 1000 \text{ kg/cm}^2$	$100 \text{ u. } 2000 \text{ kg/cm}^2$	$100 \text{ u. } 3000 \text{ kg/cm}^2$	$100 \text{ u. } 4000 \text{ kg/cm}^2$	$100 \text{ u. } 5000 \text{ kg/cm}^2$
A	9540	1,23	1	1	1	1	1	1	1
			1093000	107000	1130000	1127000	1140000	1115000	1142000
B	9420	—	1	—	1	1	1	1	—
			1076000	—	953000	1000000	1027000	1029000	—
C	8930	1,29	1	1	1	1	1	1	1
			899000	143000	901000	935000	965000	1002000	1072000
D	8370	1,86	1	1	1	1	1	1	1
			848000	64000	794000	820000	827000	920000	913000
E	7810	1,9	1	1	1	1	1	—	—
			734000	93500	803000	835000	865000	—	—
F	6390	—	1	1	1	1	1	1	—
			864000	75300	841000	845000	843000	838000	—
G	6680	—	1	1	1	1	1	1	—
			761000	84000	722000	726000	793000	828000	—

Die Elastizitätszahl ist entsprechend dem gekrümmten Verlauf der Spannungsdehnungslinie bei der erstmaligen Belastung sehr stark veränderlich. Beispielweise ergab das Gußeisen D der Abb. 107 beim Zugversuch $\alpha = \frac{1}{1240000}$ bei ganz niedrigen

Spannungen, $\alpha = \frac{1}{71000}$ kurz vor dem Bruche, beim Druckversuch $\alpha = \frac{1}{848000}$ bei 100

und $\frac{1}{64000} \text{ cm}^2/\text{kg}$ bei 5000 kg/cm^2 Spannung. Diese Zahlen haben aber praktisch geringe

Bedeutung, weil sie nur für die erste, nicht aber für weitere Belastungen gelten, da das Gußeisen, nachdem es bleibende Formänderungen durch die erste Belastung angenommen hat, in einen wesentlich vollkommener elastischen Zustand übergeht. Dabei folgt die Spannung bei der Belastung nicht der gleichen Linie wie bei der Entlastung, eine Erscheinung, die man als elastische Hysteresis bezeichnet, und die sich durch verhältnismäßig große Schleifen, in Abb. 108 am Gußeisen D der oben erwähnten Versuchsreihe dargestellt, ausprägt. Der Inhalt der Schleifen ist eine Form-

Hysteresis am Gußeisen D beim Zugversuch.

Schleife Abb. 108	Belastungsstufe kg/cm ²	Form- änderungsarbeit kgcm/cm ³
a	100 — 500	0,006
b	100 — 1000	0,052
c	100 — 1500	0,22

änderungsarbeit, die bei jedem vollen Spannungskreislauf von neuem aufgebracht werden muß.

Der Zugstab wurde in Stufen zwischen 100 und 500, 1000 und 1500 kg/cm² belastet. Die dabei erhaltenen Schleifen a, b und c wachsen mit steigendem Spannungsunterschied und ergeben die nebenstehenden Formänderungsarbeiten.

Beim Druckversuch an dem gleichen Gußeisen werden die Erscheinungen noch viel deutlicher, wie im linken unteren Viertel der Abb. 108 an fünf Spannungsstufen zwischen 100 und 500, 1000, 2000, 3000 und 4000 kg/cm² dargestellt ist.

Hysteresis am Gußeisen D beim Druckversuch.

Schleife Abb. 108	Belastungs- stufe kg/cm ²	Formänderungsarbeit bei der	
		ersten Belastung kgcm/cm ³	zweiten Belastung kgcm/cm ³
d	100 — 500	0,005	—
e	100 — 1000	0,036	—
f	100 — 2000	0,214	—
g	100 — 3000	0,609	—
h	100 — 4000	1,51	—
i	100 — 4000	—	1,40

Wiederholte Belastung in ein und derselben Stufe, Schleifen h und i, zeigt, daß sich die Schleifen unter zunehmenden bleibenden Formänderungen verschieben und daß ihr Flächeninhalt und damit die Formänderungsarbeit, wie nebenstehend, kleiner wird.

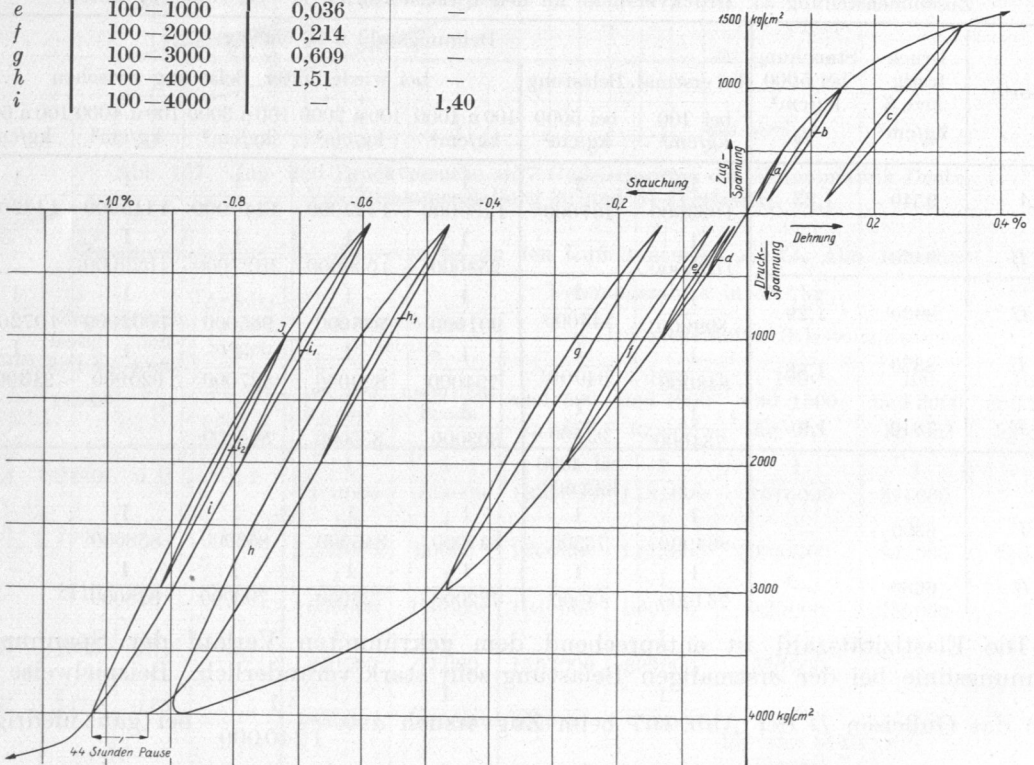


Abb. 108. Hysteresis am Gußeisen D der Zusammenstellungen 30 und 31 (Verfasser).

Bei einem Druckversuch an einem anderen, schon wiederholt belasteten Gußeisen, fanden sich die Zahlen:

Belastungsstufe kg/cm ²	Formänderungsarbeit nach häufiger Belastung kgcm/cm ³
100 — 600	0,010
100 — 900	0,0262
100 — 1200	0,0437

Betrachtet man die einzelne, bei einer Be- und Entlastung entstehende Schleife, so setzt sie sich zusammen aus einer schwach gekrümmten Linie bei der Stauchung bzw. während des Wiederzusammenziehens und einer wesentlich stärker gekrümmten bei der Reckung bzw.

während des Wiederausdehnens der Proben. Bei größeren Spannungsstufen und an

weichen Gußeisensorten tritt diese besondere Form allerdings zurück; beide Linien krümmen sich ungefähr in dem gleichen Maße und lassen die Schleifen annähernd symmetrisch zu ihrer Mittellinie werden.

Bemerkenswert ist nun, daß die für die praktische Berechnung von Formänderungen an gußeisernen Teilen maßgebenden Dehnungszahlen, wie sie durch die mittlere Neigung der Schleifen gegeben sind, in wesentlich engeren Grenzen schwanken, als die bei der erstmaligen Belastung des Gußeisens gefundenen. Sie sind für die sieben verschiedenen Gußeisensorten in den letzten Spalten der Zusammenstellungen 30 und 31 aufgeführt und entsprechen dem oben erwähnten wesentlich vollkommener elastischen Zustände bei wiederholter Belastung. Bei den Sorten *A* und *B* von hoher Festigkeit ändern sie sich, namentlich bei Inanspruchnahme auf Druck nur noch in geringem Maße und dürfen durch einen Durchschnittswert für alle Spannungen ersetzt werden. (Bei Beanspruchung auf Druck $\frac{1}{1150000}$ cm²/kg am Gußeisen *A*, $\frac{1}{1000000}$ am Gußeisen *B*.)

War das Gußeisen hoch vorbeanspruchert, wie im Falle der Abb. 108 nach Durchlaufen der Schleifen *h* und *i*, und wird es nun innerhalb engerer Grenzen z. B. nach den Schleifen *h*₁ und *i*₁ zwischen 100 und 2000 kg/cm² belastet, so folgen die Belastungslinien genau denjenigen der Schleifen *h* und *i*. Der Schleifeninhalt ist jedoch kleiner als der der Schleife *f* bei der erstmaligen Belastung zwischen 100 und 2000 kg/cm².

Gußeisen D.

Schleife Abb. 108	Belastungs- stufe kg/cm ²	Form- änderungsarbeit kgem/cm ³
<i>h</i> ₁	100–2000	0,161
<i>i</i> ₁	100–2000	0,176
<i>i</i> ₂	1000–3000	0,152
<i>f</i>	100–2000	0,214

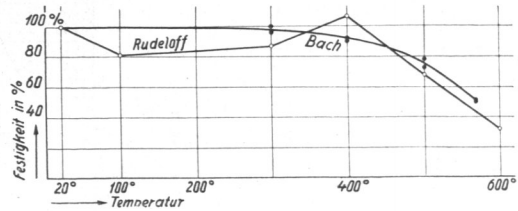


Abb. 109. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit von Gußeisen (Bach, Rudeloff).

Schließlich zeigt die Schleife *i*₂ noch, daß das Gußeisen, wenn es beim Entlasten auf 1000 kg/cm² im Punkte *J* wieder bis zu 3000 kg/cm² belastet wird, die bleibende Formänderung, die dem Punkte *J* entspricht, beibehält und daß sich nun eine kleinere Hysteresisschleife mit etwa der gleichen Neigung wie *i*₁ unter Ablösung von der Entlastungslinie ausbildet.

Bei Untersuchungen über den Einfluß höherer Wärmegrade fand Bach [II, 17] an hochwertigem Gußeisen erst bei mehr als 300° eine wesentliche Abnahme der Zugfestigkeit, während Rudeloff [II, 15] allerdings unter Ausführung nur je eines Versuchs, eine sehr ungleichartige Wirkung höherer Temperaturen festgestellt hat. Die Zahlenwerte sind in der folgenden Zusammenstellung enthalten; Abb. 109 gibt eine Vorstellung über das Verhältnis der Festigkeit bei *t*⁰ zu der bei 20°, welche letztere = 100% gesetzt ist.

Zusammenstellung 32. Zugfestigkeit von zwei Gußeisensorten in Abhängigkeit von der Temperatur nach Bach und Rudeloff.

Temperatur <i>t</i> ⁰ C	~ 20	100	300	400	500	570	600°
Zugfestigkeit <i>K</i> _z , im Mittel aus 2 Versuchen, Kleinster Wert von <i>K</i> _z } Bach	2362	—	2335	2177	1793	1230	— kg/cm ²
	2331	—	2301	2172	1729	1223	— kg/cm ²
	100	—	99	92	76	52	— %
	1300	1050	1140	1390	880	—	430 kg/cm ²
Verhältnis der Festigkeit bei <i>t</i> ⁰ zu der bei 20° in Hundertteilen } Rudeloff	100	81	88	107	68	—	33 %

b) Biegefestigkeit.

Gußeisen ergibt, wie schon in Abschnitt 1 kurz erwähnt, bei Biegeversuchen stets größere Werte für die nach der üblichen Formel $K_b = \frac{M_b}{W}$ berechnete Biegefestigkeit,

als seine Zugfestigkeit K_z erwarten läßt. Die Erscheinung erklärt sich, wie Bach zuerst gezeigt hat, aus der Veränderlichkeit der Dehnungszahl mit der Spannung, und zwar aus der dadurch bedingten wirklichen Spannungsverteilung im Augenblick des Bruches nach der gekrümmten Linie ABC , Abb. 110, sowie der Verschiebung der Nulllinie aus der Schwerachse S nach B , und aus der höheren Widerstandsfähigkeit des Gußeisens gegenüber Druck als gegen Zug. Abb. 110 bezieht sich auf den schon auf Seite 35 erwähnten Gußeisenstab von $80 \cdot 80$ mm Querschnitt und $l = 1$ m Stützlänge, der bei einer in der Mitte wirkenden Belastung von $P = 7380$ kg brach. Zugversuche aus den Stabenden wiesen im Durchschnitt eine Zugfestigkeit von $K_z = 1315$ kg/cm² nach. Voraussetzung für die Spannungsverteilung ABC ist:

1. daß die Querschnitte bei der Biegung des Stabes dauernd eben bleiben, eine Annahme, die durch anderweitige Untersuchungen gut begründet erscheint,
2. daß sich die auf Zug und Druck beanspruchten Fasern beim Biegeversuch in gleicher Weise wie beim Zug- und Druckversuch dehnen,

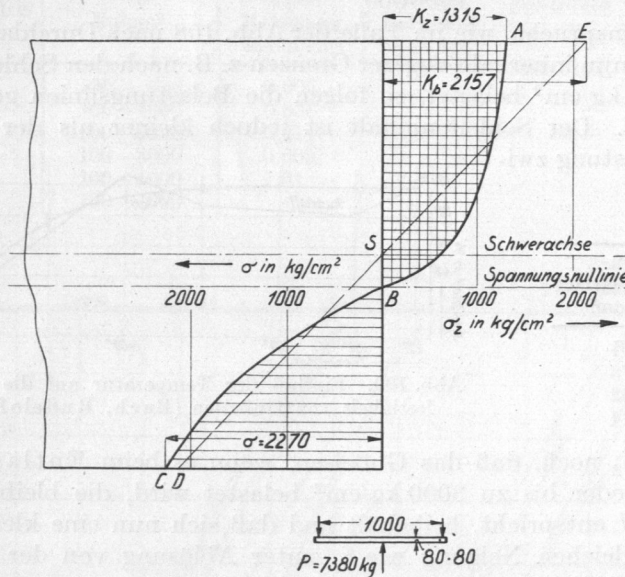


Abb. 110. Spannungsverteilung in einem auf Biegung beanspruchten Gußeisenstabe rechteckigen Querschnitts im Augenblick des Bruches (nach Bach).

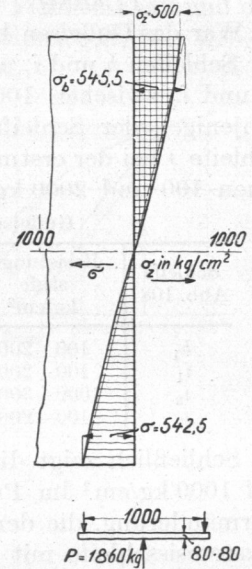


Abb. 111. Spannungsverteilung bei 1860 kg Belastung.

3. daß die größten Zugspannungen beim Zug- und Biegeversuch gleich groß (im betrachteten Falle 1315 kg/cm²) sind und daß daher die Zugfestigkeit für die Einleitung des Bruches maßgebend ist.

Dagegen setzt die Formel $K_b = \frac{M_b}{W}$ die geradlinige Zunahme der Spannungen nach der gestrichelten Linie DSE voraus und läßt die Zugspannung bedeutend überschätzen. So wird am vorliegenden Stabe

$$K_b = \frac{M_b}{W} = \frac{7380 \cdot 100}{4 \cdot 8^3} \cdot 6 = 2157 \text{ kg/cm}^2,$$

d. i. 1,64mal so groß wie die Zugfestigkeit. Die Verschiebung der Nulllinie beträgt 6,2 mm. Über die Herleitung der Spannungsverteilung vgl. [II, 18].

Die im Augenblick des Bruches vorhandenen großen Abweichungen gegenüber der Theorie werden aber um so geringer, je niedriger die Spannungen sind. Die Spannungsverteilungslinie nähert sich dann mehr und mehr einer Geraden, während die Nulllinie an den Schwerpunkt heranrückt, so daß die Formel in den im Maschinenbau üblichen Grenzen, namentlich unter Beachtung der Ungleichmäßigkeit des Gußeisens selbst, vollständig genügend genaue Werte für die auftretenden Spannungen liefert. Abb. 111 zeigt

das an dem gleichen Gußeisenstabe bei 1860 kg Belastung, also bei rund vierfacher Sicherheit gegen Bruch. Während die rechnermäßige Biegespannung

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{1860 \cdot 100 \cdot 6}{4 \cdot 8^3} = \pm 545,5 \text{ kg/cm}^2$$

ist, wird die wirkliche, auf Grund des Zug- und des Druckversuchs an dem verwandten Gußeisen ermittelte + 500 kg/cm² auf der Zug- und - 542,5 kg/cm² auf der Druckseite des Stabes. Der Nullpunkt fällt praktisch mit dem Schwerpunkt zusammen.

Abb. 110 zeigt ferner, daß die mittleren Fasern des Querschnittes günstiger ausgenutzt werden, als nach der geradlinigen Spannungsverteilung zu erwarten ist. Hierin liegt die Begründung für die Tatsache, daß die Biegefestigkeit gußeiserner Stäbe von der Querschnittform abhängig ist [II, 18]. Und zwar überschreitet die Biegefestigkeit K_b nach den im folgenden zusammengestellten, von Bach gefundenen Zahlenwerten die Zugfestigkeit K_z um so mehr, je stärker der Stoff nach der Nullachse hin zusammengedrängt ist.

Zusammenstellung 33. Biegefestigkeit von Gußeisen in Abhängigkeit von der Querschnittform (Bach).

Querschnittform	Maße mm	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Biegefestigkeit K_b kg/cm ²	$\frac{K_b}{K_z}$	$\mu_0 \sqrt{\frac{e}{z_0}}$	Bemerkungen
		1369	1979	1,45	1,43	Bearbeitet
		1595	2254	1,41	—	„
		1595	2026	1,27	—	Biegestab unbearbeitet
		1369	2081	1,52	1,49	„
		1369	2076	1,52	1,49	Schmäler Flansch zerrissen, breiter unverletzt
		1369	2395	1,75	1,70	Bearbeitet
	30 □	1369	2372	1,73	1,70	Bearbeitet
	30 □	1418	2539	1,78		„
	30 □	1595	2765	1,73	1,41	„
	30 □	2394	4315	1,80		Biegestäbe unbearbeitet
	30 □	2331	4435	1,90		„
	40 □	1595	2295	1,44		„
32 □	1595	2390	1,50	„		
	30 ∅	1369	2905	2,12	2,05	Bearbeitet
	36 ∅	1848	4139	2,24		„
		1369	2929	2,14	2,06	„
		1369	3218	2,35	2,31	„
		1310	2114	1,61	1,40	Biegestab unbearbeitet

Als Beziehung zwischen K_z und K_b gibt Bach

$$K_b = \mu_0 \sqrt{\frac{e}{z_0}} \cdot K_z \quad (82)$$

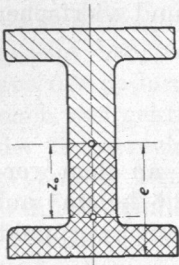


Abb. 112.

an, wobei $\mu_0 = 1,2$ für Querschnitte gilt, welche parallel zur Nullachse durch eine wagrechte Gerade begrenzt sind, während $\mu_0 = 1,33$ ist, wenn nur eine einzige Faser am stärksten gespannt, beide Male aber das Gußeisen bearbeitet ist. μ_0 beträgt 1 bzw. 1,1, wenn die Gußhaut noch vorhanden ist. e bedeutet den Abstand der äußersten, auf Zug beanspruchten Faser, z_0 nach Abb. 112 den Abstand des Schwerpunktes des auf derselben Seite der Schwerlinie gelegenen Teils der Querschnittfläche.

Die Zugfestigkeit ist durchweg an bearbeiteten Proben ermittelt. Die Biegeversuche an den Stäben quadratischen und I-förmigen Querschnitts lassen dadurch, daß sie teils bearbeitet, teils unbearbeitet waren, einen Schluß auf den Einfluß der Gußhaut zu. Durch die größere Sprödigkeit der äußeren Schicht, vielleicht auch durch vermehrte Gußspannungen wird die Biegefestigkeit im Mittel auf 83% von derjenigen bearbeiteter Stäbe herabgesetzt.

Erheblichen Einfluß auf die Biegefestigkeit hat die Stützweite im Verhältnis zur Höhe des Querschnitts. Kurze Stäbe ergeben größere Bruchspannungen, so daß die Fehler bei der Berechnung nach der einfachen Formel $K_b = \frac{M_b}{W}$ zunehmen. Wawrziniok fand bei Versuchen an Stäben von 30 · 30 mm Querschnitt aus Gußeisen von $K_z = 1415 \text{ kg/cm}^2$ Zugfestigkeit im Mittel aus je fünf Versuchen folgende Zahlen [II, 41]:

Stützweite mm	Biegefestigkeit K_b kg/cm ²	Zunahme %
1000	2300	—
500	2400	4,3
300	2590	12,6
200	2630	14,4

c) Drehfestigkeit.

Auch gegenüber Drehmomenten zeigt sich die Widerstandsfähigkeit des Gußeisens in starkem Maße von der Querschnittform abhängig. Die folgende Zusammenstellung bezieht sich auf eine Versuchsreihe Bachs an Gußeisen von $K_z = 1579 \text{ kg/cm}^2$ Zugfestigkeit [II, 19]. Nach derselben ist das theoretisch zu erwartende Verhältnis der Drehfestigkeit zur Zugfestigkeit von 0,8 nur für den Kreisringquerschnitt zutreffend. Die Querschnittformen 1 bis 6 zeigen wesentlich größere Widerstandsfähigkeit. Bei den L und I-Querschnitten Nr. 9 bis 13 ist zu bemerken, daß der Bruch an ihnen durch Einreißen der Flansche eingeleitet wurde, daß sie aber trotz dieser Schwächung durch den Anriß weitersteigende Drehmomente aushielten und annähernd rechteckigen Querschnitten mit der mittleren Wandstärke als Breite und der Summe der Steghöhe h und der Flanschbreiten b_0 als Höhe gleichwertig sind, wie es die Formeln der Zusammenstellung zeigen. Dabei dürfen allerdings die Flanschbreiten im Verhältnis zur Steghöhe nicht zu groß sein. Der Kreuzquerschnitt Nr. 14 kann entsprechend als Rechteck mit den Seitenlängen s und $2h - s$ aufgefaßt werden. Die Gußhaut hat geringen Einfluß. Die Abbildungen sind zwar nicht in gleichem Maßstabe, wohl aber den Querschnitten geometrisch ähnlich gezeichnet. U bedeutet unbearbeitet, B bearbeitet.

Wie bei der Inanspruchnahme auf Zug, Druck und Biegung zeigt Gußeisen auch bei derjenigen auf Verdrehung keine Verhältnismäßigkeit zwischen Spannungen und Formänderungen; die Gleitzyiffer nimmt von $\beta = \frac{1}{400000}$ bei niedrigen Spannungen auf

$\frac{1}{290000} \text{ cm}^2/\text{kg}$ bei hohen zu.

Zusammenstellung 34. Drehfestigkeit von Gußeisen in Abhängigkeit von der Querschnittform (Bach).

Lfd. Nr.	Querschnittform cm	Bearbeitungs- zustand	Ver- suchs- zahl	Querschnittabmessungen cm	Bruchspannung K_a kg/cm ²	$\frac{K_a}{K_z}$
1		U	4	3,15 · 3,20	$K_a = 4,5 \frac{M_a}{b^2 h} = 2228$	1,42
2		U	4	3,13 · 7,82	„ „ = 2529	1,60
3		U	4	3,08 · 15,07	„ „ = 2366	1,50
4		U	3	1,66 · 15,13	„ „ = 2508	1,59
5		U	3	10,23 Ø	$K_a = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{M_a}{d^3} = 1618$	1,02
6		B	1	9,6 Ø	„ „ 1655	1,05
7		U	3	$d_a = 10,2 \text{ Ø}, d_i = 6,97 \text{ Ø}$	$K_a = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{M_a}{d_a^4 - d_i^4} \cdot d_a = 1297$	0,82
8		U	4	$a = 6,21, a_0 = 3,16$	$K_a = 4,5 \frac{M_a}{a^4 - a_0^4} \cdot a = 1788$	1,13
9		U	3	$h = 15,1, b_0 = 8,6, s = 1,7$	$K_a = 4,5 \frac{M_a}{s^2 (h + 2b_0)} = 1800$	1,14
10		U	3	$h = 15,2, b_0 = 3,5, s = 1,7$	„ „ = 1890	1,20
11		U	3	$h = 15,2, b_0 = 8,6, s = 1,6$	„ „ = 2770	1,75
12		U	3	$h = 15,1, b_0 = 3,4, s = 1,7$	„ „ = 2480	1,57
13		U	1	$h = 15,1, b_0 = 0,9, s = 1,8$	„ „ = 2650	1,68
14		U	2	$h = 15,1, s = 2,1$	$K_a = 4,5 \frac{M_a}{s^2 (2h - s)} = 2587$	1,64

3. Anforderungen an Gußeisen.

Zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften dient an Stelle des Zugversuchs meist der Biegeversuch, weil er rascher und leichter durchzuführen ist, und weil er der

Verwendung des Gußeisens besser entspricht, das selten zur Übertragung von Zugkräften, häufig dagegen zur Aufnahme von Biegemomenten benutzt wird. Vgl. die Ausführungen und Zahlen auf S. 66.

An Eisenbauwerken schreibt die DIN 1000 bezüglich der Festigkeit von Gußeisenstücken vor, daß ein Normalbiegestab von 30 mm Durchmesser und 600 mm Stützlänge eine allmählich bis zu 460 kg zunehmende Belastung in der Mitte muß aufnehmen können, bevor er bricht. Die Durchbiegung soll hierbei mindestens 6 mm betragen.

4. Verwendung und Bearbeitung des Gußeisens.

Der niedrige Preis und die leichte Schmelz- und Gießbarkeit des Gußeisens bei rund 1200° bedingen die weitgehende Anwendung desselben im Maschinenbau zu Gußstücken aller Art: Röhren für niedrigen und mittleren Druck, Ventilen und Schiebern, Säulen, Kupplungen, Riemen- und Seilscheiben, Schwungrädern für mäßige Geschwindigkeiten usw. Wie die Ausführungen über die Festigkeitsverhältnisse zeigten, ist es besonders zur Aufnahme von Druckkräften und Biegemomenten geeignet. Hierauf beruht seine Benutzung zu Maschinenrahmen und -ständern, Werkzeugmaschinenbetten, Lagerkörpern und -deckeln, Konsolen, Zahnrädern u. a. m. Auch eignet es sich infolge seiner geringen Neigung zum Fressen gut als Werkstoff an Laufflächen, solange der Flächendruck gering gehalten werden kann. (Schalen von Triebwerklagern, Lager an Werkzeugmaschinen und Hebezeugen, Exzentrerscheiben und -bügel.) Selbst bei höheren Wärmegraden läuft Gußeisen auf Gußeisen gut; daher seine Verwendung zu Zylindern, Kolben und Kolbenringen für Dampf- und Gasmaschinen, für Kompressoren, Pumpen usw. Man pflegt dabei ein etwas weiches auf einem harten Gußeisen laufen zu lassen, um die Abnutzung auf den weicheren, wenn möglich, den leicht auswechselbaren Teil zu beschränken (weiche Kolbenringe in harten Zylindern).

Ungeeignet ist Gußeisen wegen seiner geringen Zugfestigkeit zur Übertragung größerer Zug- oder wechselnder Kräfte und wegen seiner geringen Arbeitsfähigkeit und der daraus folgenden Sprödigkeit zur Aufnahme starker Stöße.

Die Widerstandsfähigkeit des Gußeisens gegenüber gewissen Säuren, namentlich konzentrierter Schwefelsäure, aber auch gegenüber manchen organischen läßt es zu Rohrleitungen und zahlreichen Apparaten der chemischen Großindustrie Verwendung finden. Für Schmelzkessel, die mit Feuergasen in unmittelbare Berührung kommen, wird ein Zusatz von 0,5 bis 1% Nickel empfohlen, das aber schwierig gleichmäßig zu legieren ist.

Für chemische Betriebe ist das gegen Schwefel- und Salpetersäure jeder Konzentration widerstandsfähige Siliziumeisen, ein freilich spröder und schwierig zu bearbeitender Werkstoff, wichtig.

Die Bearbeitung des Gußeisens richtiger Zusammensetzung ist auf Werkzeugmaschinen leicht. Es liefert kurze, körnige Späne und kann trocken nach dem Taschenbuch der Hütte mit folgenden Schnittgeschwindigkeiten bearbeitet werden.

	Mit gewöhl. Stahl m/Min.	Mit Schnellstahl m/Min.
Drehen	6—12	15—20
Lang- und Planfräsen . .	10—15	25—40
Hobeln	5—10	10—15

Die kleineren Werte gelten für Stücke mit Gußhaut, die größeren nach Entfernung derselben.

F. Hartguß, Schalenguß.

Bei sehr raschem Abkühlen von Gußeisen geeigneter Zusammensetzung scheidet sich der Kohlenstoff nicht als Graphit aus, sondern bleibt chemisch gebunden und verleiht dem Eisen große Härte. Das wird beim Hartguß unter Verwendung gußeiserner Formen oder durch Anlegen von wärmeableitenden Schalen an den Stellen, wo eine harte, mehr

oder minder starke Schicht entstehen soll, benutzt. Das sich bildende, spröde, weiße Eisen muß aber auf einem Grund von zähem, grauem Gußeisen liegen und in dieses allmählich übergehen, weil sonst leicht Brüche und Ablätterungen vorkommen. Zuzufolge der verschiedenen Schwindung der beiden Schichten entstehen in Hartgußstücken leicht starke Spannungen und oft Risse (Hartborsten), so daß große Sorgfalt bei der Auswahl der Rohstoffe und bei der Zusammensetzung des Eisens notwendig ist. Der Konstrukteur wird möglichst einfache Formen anstreben, die die Zusammenziehung nicht hindern. Anwendung findet der Hartguß auf Teile, die hohen Flächendrücken ausgesetzt sind oder großer Abnutzung unterliegen: auf Walzen, Laufrollen, Laufräder, Platten für Steinbrecher und Erzquetscher, Hebedaumen u. a. m.

Die Bearbeitung der harten Oberfläche ist nur mittels Sonderstählen, mit Diamantwerkzeugen oder durch Schleifen möglich.

G. Temperguß.

Temperguß oder schmiedbarer Guß entsteht durch längeres Glühen der aus weißem Gußeisen hergestellten Stücke in Sauerstoff abgebenden Packungen. Dabei wird der Kohlenstoffgehalt von 2,8 bis 3,4% je nach der Glühdauer auf 1 bis 0,4% herabgemindert und das ursprünglich sehr spröde Eisen in schmiedbaren Zustand übergeführt. Bezeichnungen für Temperguß, die die Art und Herstellung nicht erkennen lassen, z. B. „Halbstahl, Stahleisen, Temperstahlguß“ sind irreführend. Da das weiße Eisen infolge des starken Schwindens um 1,6 bis 2,1% große Neigung zum Saugen und Lunkern hat und da die Wirkung des Glühens von außen nach innen fortschreitet, ist es wiederum besonders wichtig, den Gegenständen einfache Formen und überall gleiche Wandstärken zu geben, sowie scharfe Ecken und unvermittelte Übergänge zu vermeiden, um hinreichende Gleichmäßigkeit im fertigen Stück zu erzielen. Am vorteilhaftesten sind geringe Wandstärken zwischen 3 bis 8 mm; die größte, noch anwendbare Dicke wird mit 25 mm angegeben. Daß die Teile durch Gießen leicht in die gewünschte Form gebracht werden, macht Tempergußstücke billig und begründet die zunehmende Bedeutung derselben als Ersatz geschmiedeter oder aus Stahlguß hergestellter Stücke; andererseits beschränkt sich das Verfahren doch meist auf kleinere, in großen Mengen gebrauchte Maschinenteile, weil nur gleichartige Stücke in einer Packung genügend gleichmäßig getempert werden können. Beispiele bieten Schraubenschlüssel, mäßig belastete Kettenglieder, Normalköpfe, Griffe, Gasrohrverbindungsstücke, Flanschen, Teile von landwirtschaftlichen Maschinen, Webstühlen usw.

Die Anforderungen in bezug auf Festigkeit und Zähigkeit können die an Gußeisen zu stellenden übertreffen, müssen aber naturgemäß wegen des vom Gießen herrührenden weniger dichten Gefüges niedriger als die an geschmiedetem Stahl üblichen sein. Die Zugfestigkeit pflügt je nach dem weicheren oder härteren Zustande zwischen $K_z = 1900 - 2500 - 3100$, selbst bis zu 3500 kg/cm^2 bei einer mit steigender Zugfestigkeit abnehmenden Bruchdehnung $\delta = 7,5$ bis 1% zu liegen. Die Bruchfläche zeigt körniges Gefüge. Gute Stücke von 2 bis 3 mm Wandstärke müssen sich kalt um einen mäßig dicken Dorn um 180° biegen lassen ohne zu brechen.

Die Bearbeitung durch Werkzeuge bietet keine Schwierigkeiten. Sie entspricht je nach dem Grade der Entkohlung etwa derjenigen von weichem oder mäßig hartem Stahle.

III. Sonstige Metalle.

A. Kupfer.

Kupfer kommt, nach verschiedenen Verfahren gewonnen und durch Umschmelzen oder auf elektrolytischem Wege gereinigt, als Hütten- und Elektrolytkupfer in den Handel.

Die DIN 1708 Bl. 1 unterscheidet die folgenden Sorten:

Benennung	Kurzzeichen	Kupfergehalt mindestens %	Verwendungsbeispiele
Hüttenkupfer A (arsen- u. nickelhaltig)	A-Cu	99,0	Feuerbüchsen und Stehbolzen
Hüttenkupfer B (arsenarm)	B-Cu	99,0	Legierungen für Gußerzeugnisse sowie Legierungen mit weniger als 60% Kupfergehalt für Walz-, Press- und Schmiedeerzeugnisse
Hüttenkupfer C	C-Cu	99,4	Kupferrohre und -bleche
Hüttenkupfer D	D-Cu	99,6	Legierungen mit mehr als 60% Kupfergehalt für Walz-, Preß- und Schmiedeerzeugnisse
Elektrolytkupfer E	E-Cu	— ¹⁾	Elektrische Leitungen, hochwertige Legierungen

Bei der Bestellung ist die DIN-Nummer mit anzugeben, z. B. bei Hüttenkupfer A: A-Cu DIN 1708.

¹⁾ Für die Beurteilung des Elektrolytkupfers für elektrische Leitungen ist lediglich die elektrische Leitfähigkeit maßgebend, vgl. DIN 1708.

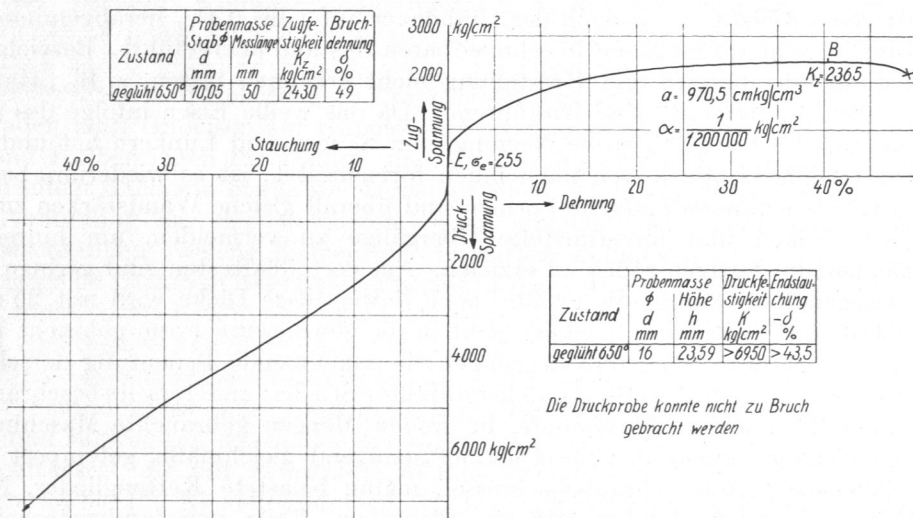


Abb. 113. Zug- und Druckversuch an Kupfer.

Das Hütten- und Elektrolytkupfer ist ein weiches, sehr dehnbares Metall, das sich im kalten und warmen Zustande durch Walzen, Ziehen, Pressen, Hämmern, Treiben und Schmieden leicht verarbeiten, aber wegen seiner Dickflüssigkeit und Neigung zur Blasenbildung schlecht vergießen läßt.

Es schmilzt bei 1083°, hat ein Einheitsgewicht von 8,9 kg/dm³ und zeichnet sich durch große Leitfähigkeit für elektrischen Strom und Wärme aus. Ein Draht von 1 mm² Querschnitt und 1 m Länge hat einen Widerstand von 0,017 bis 0,018 Ω, d. i. rund ein Sechstel von demjenigen des Eisens. Die Wärmemenge, die durch 1 m² Querschnitt bei 1° Temperaturunterschied beider Flächen in einer Stunde 1 m weit geleitet wird, beträgt 320 kcal und ist 6—8 mal größer als beim Eisen.

Das Verhalten ausgeglühten Kupfers beim Zugversuch ist durch eine langgestreckte Schaulinie, Abb. 113, gekennzeichnet, die keine ausgeprägte Fließgrenze, aber sehr große Dehnung aufweist. Die Elastizitätsgrenze tritt bei solchem Kupfer überhaupt nicht oder schon bei sehr niedrigen Spannungen auf; auch fehlt die Verhältnismäßigkeit zwischen Spannung und Dehnung. Durch Kaltbearbeitung wird die Fließgrenze gehoben und die Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze nachweisbar. Als Mittelwert für die Dehnungszahl α darf dann $\frac{1}{1200000}$ bis $\frac{1}{1100000}$ cm²/kg gesetzt werden. Der Bruch

erfolgt unter großer Einschnürung, zeigt lachsrote Farbe und feinkörniges, dichtes, seidenartig glänzendes Gefüge. Die Kaltbearbeitung bewirkt eine Verringerung der Dehnung, also eine Abnahme der Geschmeidigkeit, die sich jedoch durch Ausglühen bei 400 bis 450⁰ wieder herstellen läßt. Gezogener Kupferdraht fängt nach den Untersuchungen von Martens schon bei 250⁰ an, wieder weich zu werden, bei längerer Einwirkung einer Temperatur von 350⁰ verliert er seine Härte vollständig. Festigkeitszahlen verschiedener Kupfersorten bei gewöhnlicher Luftwärme enthält die folgende Zusammenstellung.

Zusammenstellung 35. Festigkeitswerte von Kupfer.

	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Dehnung δ %	Einschnürung ψ %
Kupfer, gewalzt	2000 . . . 2300	35 . . . 40	45 . . . 60
Kupfer, gehämmert	2600 . . . 2700	—	—
Kupfer, gezogen	3000 . . . 3800	—	—
Feuerbüchskupfer, Rundkupfer	2200	38	45
Spezialfeuerbüchskupfer	2500 . . . 2600	≧ 38	60
Spezialrundkupfer „extragehärtet“	4000 . . . 6000	4 . . . 12	60

C. Heckmann,
Duisburg

Ein mit Gewinde versehenes Stück Stehbolzenkupfer von 180 mm Länge soll sich kalt mit seinen Enden zusammenbiegen lassen, ohne Risse zu erhalten.

Müller [II, 4] nennt als Grenzen, innerhalb deren die mechanischen Eigenschaften guten Kupfers, an handelsüblichen Blechen ermittelt, liegen können:

	Elastizitätsgrenze σ_E kg/cm ²	Streckgrenze $\sigma_{0,2}$ kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Dehnung δ %	Elastizitätszahl α cm ² /kg
Blech ausgeglüht	160	800	2200	50	$\frac{1}{1080000}$
Kaltgewalzt, 90 ⁰ / ₀ Reckgrad	640	4500	4700	3,50	$\frac{1}{1350000}$

Bei höheren Wärmegraden nehmen Festigkeit und Dehnung ab. Dabei ist die Dauer der Kraftwirkung von großem Einfluß, wie Striebeck nachgewiesen hat [II, 20]. Die seiner Abhandlung entnommenen Abb. 114 bis 115 zeigen diese Erscheinung an Stehbolzenkupfer. Die gestrichelten Linien entsprechen Versuchen Rudeloffs [II, 21] mit üblicher, verhältnismäßig kurzer Versuchszeit, die ausgezogenen den Striebeck'schen von langer Dauer. Danach sinkt bereits von 200⁰ an die Widerstandsfähigkeit des Kupfers gegenüber ständiger Kraftwirkung sehr beträchtlich; insbesondere fällt die Linie der Dehnung jäh ab, so daß Kupfer bei mehr wie 200⁰ als

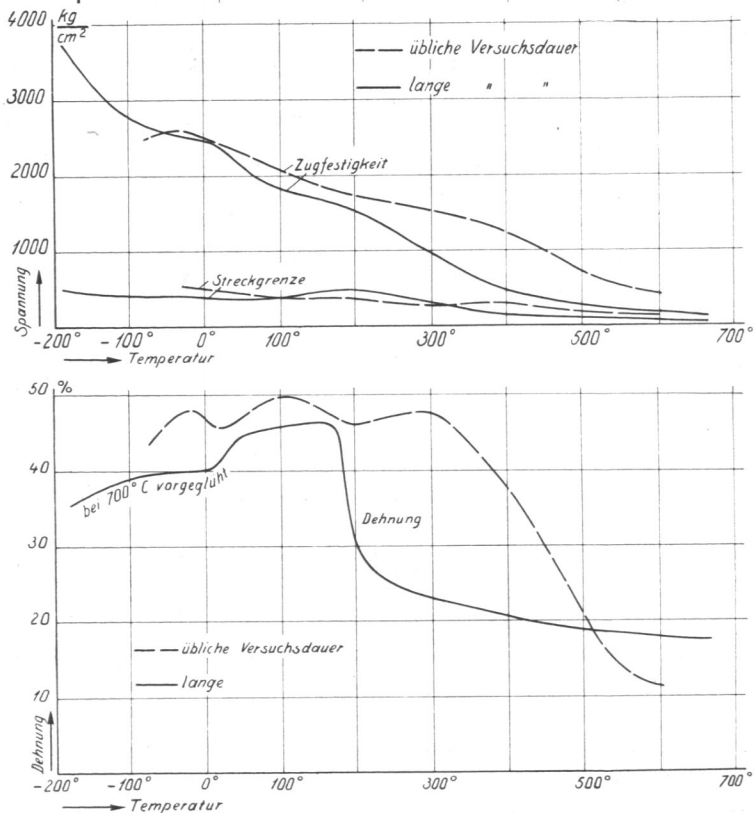


Abb. 114—115. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer (Striebeck und Rudeloff).

nicht mehr zuverlässig vermieden werden sollte, wenn seine Festigkeit in Betracht kommt.

Beim Druckversuch zeigt Kupfer nach Abb. 113 eine etwa gleich hohe Fließgrenze wie beim Zugversuch, bei höheren Belastungen aber eine wesentlich größere Widerstandsfähigkeit; ein Bruch tritt bei der Weichheit des Stoffes trotz weitgehender Zusammendrückung überhaupt nicht ein.

In trockner Luft ist Kupfer sehr beständig; in feuchter bildet sich an seiner Oberfläche eine Schicht basisch kohlensaurer Kupfers, welche das darunterliegende Metall schützt. Durch die meisten Säuren und durch Seewasser wird es, wenn auch zum Teil langsam, angegriffen und zerfressen.

Seine Anwendung im Maschinenbau ist wegen des hohen Preises beschränkt. Auf Grund seiner leichten Formänderungsfähigkeit, sowohl bei der Verarbeitung, wie im Betriebe, wird es zu Kesseln, Pfannen, Trommeln, Anschlußkrümmern, Ausgleichrohren, Stehbolzen, Dichtungsringen u. a. m. benutzt. Verbindungen von Kupferteilen lassen sich leicht durch Weich- oder Hartlötten, in neuerer Zeit auch durch Schweißen herstellen. Die große Leitfähigkeit für den Strom begründet seine ausgedehnte Anwendung in der Elektrotechnik. Gelegentlich finden sich kupferne Niete wegen ihrer Weichheit verwendet, z. B. beim Anschluß gußeiserner Stützen an schmiedeeisernen Gefäßen. Wichtig ist das Kupfer als Bestandteil zahlreicher Legierungen.

B. Blei.

Blei wird als Werkblei gewonnen und als solches oder in gereinigtem Zustande als Kaufblei in den Handel gebracht. Seine große Geschmeidigkeit ermöglicht die leichte Verarbeitung durch Pressen, Walzen, Ziehen und Drücken. Beispielweise lassen sich Drähte und Röhren durch Pressen des Metalls durch Öffnungen hindurch herstellen, Kabel auf ähnliche Weise mit einer dichten Schutzschicht umgeben. Die Schmelztemperatur liegt bei 327°, das Vergießen ist leicht und liefert dichte Stücke. Das Einheitsgewicht beträgt 11,3 kg/dm³.

Die Zugfestigkeit K_z des Bleies ist gering, die Dehnung dagegen sehr groß, so daß sich weiches Blei beim Zugversuch Abb. 116, bis zu einer Spitze an der Bruchstelle ausziehen läßt. Bei der Beanspruchung auf Druck ist die Spannung an der Quetschgrenze σ_s maßgebend, aber sehr von der Höhe des Probekörpers h im Verhältnis zu seiner Breite b oder zum Durchmesser d abhängig. Vollständig eingeschlossenes Blei hält sehr hohe Pressungen aus. Mit der Temperatur nimmt die Festigkeit rasch ab.

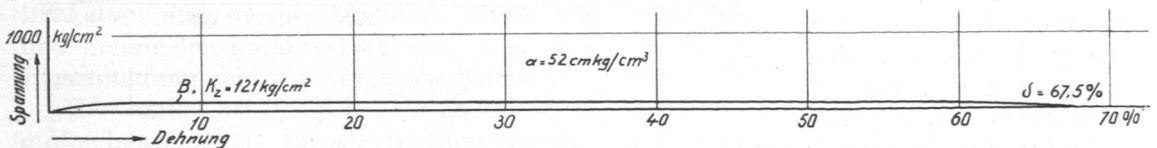


Abb. 116. Zugversuch an Blei.

Zusammenstellung 36. Festigkeitseigenschaften von Blei.

	Dehnungszahl α cm ² /kg	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Quetschgrenze σ_s kg/cm ²
Weichblei, gegossen, gewalzt.	$\frac{1}{50000}$	125	50 bis 150 bei $h:d = 2 \dots 0,1$
Bleidraht	$\frac{1}{70000}$	170 . . . 220	—
Hartblei (mit Antimonzusatz)	—	—	300 bei $h:d = 1$
Hartblei bei 20° C (Rudeloff)	—	460	—
60° C	—	440	—
100° C	—	280	—

Blei wird an der Luft durch die Bildung eines Überzuges von Bleioxydul gegen weitere Angriffe geschützt und ist gegen verdünnte und selbst konzentrierte anorganische Säuren, mit Ausnahme der Salpetersäure, sehr widerstandsfähig.

Im Maschinenbau findet es als leicht biegsames Rohr bei Wasserleitungen, als nachgiebige Unterlage und als Dichtungsmittel, zum Untergießen oder zum Befestigen von Metallen in Steinen, in der Elektrotechnik zu Akkumulatorplatten und zum Schutz von Kabeln Verwendung. In der chemischen Industrie dient es zu Schwefelsäurekammern, Pfannen, Rohren usw. oder zu deren Auskleidung. Ferner bildet es einen wichtigen Bestandteil vieler Legierungen, namentlich der Weißmetalle und Weichlote.

C. Aluminium.

Aluminium wird auf elektrothermischem Wege gewonnen und hat in neuerer Zeit wegen seines geringen Einheitsgewichtes, das 2,64 kg/dm³ im gegossenen, 2,73 im gewalzten Zustande beträgt, rasch steigende Bedeutung als Werkstoff erlangt. Das technische Aluminium enthält zwischen 99,8 und 96% Aluminium und läßt sich im kalten Zustande und soweit angewärmt, daß ein Fichtenholzspan, mit ihm in Berührung gebracht, zu rauchen beginnt, schmieden, walzen, hämmern und ziehen; die beim kalten Bearbeiten auftretende Sprödigkeit kann durch Ausglühen wieder beseitigt werden.

Reinaluminium wird nach DIN 1712 von den Hütten in drei Sorten, durch das Kurzzeichen *Al* und den Gehalt an Aluminium in Hundertteilen bezeichnet, geliefert:

Bei der Bestellung ist die DIN-Nummer hinzuzusetzen, z. B.: *Al* 99 DIN 1712.

Über die zulässigen Verunreinigungen vgl. DIN 1712.

Der Schmelzpunkt liegt bei 657° C. Wird eine Überhitzung um mehr als 100° vermieden, so läßt es sich sowohl in Sandformen wie in Kokillen leicht und gut vergießen.

Ziemlich beträchtlich ist das Schwindmaß, das an geraden Stäben ermittelt, 1,8% beträgt.

Die Bearbeitung ist leicht; infolge seiner großen Weichheit versetzt Aluminium jedoch die Zähne der Werkzeuge, der Feilen und Sägen. Als Schmiermittel beim Drehen dient Petroleum.

Der elektrische Widerstand ist verhältnismäßig gering und gleich 0,03 . . . 0,05 Ω bei 1 mm² Querschnitt und 1 m Drahtlänge, also etwa doppelt so groß, wie der des Kupfers. Die Wärmeleitzahl von 175 kcal in der Stunde bei 1 m² Querschnitt, 1 m Länge und 1° Temperaturunterschied ist rund halb so groß wie die des Kupfers, aber doppelt so groß wie die des Eisens.

Über die mechanischen Eigenschaften enthält Zusammenstellung 37 nähere Angaben. Abb. 117 gibt dazu einige Schaulinien von Zug- und Druckversuchen an verschiedenen Sorten nahezu reinen Aluminiums und an der Legierung Duralumin.

Bei gegossenen und ausgeglühten weichen Arten treten schon bei geringen Belastungen bleibende Formänderungen auf, so daß eine Elastizitätsgrenze nicht nachzuweisen ist, und die Fließgrenze niedrig liegt. Beide lassen sich aber durch Kaltbearbeitung beträchtlich heben, wie die Zug- und Druckversuche an einem Aluminium des Erftwerkes mit 99,2% Al, Abb. 118, zeigen, die stufenweise unter Neubelastung der Proben nach ihrer Reckung, bzw. Stauchung um rund 2, 5 und 10% durchgeführt wurden. Die Fließgrenze ist jeweils auf etwa die Höhe, die der vorangehenden Höchstbelastung entspricht, gehoben. Manchmal treten sogar geringe Überhöhungen, einer sonst nur bei weichem Stahl beobachteten oberen Fließgrenze entsprechend, auf. Die einzelnen Elastizitäts- und Fließgrenzen sind durch die Buchstaben *E* und *F* mit Ziffern, die die vorangegangene Reckung kennzeichnen, angegeben.

Benennung	Kurzzeichen
Reinaluminium 99,5 . . .	<i>Al</i> 99,5
Reinaluminium 99	<i>Al</i> 99
Reinaluminium 98/99 . . .	<i>Al</i> 98/99

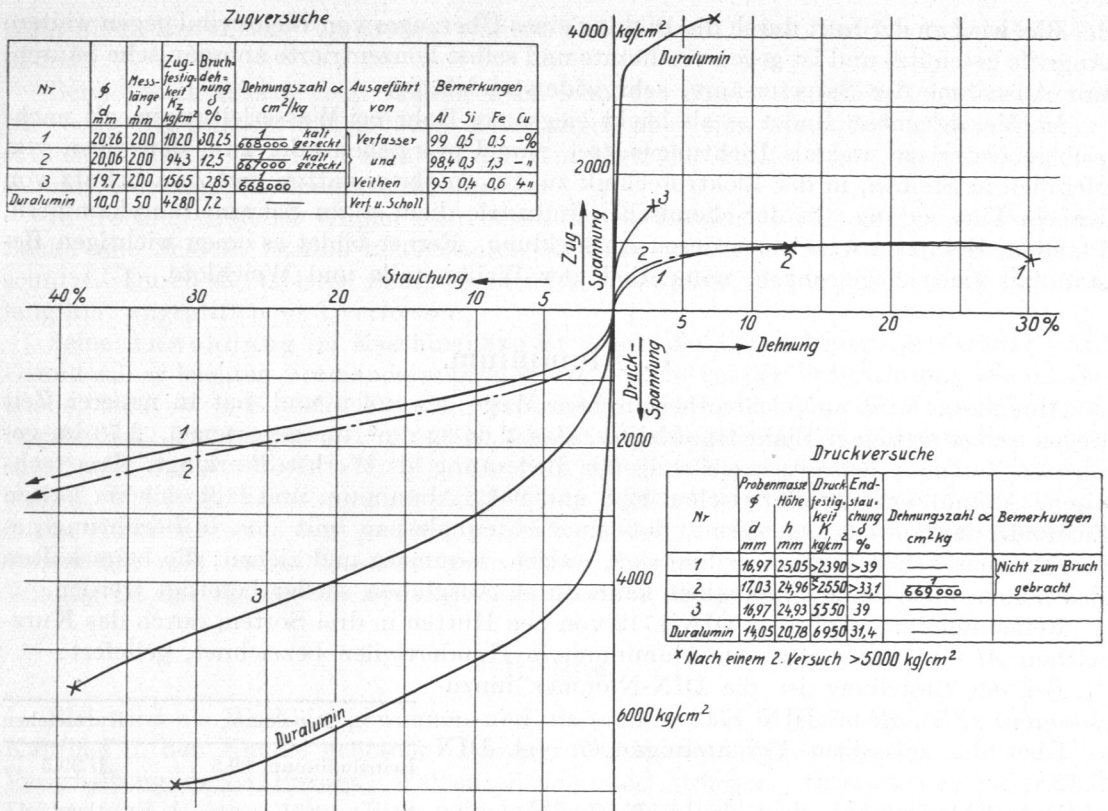


Abb. 117. Zug- und Druckversuche an 3 Sorten Aluminium und an Duralumin.

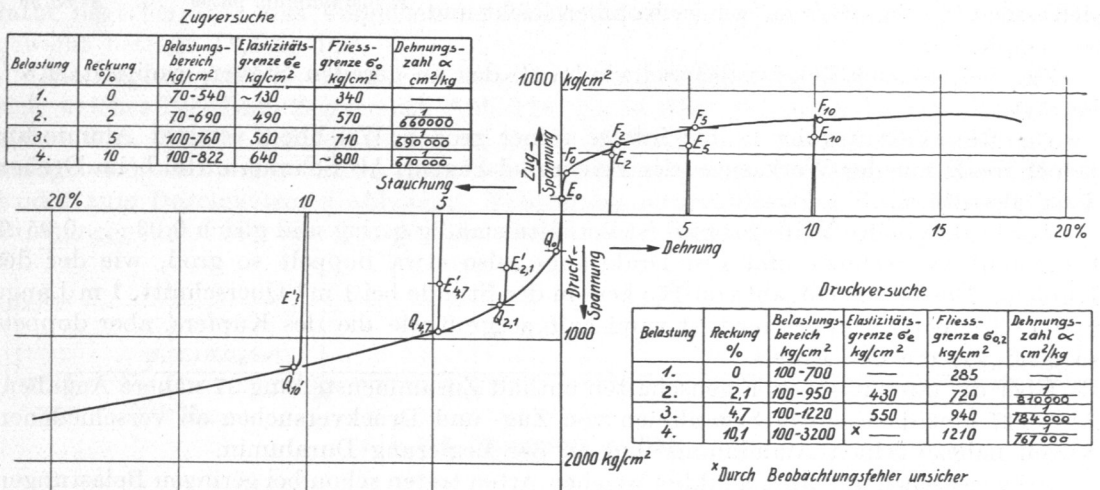


Abb. 118. Zugversuch an Aluminium (99,2% Al, 0,4% Si, 0,4% Fe, Erftwerk) unter Entlastung nach 2, 5 und 10% Reckung; Druckversuch unter Entlastung nach 2,1, 4,7 und 10,1% Stauchung.

Als Dehnungszahl α darf nach Tetmajer im Mittel $\frac{1}{675000}$ an gegossenem, $\frac{1}{762000}$ cm²/kg an gewalztem oder geschmiedetem Aluminium, die Schubzahl β = $\frac{1}{260000}$ cm²/kg in gegossenem Zustande gesetzt werden. Zahlen, die der Verfasser an den Sorten 1, 2 und 3, welche die Schaulinien der Abb. 117 lieferten, nach erfolgtem Kaltrecken fand, sind in den Zusammenstellungen zu der genannten Abbildung angegeben. Dehnung und

Einschnürung sind im Falle gegossenen Aluminiums gering; Schmieden, Walzen, Ziehen usw. hebt sie aber bei geeigneter Zusammensetzung beträchtlich.

Wie die mechanischen Eigenschaften an gezogenem und ausgeglühtem Aluminium von steigender Temperatur beeinflusst werden, gibt Abb. 119 wieder. Die Zugfestigkeit und die Streckgrenze sinken, die Dehnung nimmt anfangs langsam, dann aber stark zu.

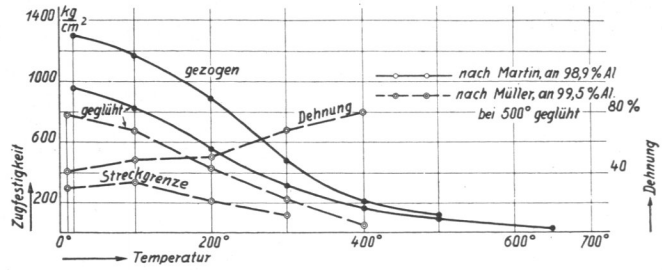


Abb. 119. Einfluß der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften.

Zusammenstellung 37. Festigkeitseigenschaften von Aluminium.

	Streckgrenze σ_s kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruchdehnung δ %
Aluminium gegossen		1000 . . . 1200	3
„ geschmiedet		1200	22,4
„ Kokillenguß	450	1070	24,5
„ kalt stark gewalzt	—	2300 . . . 2600	6 . . . 5
Aluminiumblech, hart, 8 mm dick } Aluminium-Industrie A.-G.	—	1110	11,9
„ hart, 5 mm „ } Neuhausen	1340	1380	3,5
„ hart, 2 mm „ }	1590	1650	2,5
Aluminiumdraht 5 mm Durchmesser } Aluminium-Industrie A.-G.	—	1850	—
„ 2,5 mm „ } Berlin	—	2700	—

Das Aluminium ist im weichen Zustande an der Luft gut haltbar. Wird Aluminiumblech in starkem Maße kalt bearbeitet, so zeigen sich vielfach örtliche Zersetzungserscheinungen, die nach den Untersuchungen von Heyn und Bauer [II, 22] auf die gleichzeitige Einwirkung von Luft und Wasser zurückzuführen sind, und die durch Ausglühen bei 450° im Anschluß an die Kaltbearbeitung verhütet werden können.

Von Salzsäure, Soda, Kochsalz und stark basischen Flüssigkeiten wird Aluminium rasch, von verdünnter Schwefelsäure langsam, von Salpetersäure und manchen organischen Säuren, Fetten, ätherischen Ölen, Alkohol, Bier usw. überhaupt nicht angegriffen. In der chemischen Industrie verdrängt es deshalb vielfach andere Konstruktionsstoffe, namentlich das Kupfer, und wird in immer steigendem Maße an Stelle von Tongefäßen zum Aufbewahren und Versenden von chemischen Stoffen, ferner in Färbereien und Gerbereien, im Gärungs- und Textilgewerbe benutzt.

In Berührung mit anderen Metallen unterliegt Aluminium durch die Einwirkung galvanischer Ströme einer allmählichen Zerstörung; u. a. sollten deshalb zur Verbindung von Aluminiumteilen stets Aluminiumnieten verwendet werden. Das Löten und Schweißen ist unter besonderen Vorsichtsmaßregeln möglich. Erfahrungen über Eignung und Bewahrung des Aluminiums sammelt die auch zu Auskünften gern bereite Aluminium-Beratungsstelle in Berlin W 8. Die hohe Wärmeleitfähigkeit hat Aluminium zu Kolben von Verbrennungsmaschinen, selbst zu Hochofenformen erfolgreich Anwendung finden lassen.

Aluminium wird ferner im Maschinenbau für Teile benutzt, die bei mäßigen Ansprüchen an die Festigkeit und Härte geringes Gewicht oder kleine Massen haben müssen. Beispiele dafür bieten die Rahmen und Gehäuse von Motoren und Zahnrädergetrieben im Kraft- und Luftfahrzeugbau, Riemenscheiben an Wendegetrieben von Werkzeugmaschinen, Gehäuse, Trommeln, Rollen an Instrumenten usw. Ferner wird es in zunehmendem Maße im Schiffbau und bei der Schiffsausrüstung zur Vergrößerung des Auftriebes angewendet.

Die gute elektrische Leitfähigkeit hat zur Benutzung als Leitungsmaterial in der Elektrotechnik geführt. Es bedingt zwar den 1,7fachen Querschnitt von Kupfer, wiegt aber nur etwa die Hälfte und ist noch wettbewerbfähig, wenn sich der Preis des Alumi-

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 gröberen 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.

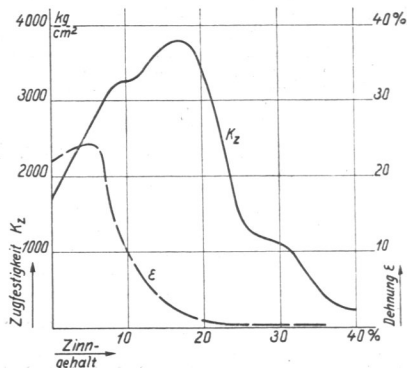


Abb. 120. Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Zinnlegierungen, gegossen, nach Shepherd und Upton.

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 gebräuchter Bronzen bringt die folgende Zusammenstellung.

Zusammenstellung 38. Zusammensetzung häufig gebräuchter Bronzen.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei	Phosphor- kupfer mit 10 ⁰ / ₀ P.	Sili- zium	Man- gan
Zinnbronze für Lagerschalen, hart	83	17	—	—	—	—	—
Zinnbronze für Zahnräder (Ledebur)	90	10	—	—	—	—	—
Weiche Phosphorbronze	91—87	8—12	—	—	1 ¹⁾	—	—
Harte Phosphorbronze	87—83	12—16	—	—	1 ¹⁾	—	—
Glockenbronze i. M.	79	20	—	—	1 ¹⁾	—	—
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 ²⁾	—

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

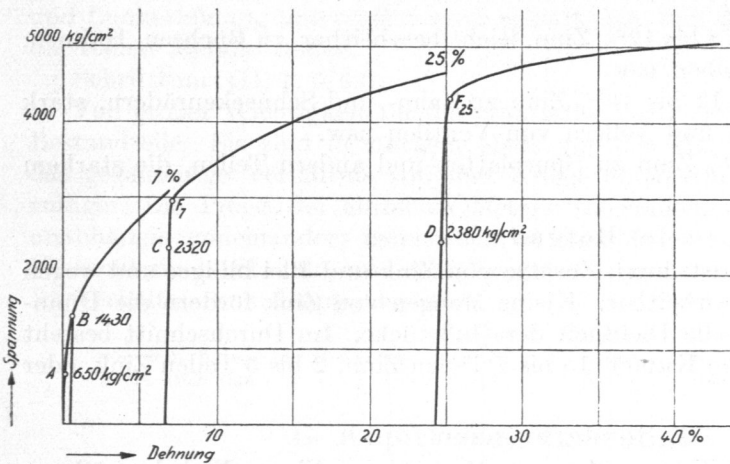


Abb. 121. Zugversuch an Hohenzollern-Propellerbronze. Erhöhung der Elastizitäts- und der Fließgrenze infolge Kaltreckens (Verfasser).

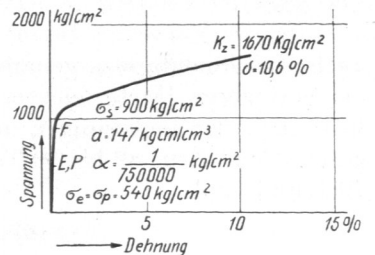


Abb. 121a. Zugversuch an Rotguß (Verfasser).

oder beim Recken im kalten oder beim Walzen und Schmieden im warmen Zustande ausbildet. Die Dehnungszahl liegt dann zwischen $\alpha = \frac{1}{800000}$ bis $\frac{1}{1200000}$ cm²/kg, wäh-

rend die Höhe der Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze von der vorangegangenen Beanspruchung abhängig ist. So zeigt Abb. 121 nach einem Versuch an einem langen

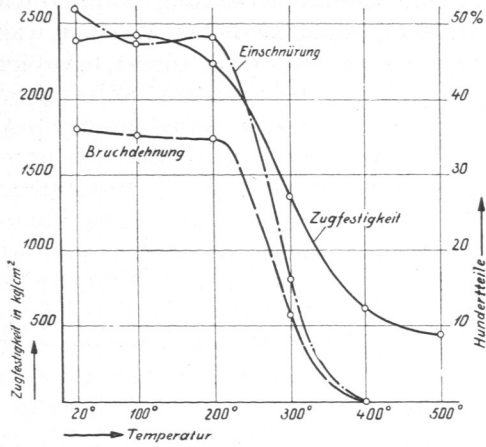


Abb. 122. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeit von Bronze (Bach).

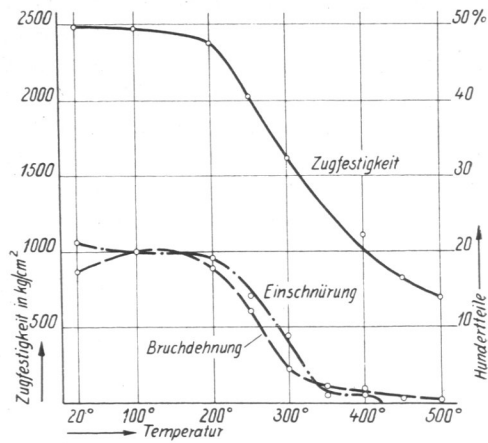


Abb. 123. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeit von Bronze (Bach).

Normalstabe aus Propellerbronze des Hohenzollernschen Hüttenwerks Laucherthal im Anlieferungszustande die Elastizitätsgrenze im Punkte *A* bei 650 kg/cm^2 , nach einer Streckung des Stabes um $0,7\%$ bei 1430 kg/cm^2 , Punkt *B*, nach 7% bei 2350 kg/cm^2 , Punkt *C*, und nach 25% Recken bei 2380 kg/cm^2 , Punkt *D*, wobei die Spannungen durchweg auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen sind. Die Elastizitäts-, nach der Abbildung aber auch die durch die Buchstaben *F* gekennzeichneten Fließgrenzen sind also durch das Strecken ganz wesentlich gehoben worden, so daß sich durch Recken, Walzen und Ziehen in kaltem Zustande die Festigkeitseigenschaften erheblich beeinflussen und hochwertige Bronzen herstellen lassen. Bei manchen Arten wirkt auch das Schmieden im warmen Zustande auf die Erhöhung der mechanischen Eigenschaften hin. Überhöhungen, wie sie nach Abb. 82 an weichem Flußstahl beim Strecken im kalten Zustande beobachtet werden, traten bei dem Versuch, wie auch bei allen weiteren an anderen Bronzen nicht auf.

Durch Ausglühen sinken in ähnlicher Weise, wie an hartgewalztem Messing in Abb. 127 gezeigt ist, die Elastizitäts-, Proportionalitäts- und Fließgrenzen wieder; die Bronze wird weicher, aber zäher.

Die Fließgrenze ist beim Zugversuch nicht scharf ausgeprägt, Abb. 121 und 121a. Dementsprechend verteilt sich die Dehnung während des ganzen Versuchs annähernd gleichmäßig auf der ganzen Meßlänge des Stabes. Der Bruch tritt meist

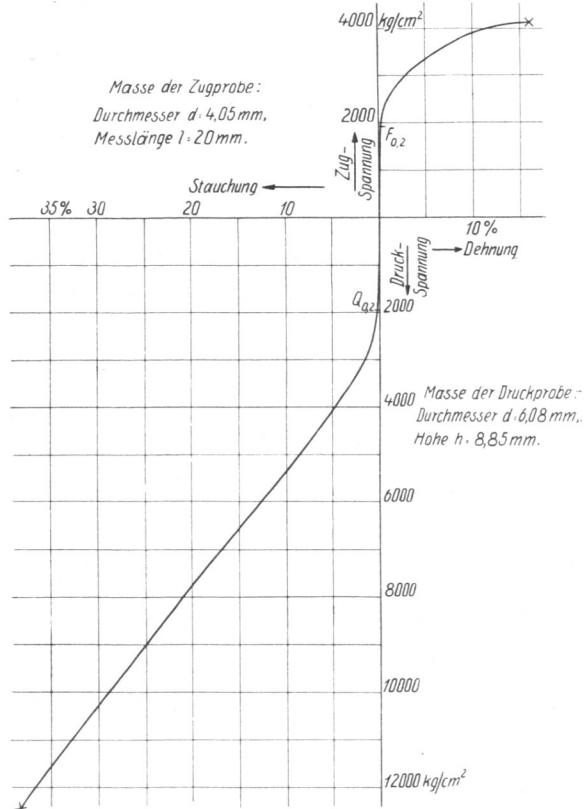


Abb. 124. Zug- und Druckversuch an einer Manganbronze (Verfasser).

bei der Höchstbelastung plötzlich, ohne wesentliche Einschnürung an der Bruchstelle ein.

Bei hohen Wärmegraden ist Bronze gewöhnlicher Zusammensetzung empfindlich, wie u. a. die Versuche Bachs [II, 24] an 25 Bronzestäben der Kaiserlichen Werft in Kiel, Abb. 122, bei einer mittleren chemischen Zusammensetzung der Stäbe aus 91,4 Kupfer, 5,5 Zinn, 2,8 Zink, 0,3 Blei und 0,03 Eisen und Versuche an Bronzen von Schäffer & Buddenberg, Abb. 123, zeigen. Besonders auffallend ist die rasche Abnahme der Dehnung, sobald 200° C überschritten werden, so daß bei Verwendung der Bronzen unter Wärmegraden jenseits dieser Grenze z. B. in Berührung mit Heißdampf, Vorsicht geboten ist. Die Versuche wurden in gewöhnlicher Weise, also mit verhältnismäßig kurzer

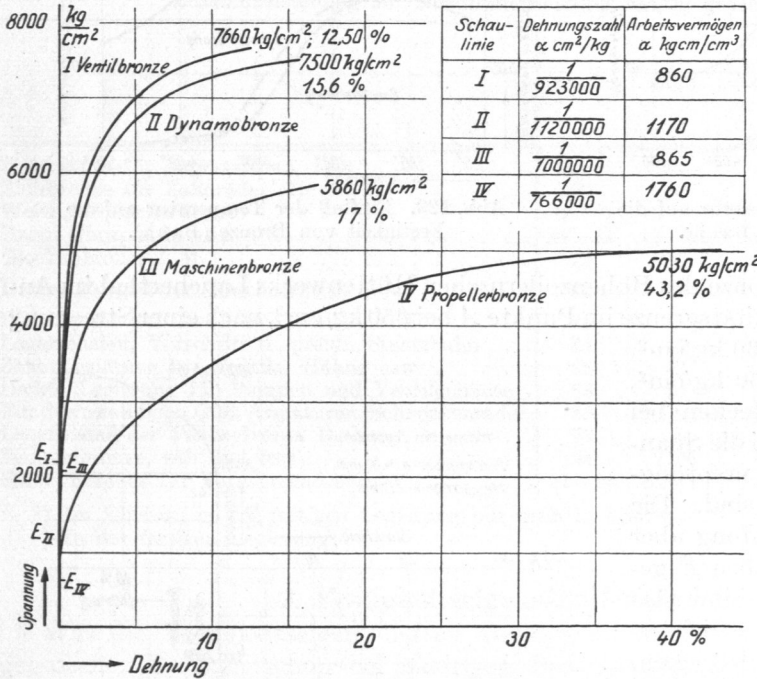


Abb. 125. Zugversuche an hochwertigen Bronzen des Hohenzollernschen Hüttenwerks Lauchertal (Verfasser).

Versuchsdauer ausgeführt. Günstigere Verhältnisse fand Rudeloff, an Kupfer-Manganlegierungen [II, 25]. Bei Mangangehalten von 3,2 bis 13,5% betragen die Zugfestigkeiten bei gewöhnlicher Temperatur 3000 bis 3500 kg/cm², die Bruchdehnungen 30 bis 40%, die Querschnittsverminderungen 74 bis 72%. Bis zu 300° nahmen die Zahlen langsam ab. Die Anwendung der Manganbronzen ist aber infolge ihres hohen Preises und ihrer schweren Schmelzbarkeit (1050 bis 1100°) bis jetzt nur vereinzelt geblieben. Sie beschränkt sich auf Stehbolzen, Turbinenräder, Schiffsschrauben, Schiffsbeschläge und ähnliches, bei welchem letz-

teren die Härte und große Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung durch unreines und sandiges Wasser besonders vorteilhaft ist.

Zug- und Druckversuche an Proben aus denselben Bronzen zeigen, daß die Fließ- und die Quetschgrenze etwa gleich hoch liegen, so daß auch für die Beanspruchung des Baustoffes auf Biegung dieselben zulässigen Spannungen wie bei der Beanspruchung auf Zug oder Druck, gelten, vgl. die Versuche an einer Manganbronze, Abb. 124.

Einzelangaben über die mechanischen Eigenschaften verschiedener Bronzen bietet die Zusammenstellung 39.

3. Sonstige Eigenschaften.

Die Farbe der Bronzen ist hauptsächlich vom Kupfergehalt abhängig. Kupferreiche haben rötliche, kupferärmere rötlichgelbe und gelbe Farbe.

Das Einheitsgewicht schwankt zwischen 7,4 und 8,9 kg/dm³ und darf im Durchschnitt zu 8,5 kg/dm³ angenommen werden. Das Schwindmaß der Bronzen beträgt $\frac{1}{63}$ bis $\frac{1}{65}$ oder 1,5 bis 1,6%, ist also ziemlich groß; der Neigung zu Lunkerbildungen läßt sich aber durch genügenden Druck beim Gießen begegnen.

Zusammenstellung 39. Mechanische Eigenschaften von Bronzen.

	Fließgrenze σ_s kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruchdehnung δ %	Ein-schnü- rung ψ %	Deh- nungs- ziffer α cm ² /kg	Bemerkungen
Zinnbronze, gegossen	—	2000—3200	15—6	30—10	—	
„ mit 60% Zinn, kalt ge- walzt	—	~ 5000	10	30	—	Bach [II, 2]
Phosphorbronze, gegossen	—	3500—4500	30—10	30—10	—	
„ kalt gewalzt	—	~ 6000	—	—	—	
Rotguß	—	1600—2000	6—20	10	$\frac{1}{900000}$	
Bronze der Versuche, Abb. 122	—	2395	36,3	52,1	—	Bach [II, 24]
Hochwertige Bronzen	—	3200—5000	—	—	—	„ [II, 2] Vgl. a.
Warm geschmiedete, hochwertige Bronzen	—	5000—8800	38—8	38—10	$\frac{1}{1100000}$	„ [II, 2] Abb.125
Durana-Manganbronze, je nach dem Grad der Kaltbearbeitung, Düre- ner Metall-Werke	—	4100—6300	28—8	—	—	
Stehbolzenbronze, warm gewalzt	—	3560	39,2	—	$\frac{1}{1290000}$	
Siliziumbronzedraht, 3 mm \varnothing	—	6500—7800	—	—	—	} 30—40 % der Leit- fähigkeit reinen Kupfers
„ 0,9 mm \varnothing	—	8000—8500	—	—	—	
Manganbronze, 3,2—13,5% Mn	—	3000—3500	30—40	74—72	—	} Rudeloff [II, 25]
„ 4% Mn, gewalzt	260	2900	41	68	$\frac{1}{1200000}$	
„ 15% Mn, gegossen	770	3570—4400	34	44	$\frac{1}{940000}$	

C. Kupfer-Zinklegierungen, Messing.

1. Einteilung und Haupteigenschaften.

Die deutschen Industrienormen unterscheiden nach DIN 1709 Bl. 1 zwei Hauptgruppen von Messingsorten:

I. Gußmessing, mit dem Kurzzeichen *GMs*,

II. Walz- und Schmiedemessing, mit dem Kurzzeichen *Ms*.

Die weitere Einteilung und Bezeichnung geschieht nach dem Kupfergehalt in Hundertteilen, so daß z. B. Gußmessing mit 67% Kupfer unter *GMs 67* DIN 1709, Hartmessing unter *Ms 58* DIN 1709 bestellt wird. Sondermessingsorten, die neben Kupfer und Zink noch absichtliche Zusätze von Mangan, Aluminium, Eisen und Zinn aufweisen, haben die Kurzzeichen *So—GMs* und *So—Ms* erhalten.

Der folgende Auszug aus der DIN 1709 Bl. 1 enthält die für den Maschinenbau wichtigeren Sorten nebst Angaben über ihre Verarbeitung, sowie Verwendungsbeispiele. Weggelassen sind die kupferreichen, insbesondere für das Kunstgewerbe wichtigen Tombaksorten.

Zusammenstellung 40. Messingsorten nach DIN 1709 Bl. 1 (Auszug).
I. Gußmessing.

Benennung	Kurzzeichen	Ungefähre Zusammensetzung in %			Behandlung	Verwendungsbeispiele
		Cu	Zusätze	Zn		
Gußmessing 63	<i>GMs 63</i>	63	< 3 Pb	} Rest	Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	} Gehäuse, Armaturen usw.
Gußmessing 67	<i>GMs 67</i>	67	< 3 Pb		Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen, Hartlöten	
Sondermessing, gegossen	<i>So—GMs</i>	55—60	Mn + Al + Fe + Sn bis zu 7,5% nach Wahl, bezügl. Ni vgl. DIN 1709 Bl. 2		Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	Schiffsschrauben, kleine Lager, Überwurfmutter, Grundringe, Beschlagteile, Schiffsfenster, Gußstücke von hoher Festigkeit

II. Walz- und Schmiedemessing.

Benennung	Kurzzeichen	Ungefähre Zusammensetzung in %			Behandlung	Verwendungsbeispiele
		Cu	Zusätze	Zn		
Hartmessing (Schraubemessing)	<i>Ms 58</i>	58	2 Pb	Rest	Warmpressen, Schmieden, Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen	Stangen für Schrauben, Drehteile, Profile für Elektrotechnik, Warmpreßstücke aller Art
Schmiedemessing (Muntz-Metall)	<i>Ms 60</i>	60	—	Rest	Warmpressen, Schmieden, Bearbeiten mit spanabhebenden Werkzeugen, mäßiges Biegen und Prägen	Stangen, Drähte, Bleche und Rohre, Kondensatorrohrplatten, Vorwärmer und Kühlerrohre
Druckmessing	<i>Ms 63</i>	63	—	Rest	Ziehen, Drücken, Prägen, Hartlöten mit leichtflüssigem Schlaglot oder Silberlot	Bleche, Bänder, Drähte, Stangen, Profile für Metallwarenherstellung u. Apparatebau, Rohre im Schiffbau
Halbtombak (Lötmessing)	<i>Ms 67</i>	67	—	Rest	Ziehen, Drücken (Kaltbearbeiten), Hartlöten bei hohen Anforderungen	Bleche, Rohre, Stangen, Profile, Drähte, Holzschrauben, Federn, Patronenhülsen
Gelbtombak (Schaufelmessing)	<i>Ms 72</i>	72	—	Rest	Ziehen, Drücken, Prägen (Kaltbearbeiten) bei höchsten Anforderungen an Dehn- und Haltbarkeit	Drähte, Bleche, Turbinenschaufeln
Sondermessing, gewalzt	<i>So—Ms</i>	55—60	Mn + Al + Fe + Sn bis zu 7,5% nach Wahl, bezügl. Ni vgl. Halbzeugblatt	Rest	Warmpressen, Schmieden	Kolbenstangen, Verschraubungen, Stangen zu Ventilspindeln, Profile, Dampfturbinenschaufeln für ND-Stufen, Bleche, Rohre, Warmpreßteile von hoher Festigkeit

Kleine Zusätze von Blei haben den Zweck, das Messing unter Bildung kurzer, „spritziger“ Späne leicht bearbeitbar zu machen.

2. Festigkeitsverhältnisse.

Die mechanischen Eigenschaften der Messingsorten sind denen der Bronze ähnlich. Nach den Linien der Abb. 126 nimmt die Festigkeit mit wachsendem Zinkgehalt zunächst langsam, dann aber rasch zu und erreicht einen Höchstwert bei etwa 43% Zink. Mehr Zink läßt sie ziemlich plötzlich auf sehr geringe Werte sinken. Die Dehnung zeigt einen Höchstwert bei etwa 30% Zinkgehalt, entsprechend der weitgehenden Verarbeitungsmöglichkeit dieser Legierung durch Pressen, Ziehen usw., fällt dann aber ebenfalls stark ab. Durch die damit verbundene Sprödigkeit ist das Gebiet der praktisch verwandten Kupfer-Zinklegierungen durch 42% Zink begrenzt. Höhere Gehalte kommen im wesentlichen nur bei den im gekörnten Zustande verwandten Hartloten zwecks Erniedrigung des Schmelzpunktes vor. Bei der erstmaligen Belastung gegossenen Messings treten bald bleibende Formänderungen auf; es fehlt die Verhältnismäßigkeit zwischen Spannungen und Dehnungen. Durch Recken im warmen und noch mehr im kalten Zustande wird Messing vollkommen elastisch, wobei die Lage der Elastizitätsgrenze wiederum von dem Betrage abhängt, um den der Werkstoff gestreckt wurde. Durch Recken hart gewordenes Messing kann umgekehrt durch Glühen unter Sinken der Elastizitäts- und Fließgrenze, sowie der Festigkeit, aber unter Vergrößerung der Dehnung weichgemacht werden, wie Abb. 127 nachweist. Schaulinie I, an einem Normalstabe aus gewalztem Messing ermittelt, zeigt die Elastizitätsgrenze bei 900 kg/cm² und die nicht ausgeprägte Fließgrenze bei 2900 kg/cm². Nach Linie II, an einem Stabe aus derselben

Stange, aber nach Ausglühen bei 610⁰ gefunden, war die Elastizitätsgrenze schon bei 300 kg/cm² Spannung überschritten, während die Fließgrenze bei 1300 kg/cm² lag. Die Zugfestigkeit fiel von 4460 beim ersten Versuch auf 4090 kg/cm² beim zweiten; die Dehnung aber stieg von 16 auf 36⁰/₁₀.

Der nicht ausgeprägten Fließgrenze und dem meist bei der Höchstbelastung plötzlich eintretenden Bruche entsprechend verteilt sich der Streckvorgang bei Zugversuchen annähernd gleichmäßig auf der ganzen Meßlänge. Die Bruchstelle weist nur geringe örtliche Einschnürung auf.

WarmzerreiBversuche von Charpy an Messing mit ungefähr 40⁰/₁₀ Zinkgehalt [II, 26] ergaben bis zu 250⁰ C eine allmähliche Abnahme der Zugfestigkeit auf 55 bis 60⁰/₁₀, aber keine wesentliche Verkleinerung der Zahlen für die Dehnung und die Querschnittsverminderung. Bach [II, 2] fand an Preßmessing eine stetige Abnahme der Zugfestigkeit und eine Zunahme der Bruchdehnung selbst bis 400⁰ C nach der folgenden Zahlenreihe.

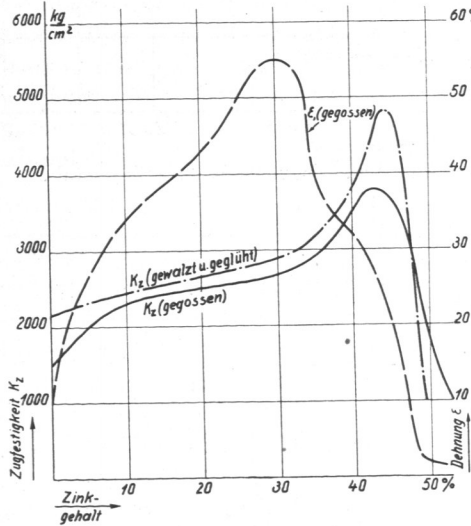


Abb. 126. Mechanische Eigenschaften gegossener und gewalzter Kupfer-Zinklegierungen (Kudriumow, Reason und Charpy).

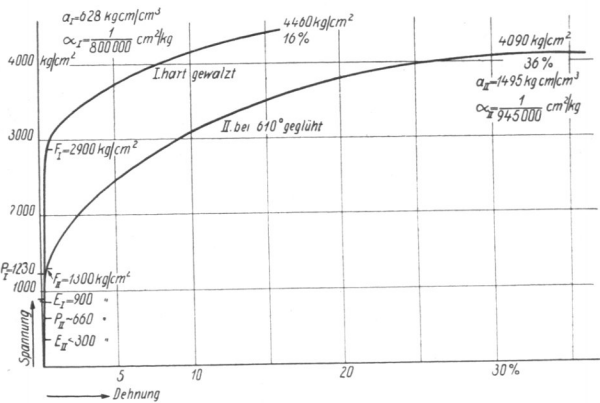


Abb. 127. Zugversuche an hartgewalztem und ausgeglühtem Messing (Verfasser).

Warmzugsversuche an Preßmessing, Bach.

Wärmegrad	Lufttemp.	100 ⁰ C	200 ⁰ C	300 ⁰ C	400 ⁰ C
Zugfestigkeit K_z	4674	4001	2939	1547	508 kg/cm ²
Streckgrenze rund.	1600	1400	1600	1200	400 kg/cm ²
Bruchdehnung δ	37,6	38,8	44,5	57,3	75,0 ⁰ / ₁₀

Der Druckversuch, Abb. 128, zeigt an der Quetschgrenze Q etwa dieselbe Spannung wie der Zugversuch an der Fließgrenze F bei Messing gleicher Zusammensetzung und Vorbehandlung.

Näheres über die bei Versuchen gefundenen Festigkeitszahlen verschiedener Messingarten gibt die Zusammenstellung 41.

Sondermessing. Durch geringe Zusätze von Eisen, Mangan, Aluminium und Phosphor, die sich jedoch vielfach nur auf Grund besonderer Verfahren unter Benutzung von Hilfslegierungen zuführen lassen, können die Schmiedbarkeit und die Festigkeitseigenschaften des gewöhnlichen Messings noch wesentlich verbessert werden. U. a. gehören hierhin das Deltametall der A.-G. Al. Dick & Co., Düsseldorf, und das Duranametall der Dürener Metallwerke, Düren. Das Deltametall wird hauptsächlich in drei Sorten in Form von Barren zum Gießen, von Stangen, Draht, Blech usw. geliefert. Das Einheitsgewicht liegt zwischen 8,0 und 8,6 kg/dm³, der Schmelzpunkt zwischen 900 und 1000⁰. Einen Zugversuch an Deltametall gibt Abb. 129 wieder.

Vom Duranametall werden 8 Marken mehrerer Härtegrade für verschiedene Zwecke in den Handel gebracht. Ihre Schmelzpunkte liegen bei etwa 950⁰. Beim Gießen neigt

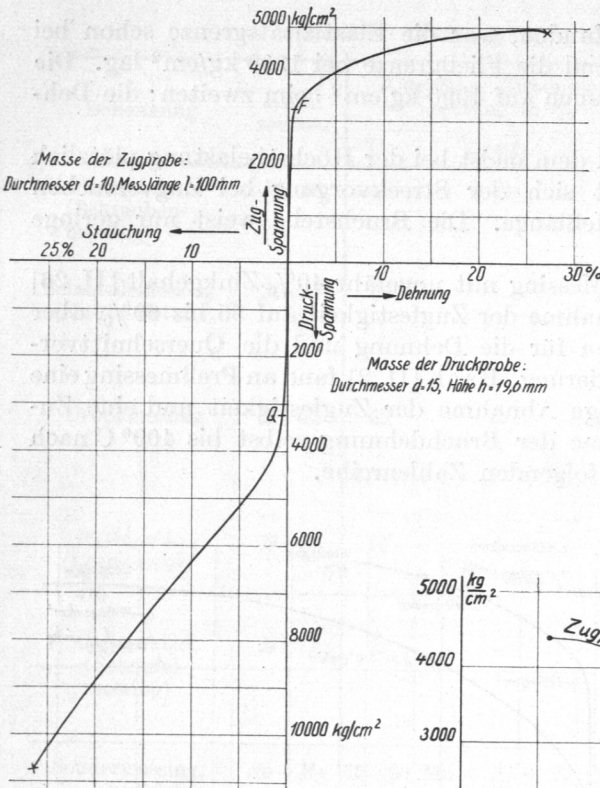


Abb. 128. Zug- und Druckversuch an Messing (Verfasser).

das Metall infolge der starken Schwindung zur Lunkerbildung und verlangt besondere Vorsichtsmaßregeln, namentlich hohe verlorene Köpfe, wenn dichte und gleichmäßige Gußstücke entstehen sollen. Die Festigkeit derselben kommt aber derjenigen gewalzten Messings gleich oder übertrifft sie sogar, vgl. die folgende Zusammenstellung. Zugversuche Stribecks von langer Dauer [II, 27] die für den Gebrauchswert der Legierungen wichtig und kennzeichnend sind, lieferten niedrigere Werte als rasch durchgeführte, zeigten aber doch, daß das Metall im Vergleich zu den Zinnbronzen noch zwischen 200 und 350° recht zäh ist. Allerdings fallen die Spannung an der

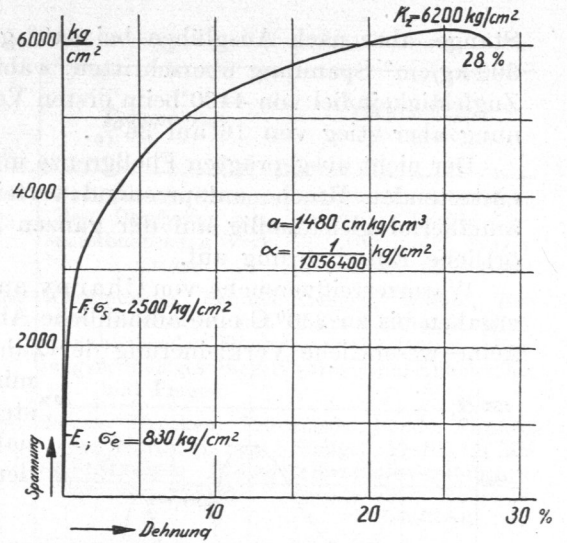


Abb. 129. Zugversuch an Deltametall.

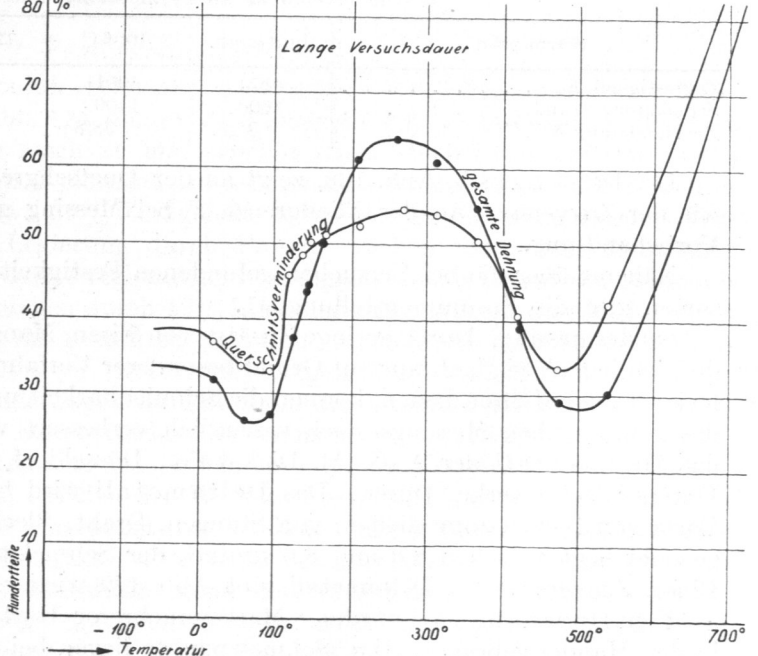
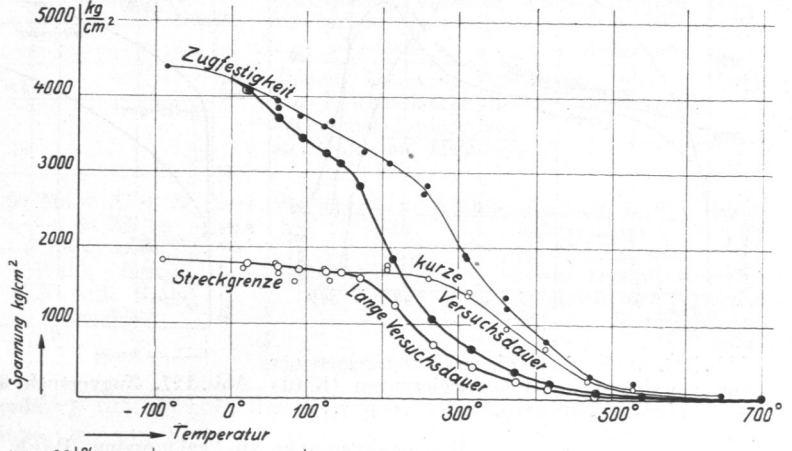


Abb. 130 und 131. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Duranometal (Stribeck).

Streckgrenze und die Zugfestigkeit schon von 200^o an, Abb. 130, andererseits steigt aber die Dehnung und Querschnittverminderung stark, Abb. 131, so daß das Duranametall in seinen Eigenschaften etwa gutem Stahlguß gleichkommt und für Wärmegrade bis 300^o unter mäßigen Beanspruchungen noch empfohlen werden kann.

Die große Geschmeidigkeit der erwähnten Sondermessingarten bei gewöhnlichen Wärmegraden gestattet eine beträchtliche Steigerung der Zugfestigkeit durch Kaltrecken, diejenige im warmen Zustande die Verarbeitung durch Schmieden in Gesenken und durch Pressen nach dem Dickschen Verfahren. Zudem durch große Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische und chemische Einflüsse ausgezeichnet, wird Sondermessing im Maschinenbau bei erhöhten Anforderungen zu ähnlichen Zwecken wie die gewöhnlichen Bronzen, namentlich aber in ausgedehntem Maße zu Schiffsteilen angewendet. Wellenüberzüge, Schiffsschrauben und Schraubenwellen, Kolbenstangen, Ventilspindeln, Kondensatorplatten, Ventilteller und Sitze, Teile des Kraftwagen- und Fahrradbaues, die größeren Beanspruchungen ausgesetzt sind, aber nicht in Eisen ausgeführt werden können, bieten Beispiele dafür. Die französische Marine hat ihre Anwendung auf Gußstücke bei Dampfspannungen von mehr als 15 at unter den in der Zusammenstellung angegebenen Abnahmebedingungen zugelassen.

Zusammenstellung 41. Messingsorten.

	Fließgrenze kg/cm ²	Zug- festigkeit K_z kg/cm ²	Dehnung δ %	Ein- schnürung η %	Bemerkungen
Messing, gegossen	—	1200—1800	20—10	25—15	$\alpha = \frac{1}{800000} \text{ cm}^2/\text{kg}$
„ gewalzt, gehämmert . .	—	2000—3000	50—30	60—40	—
„ gezogen	—	4000—5000	—	—	—
„ hart gezogen, Abb. 127, I	2900	4460	16	—	$\alpha = \frac{1}{800000} \text{ cm}^2/\text{kg}$
„ gegläht, Abb. 127, II .	1300	4090	36	—	$\alpha = \frac{1}{945000} \text{ cm}^2/\text{kg}$
Deltametall					
Nr. I in Sand gegossen. <small>Je 5 Ver- suche der K. mech. techn.</small>	2840—3080	5220—6090	5,7—12,9	10,5—15,1	—
Nr. I gepreßt	i. M. 3180	6880	21,8	27	—
Nr. II in Sand gegossen	i. M. 2370	4650	20,5	19,9	—
Nr. II gepreßt	i. M. 2740	5970	19	28	—
Nr. IV in Sand gegossen	1900—1400	3570—3980	25,8—42,9	25,1—37,2	—
Nr. IV geschmiedet . .	i. M. 1690	4430	36,2	40	$\alpha = \frac{1}{1050000} \text{ cm}^2/\text{kg}$
Nr. IV gepreßt	1650	4500	31,4	35	
Duranametall:					
B 1 — B 3, in Sand gegossen, je nach Legierung	1800—3500	4150—7000	33—20	38—20	—
B2 geschmiedet und kalt ver- dichtet	4200	5500	18	30	—
ML und MF geschmiedet oder ge- preßt, ausgeglüht	1500	4200	41	54	$\alpha = \frac{1}{1054000} \text{ cm}^2/\text{kg}$
Dasselbe, kalt verdichtet	2500	4800	22	32	—
Abnahmebedingungen der franz.					
Marine bei 15 ^o	1200	3500	18	—	—
bei 215 ^o	1500	2500	20	—	—

D. Aluminiumlegierungen.

1. Aluminiumbronzen.

Von den Legierungen des Aluminiums mit Kupfer werden technisch bisher einerseits solche bis zu 10%, andererseits sehr kupferreiche von mehr als 85% verwandt. Ihre mechanischen Eigenschaften sind in den Linien der Abb. 132 gekennzeichnet. In beiden Fällen treten Erhöhungen der Festigkeit, bei der zweiten Gruppe sogar unter gleichzeitiger beträchtlicher Vergrößerung der Dehnung auf, wobei allerdings die zahlenmäßig

sehr hohen Werte der Abbildung wohl auf kurze Meßlängen im Verhältnis zum Querschnitt der Proben zurückzuführen sind.

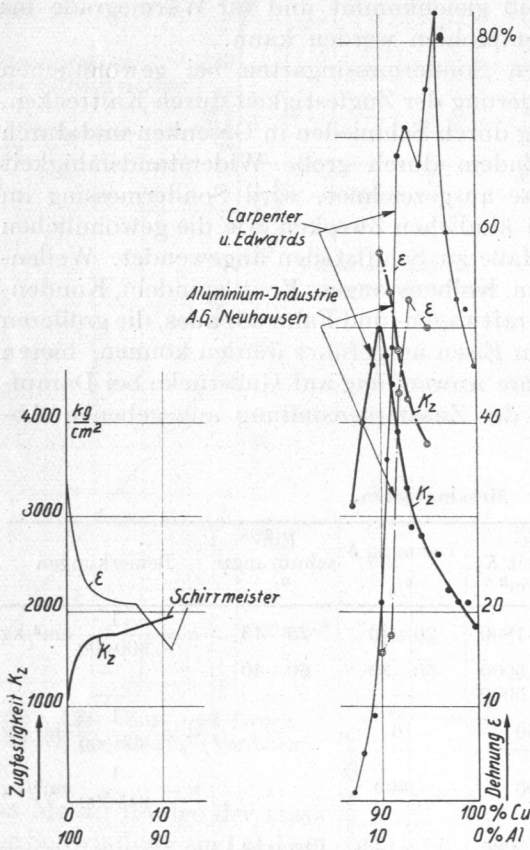


Abb. 132. Mechanische Eigenschaften der Aluminium-Kupferlegierungen.

Die hoch aluminiumhaltigen Legierungen sind wichtige Werkstoffe des Leichtbaues und werden vor allem zur Herstellung von Gußstücken benutzt. Die zweite Gruppe bildet die Aluminiumbronzten. Durch das Hinzufügen mäßiger Mengen Aluminiums zum Kupfer wird die Gießbarkeit nicht gesteigert; infolge des großen Schwindmaßes von 1,8 bis 2% neigen die Gußstücke zum Saugen und Undichtwerden. Wohl aber wird die beträchtliche Steigerung der Festigkeit und der Zähigkeit bei Gehalten bis zu 10% Aluminium an gewalzten und geschmiedeten Teilen ausgenutzt. Bronzen mit großen Aluminiummengen sind sehr hart, aber auch sehr spröde.

Die Aluminiumbronzten haben eine rotgoldene bis hellgelbe Farbe, lassen sich zwischen Dunkel- und Hellkirschrotglut (bei etwa 900°) leicht schmieden, kalt auf Werkzeugmaschinen gut bearbeiten und hart löten. Das Einheitsgewicht sinkt von 8,32 bei 5% auf 7,52 kg/dm³ bei 10% Aluminium.

Die Bronzen, insbesondere diejenige mit 10% Aluminium, sind sehr widerstandsfähig gegen Oxydation und Säuren und werden als Ersatz der Zinn- und Phosphorbronzten empfohlen. Näheres in der Schrift über Aluminium und Aluminiumlegierungen der Aluminiumindustrie A.-G. Neuhausen a. Rh.

Zusammenstellung 42. Aluminiumbronzten.

	Streckgrenze σ_s kg/cm²	Zugfestigkeit K_z kg/cm²	Bruchdehnung δ %
Bronze mit 5% Aluminium, geschmiedet	1300	3800	50,0
„ „ 5% „ „ gewalzt	1450	4550	74,5
„ „ 7% „ „ geschmiedet	1550	4250	53,0
„ „ 8% „ „ geschmiedet	2000	4770	43,0
„ „ 9% „ „ geschmiedet	3000	5370	17,5
„ „ 10% „ „ geschmiedet	3250	5780	15,7
Aluminiumbronzte Nr. 743, geschmiedet	4500	6500	2,5

Auch Aluminium-Zinklegierungen mit 7 bis 14% Zink neben etwa 2,5% Kupfer werden für Gußteile viel verwendet. Sie sind billiger und besitzen größere Festigkeit als das reine Aluminium; dagegen nimmt die Dehnung mit steigendem Zinkgehalt ab.

Große Bedeutung haben in neuerer Zeit Legierungen des Aluminiums mit Silizium, z. B. das Silumin, bekommen.

Auch auf das Messing mit Gehalten bis zu 33% Zink wirken geringe Aluminiummengen verbessernd.

2. Duralumin.

Die von den Dürener Metallwerken in Düren hergestellte Legierung wird in drei Sorten: 681 B 1/3, 681 B und Z geliefert, hat neben Aluminium stets den gleichen Gehalt von 0,5% Magnesium, zwischen 3,5 und 4,5% Kupfer, 0,25 bis 1% Mangan und zeichnet

sich bei geringem Gewicht, das zwischen 2,77 und 2,84 kg/dm³ liegt, durch große Festigkeit aus. Es läßt sich in weichem Zustande kalt durch Walzen, Pressen, Ziehen, warm durch Schmieden und in Gesenken verarbeiten, zeigt dagegen, in Sandformen gegossen, keine wesentlich besseren Eigenschaften als die bekannten, zinkhaltigen Aluminiumlegierungen, so daß Formguß nicht geliefert wird.

Eigentümlich ist die Erscheinung, daß es nach einer vorhergehenden gründlichen Durcharbeitung durch Warm Schmieden, -walzen, oder -pressen, auf 480 bis 520° erhitzt, nach rascher Abkühlung im Laufe der Zeit steigende Festigkeit ohne Verringerung der Dehnung annimmt, sich also auf diese Weise veredeln läßt. Eine Zunahme ist noch nach mehreren Tagen nachweisbar. Durch Erwärmen auf mehr als 180° kann ein Anlassen bewirkt, durch Ausglühen bei 300 bis 350° der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt werden.

Zusammenstellung 43. Duralumin.

Legierung	Zustand	Streckgrenze $\sigma_{0,2}$ kg/cm ²	Zugfestigkeit $K_z^{1)}$ kg/cm ²	Dehnung $\delta^{1)}$ %	Kerb- zähigkeit cmkg/cm ²	Bri- nell- härte	Elastizitätszahl α cm ² /kg
681 B ^{1/3}	veredelt	2400...2700	3800...4100	18...21	140...158	115	$\left\{ \begin{array}{c} \frac{1}{650000} \dots \frac{1}{720000} \end{array} \right.$
	kalt nachverdichtet, Härte ^{1/2}	3000...3200	4000...4400	14...16	115...145	122	
681 B	veredelt	2600...2800	3800...4200	18...20	132...149	118	$\left\{ \begin{array}{c} \frac{1}{710000} \dots \frac{1}{740000} \end{array} \right.$
	kalt nachverdichtet, Härte ^{1/2}	3200...3400	4300...4600	12...15	105...116	125	
Z	veredelt	2700...2900	4100...4400	17...19	100...115	120	
	kalt nachverdichtet, Härte ^{1/2}	3300...3500	4400...4700	10...14	88...100	[128]	

1) Die höheren Werte beziehen sich auf dünne Proben.

Das Metall ist wetterbeständiger als Aluminium und zeigt große Widerstandsfähigkeit gegen Schwefel- und Salpetersäure. Von Quecksilber wird es nicht angegriffen. Als Werkstoff kommt es da in Betracht, wo große Leichtigkeit neben hoher Festigkeit verlangt wird, u. a. im Luftschiff- und Luftfahrzeugbau, ferner im Boot- und Schiffbau, sowohl zur Vergrößerung des Auftriebs, wie auch wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegen Seewasser, zu Zahn- und Schneckenrädern, zu leichten Schubstangen, die unmittelbar auf den Stahlzapfen laufen können usw. Zur Verbindung der einzelnen Teile sollten Nieten und Schrauben aus gleichem Stoff oder höchstens Eisen und Stahl, nicht aber aus Bronze, Kupfer, Messing u. dgl. verwendet werden, weil sonst Zersetzungen durch galvanische Ströme eintreten.

Nähere Angaben in den Druckschriften der Dürener Metallwerke.

E. Elektron.

In der Hauptsache aus Magnesium bestehend, ist das Elektron mit einem Einheitsgewicht von 1,73 bis 1,84 kg/dm³ der leichteste uns zur Verfügung stehende Werkstoff. Der Schmelzpunkt der im Handel befindlichen Legierungen liegt zwischen 630 und 650°. Festigkeitsziffern sowie Anwendungsgebiete gibt die folgende Zusammenstellung. Das Elektron besitzt geringe chemische Widerstandsfähigkeit gegen schwache Säuren und Salzlösungen, sowie gegen die gleichzeitige Einwirkung von Wasser und Luft und bedarf deshalb besonderer Schutzüberzüge, findet aber zunehmende Verwendung im Flugzeug- und Luftschiff- sowie im Krafradbau. Bei der Prüfung der Leichtkolben für Verbrennungsmotoren hatte es sich durch seine große Wärmeleitfähigkeit und gute Laufspiegelbildung besonders ausgezeichnet. Im übrigen wird es im Maschinenbau zu ähnlichen Zwecken wie das Aluminium verwandt. Hervorzuheben ist seine Unempfindlichkeit gegenüber Flußsäure und konzentrierten Laugen [II, 32, 33].

Zusammenstellung 44. **Elektron.**

Legierung und Anwendungsgebiete		Vor- behandlung	Zugfestigkeit kg/cm ²	Dehnung %	
CM	Elektr. Stromleitungen	gepreßt	1800—2200	20	—
		hart gewalzt	2000—2200	3—5	—
Z 1	Drehteile, Profile, Bleche, Drähte . . .	gegossen	1200—1500	1,5—3	—
		gepreßt	2600—2800	18—22	—
		hart gewalzt	2900—3200	2—3	—
AZM	Desgl. bei hohen Anforderungen . . .	gepreßt	2900—3100	12—14	—
		hart gewalzt	3200—3900	2—4	—
AZ	Gußteile.	gegossen	1200—1500	2—4	Schwindmaß 1,1%

F. Weißmetalle.

Weißmetalle, aus Zinn, Blei, Antimon und Kupfer zusammengesetzt, sind in erster Linie wichtige Lagermetalle. Schalen aus Gußeisen, Stahlguß und Bronze werden mit ihnen in dünner, die Lauffläche bildender Schicht ausgegossen. Zu dem Zwecke müssen die Legierungen genügend hart sein, um den Zapfendruck auszuhalten, ohne daß die Schmiernuten verdrückt werden oder sich zusetzen, andererseits aber auch so weich sein, daß sich die Laufflächen den Wellen anschmiegen und das Einlaufen erleichtern. Nach Untersuchungen von Charpy [II, 28] eignen sich dazu Mischungen, in denen harte Kristalle in einer weichen Grundmasse ausgeschieden sind. Die ersteren tragen die Zapfen, drücken sich aber bei örtlich zu hohen Pressungen in die Grundmasse ein und bewirken so ein rasches Anpassen der Schalen ohne Schädigung oder Gefährdung der Zapfen. So bilden in den Blei-Zinn-Antimonlegierungen Antimonkristalle, in den Zinn-Kupfer-Antimonlegierungen Nadeln aus SnCu₃ und SbSn die harten, tragenden Bestandteile. Die Beanspruchung auf Druck an der Quetschgrenze, an würfelförmigen Proben ermittelt, soll etwa 150 bis 200 kg/cm² betragen.

Weiterhin bietet das Ausgießen der Lagerschalen mit Weißmetallen den Vorteil, daß die Wellen selbst beim Ausschmelzen der Lager infolge starken Warmlaufens nicht angegriffen werden, solange sie nicht mit dem harten Metall der eigentlichen Lagerschale in Berührung kommen. Da nämlich das Auslaufen infolge der Eigenschaft der Legierungen, in einem Temperaturbereich flüssig zu werden, stets längere Zeit erfordert, läßt sich die Maschine meist noch rechtzeitig abstellen und so größerer Schaden vermeiden. Der untere Schmelzpunkt der Weißmetalle pflegt bei 250 . . . 300° zu liegen. Schließlich ist der Ersatz abgenutzter oder beschädigter Laufflächen durch Neuausgießen der Schalen leicht möglich.

Genügende Gleichmäßigkeit und Feinkörnigkeit werden durch rasche Abkühlung nach dem Gießen erreicht, indem die Masse um einen eisernen Dorn oder manchmal um den Zapfen selbst herumgegossen wird. Zweckmäßigerweise wird der Einguß durch späteres Hämmern, Kaltwalzen oder Durchpressen eines Dornes noch weiter verdichtet.

Zu den folgenden Angaben über die gebräuchlichen Zusammensetzungen von Weißmetallen ist zu bemerken, daß im allgemeinen Zinn und Blei die weichen, Antimon und Kupfer die harten Bestandteile bilden. Bei hohen Flächendrücken wird man einen größeren Anteil von härteren Metallen wählen, bei niedrigen Pressungen weichere Stoffe vorziehen. Spröde Lagermetalle sind insbesondere für plötzliche und stoßartige Belastungen ungeeignet.

Zur Herstellung gibt Garbe in den „Lokomotiven der Gegenwart“ die folgende Vorschrift: 1 kg Kupfer wird mit 2 kg Antimon (regulus) und 6 kg vollkommen reinem Zinn zusammengeschmolzen. Das Antimon wird zugesetzt, wenn das Kupfer geschmolzen ist und, nachdem beide Metalle flüssig sind, das Zinn. Diese Legierung wird in dünne Platten ausgegossen und von ihr je 9 kg mit 9 kg reinem Zinn zusammengeschmolzen. Das Ganze wird sodann in 15 mm starke Platten (in Metallschalen) ausgegossen und ist damit zur Verwendung fertig. Größere Mengen, als vorstehend angegeben, sollen mit einem Mal nicht eingeschmolzen werden.

Zusammenstellung 45. Zusammensetzung der Weißmetalle in Hundertteilen.

	Zinn	Blei	Antimon	Kupfer	Bemerkungen
Lagermetall der preuß. Staatseisenbahnverwaltung ¹⁾	83,3	—	11,1	5,6	DurchZusammenschmelzen von gleichen Teilen Zinn und einer Legierung aus 11,1 Cu, 22,2 Sb, 66,7 Sn
Für Lokomotiv- und Tenderachslager (Hütte)	78,4	—	12,6	9	—
Nach Charpy	10–20	80–62	10–18	—	—
Bleikomposition	—	85–75	15–25	—	Billig, bei großem Antimon Gehalt hart
Achslagermetall für Zentrifugenlager (Wüst) .	55	Nickel 5	5	35	—

¹⁾ Von der Compagnie des chemins de fer de l'Est schon lange angewandt; nach den Untersuchungen von Charpy ein sehr gutes Weißmetall, bei dem 3 bis 4% Abweichungen in der Zusammensetzung zulässig sind.

Das Antimon darf höchstens 1% Verunreinigungen und hiervon nicht mehr als 0,1% Arsen, das Zinn nicht mehr als 0,2% Fremdstoffe enthalten.

Nach der DIN 1703 wird Weißmetall nach dem Zinngehalt in Hundertteilen bezeichnet und in Blöcken, Barren und Platten in den folgenden Zusammensetzungen geliefert:

Zusammenstellung 46. Weißmetalle nach DIN 1703.

Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung %				Einheitsgewicht kg/dm ³
		Sn	Sb	Cu	Pb	
[Weißmetall 80 ^{F2})	WM 80 F	80	10	10	—	7,5]
Weißmetall 80	WM 80	80	12	6	2	7,5
Weißmetall 70	WM 70	70	13	5	12	7,7
[Weißmetall 50 ³)	WM 50	50	14	3	33	8,2]
Weißmetall 42	WM 42	42	14	3	41	8,5
Weißmetall 20	WM 20	20	14	2	64	9,4
Weißmetall 10	WM 10	10	15	1,5	73,5	9,7
Weißmetall 5	WM 5	5	15	1,5	78,5	10,1

²⁾ WM 80 F soll nur verwendet werden, wenn Bleifreiheit unerlässlich ist, sonst ist es durch WM 80 zu ersetzen.

³⁾ WM 50 ist möglichst durch WM 42 zu ersetzen.

Über die zulässigen Abweichungen bezüglich der Zusammensetzung und der Verunreinigungen vgl. DIN 1703.

G. Lote.

Lote sind metallische Bindemittel. Man unterscheidet zwei Hauptarten: Schlag- oder Hartlote und Lötzinn oder Weichlote. Schlaglote sind dem Messing ähnliche, jedoch zinkreichere Legierungen zwischen Kupfer und Zink, die nach der DIN 1711 durch das Kurzzeichen *MsL* mit dem Gehalt an Kupfer in Hundertteilen bezeichnet, in gekörntem Zustande in folgenden Sorten geliefert werden.

Zusammenstellung 47. Schlaglote nach DIN 1711.

Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung %		Schmelzpunkt °C	Verwendung
		Cu	Zn		
Schlaglot 42 . . .	<i>MsL</i> 42	42	Rest	820	Lötung von Messing mit mehr als 60% Cu
Schlaglot 45 . . .	<i>MsL</i> 45	45	Rest	835	2. u. 3. Lötung von Messing mit 67% Cu aufwärts
Schlaglot 51 . . .	<i>MsL</i> 51	51	Rest	850	Lötung von Kupferlegierungen mit 68% Cu und mehr
Schlaglot 54 . . .	<i>MsL</i> 54	54	Rest	875	Wie <i>MsL</i> 51 und für Kupfer, Rotguss, Bronze, Eisen, Bandsägen

Für den Kupfer- und Zinkgehalt sind Abweichungen von $\pm 1\%$ zulässig. Bei Bestellungen ist neben dem Kurzzeichen die DIN-Nummer anzuführen, z. B. Schlaglot mit 42% Kupfer durch *MsL* 42 DIN 1711 zu bezeichnen.

Silberlote mit Zusätzen von Silber dienen zum Löten von Messing mit 58 und mehr % Kupfer sowie von Bronzestücken und geben, da sie besser fließen, sauberere Lötstellen. Über die Sorten vgl. DIN 1710.

Lötzinn wird gemäß DIN 1707 durch die Abkürzung SnL und den Gehalt an Zinn in Hundertteilen bezeichnet, z. B. SnL 50 DIN 1707, und in folgenden Sorten in Form von Blöcken, Platten oder Stangen geliefert.

Zusammenstellung 48. Lötzinn nach DIN 1707.

Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung %		Verwendung
		Sn	Pb	
Lötzinn 25	SnL 25	25	75	Für Flammenlötlung. Für Kolbenlötlung nicht geeignet
Lötzinn 30	SnL 30	30	70	Bau- und grobe Klempnerarbeit
Lötzinn 33	SnL 33	33	67	Zinkbleche und verzinkte Bleche
Lötzinn 40	SnL 40	40	60	Messing- und Weißblechlötung
Lötzinn 50	SnL 50	50	50	Messing- und Weißblechlötung für Elektrizitätszähler, Gasmesser und in der Konservenindustrie
Lötzinn 60	SnL 60	60	40	Lot für leichtschmelzende Metallgegenstände; feine Lötungen, z. B. in der Elektroindustrie
Lötzinn 90	SnL 90	90	10	Besondere, durch gesundheitliche Rücksichten bedingte Anwendungen

Der Zinngehalt muß auf $\pm 0,5\%$ eingehalten werden. Über sonstige Nebenbestandteile und zulässige Abweichungen vgl. DIN 1707.

Die Schmelzpunkte sind dem Erstarrungsbild, Abb. 133, zu entnehmen, in welchem über den Gehalten an Zinn und Blei, die auf der Grundlinie aufgetragen sind, die Schmelzpunkte angegeben sind. Allen Legierungen zwischen 17 und 97% Zinn ist eine untere, eutektische Schmelztemperatur von 181° gemeinsam, Linie *ADB*, während der gebrochene Linienzug *CDE* die oberen Schmelzpunkte kennzeichnet, bei deren Überschreitung die gesamte Masse flüssig ist. Die Strecken auf den Ordinaten zwischen den Linien der oberen und unteren Schmelzpunkte geben den Temperaturbereich an, in dem das betreffende Lot erstarrt — Lot SnL 40 z. B. zwischen 244 und 181° .

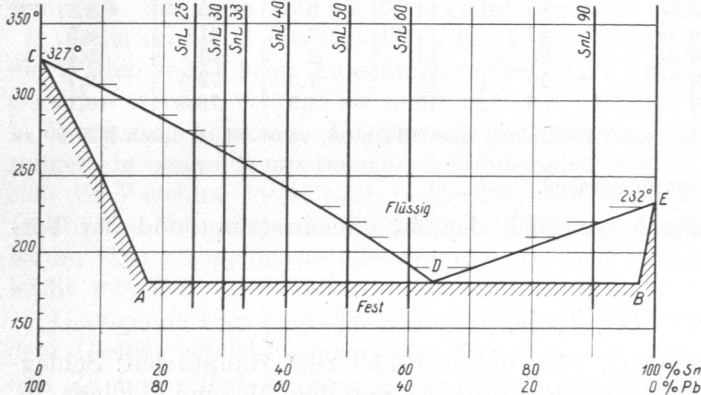


Abb. 133. Schmelzpunkte der normalen Weichlote.

V. Nichtmetallische Werkstoffe.

A. Hölzer.

Holz setzt sich aus dem Holzstoff, der das feste Zellgewebe bildet und dem Saft, aus Wasser mit organischen und anorganischen Stoffen bestehend, zusammen. Sein Gefüge ist infolge des jährlichen Wachstums und der Eigentümlichkeit der Zellen, sich vorwiegend mit ihrer Längsachse gleichlaufend zu der des Stammes anzuordnen, nicht einheitlich und bedingt die bedeutenden Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit des Holzes nach den verschiedenen Richtungen. In frisch gefällttem Zustande ist der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes groß und beträgt bis 40% ; er nimmt beim Lagern an der Luft langsam ab, bis der lufttrockne Zustand mit etwa 15% erreicht ist, in welchen das Holz selbst nach weitergehender, künstlicher Trocknung wieder zurückkehrt.

Der Feuchtigkeitsgehalt hat großen Einfluß auf die Eigenschaften, insbesondere auf das Raumgewicht und die Festigkeit und ist die Ursache für das Arbeiten des Holzes. Nimmt er ab, so schrumpfen die Zellen zusammen, das Holz schwindet; steigt er, so quillt das Holz und dehnt sich aus. Das Schwinden ist in der Faserrichtung mit 0,1 bis 0,5% gering, erreicht dagegen in radialer Richtung 2 bis 5% und ist in tangentialer Richtung bei 5 bis 8% am größten. Da außerdem die äußeren, saftreicheren Schichten des Stammes stärker schwinden als die inneren, treten oft Risse und Sprünge auf. Ein Brett wird sich in der in Abb. 134 angegebenen Weise verziehen und werfen. Nur durch Übereinanderleimen mehrerer Holzschichten mit verschiedener Faserrichtung kann das Arbeiten des Holzes praktisch unschädlich gemacht werden. Das Raumgewicht steigt mit dem Feuchtigkeitsgrade.

Holz, das dauernd trocken gehalten werden kann oder das immer unter Wasser liegt, besitzt große Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit; dagegen tritt an Holz, das abwechselnd feucht und trocken wird, rasche Zerstörung ein infolge mancher, im Saft enthaltenen, die Fäulnis befördernder Stoffe, wie Eiweiß, Stärke und Zucker. Ein natürliches Gegenmittel bietet größerer Harz- und Ölgehalt; künstlich macht man das Holz durch Auslaugen der schädlichen Bestandteile, durch Streichen mit Stoffen, die das Eindringen der Feuchtigkeit hindern, wie Teer, Leinöl, Kreosot und Farben oder durch Tränken mit Chlorzink, Quecksilberchlorid, Kupfervitriol, Steinkohlenteeröl oder Karbolineum widerstandsfähiger. Imprägnierte eichene Eisenbahnschwellen halten 14 bis 16 Jahre, solche aus Kiefern 7 bis 8, aus Tannen und Fichten 4 bis 5, aus Buche 2 1/2 bis 3 Jahre.

Die leichte Entzündbarkeit und Brennbarkeit des Holzes kann durch Überziehen mit Wasserglas oder mit anderen Feuerschutzmassen, die eine dichte Schicht bilden, oder durch Tränken mit schwefel- oder phosphorsaurem Ammoniak vermindert werden, welche bei der Erhitzung das Feuer erstickende Gase entwickeln.

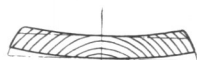


Abb. 134. Werfen des Holzes.

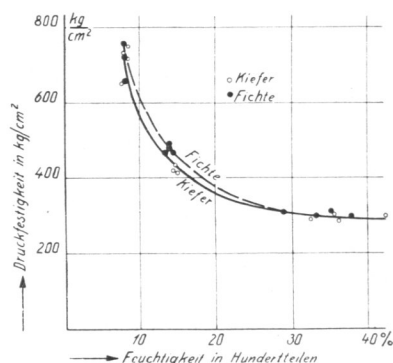


Abb. 135. Abhängigkeit der Druckfestigkeit von Kiefern- und Fichtenholz von der Feuchtigkeit (Bauschinger).

Die Festigkeit unterliegt je nach der Art und dem Wachstum des Holzes, nach dem Teil des Stammes, aus dem die Probe entnommen ist und nach dem Feuchtigkeitsgrade großen Schwankungen. Sie nimmt mit steigendem Wassergehalt rasch ab, Abb. 135, so daß dieser auf gleicher Höhe (15%) liegen muß, wenn Vergleichswerte bei Festigkeitsversuchen erhalten werden sollen.

Die Zugfestigkeit ist in der Faserrichtung am größten, senkrecht dazu aber sehr klein, im Zusammenhang mit der leichten Spaltbarkeit des Holzes gleichlaufend zur Stammachse. Zwischen den Spannungen und Verlängerungen besteht nach Bauschinger

	Dehnungszahl α cm ² /kg		Zugfestigkeit K_z , kg/cm ²				
	Kern	Umfang	Kern		Umfang		
			im Mittel		im Mittel		
Kiefer	Standort a	$\frac{1}{39000} - \frac{1}{68000}$	$\frac{1}{78000} - \frac{1}{157000}$	146-270	230	436-1560	1050
	Standort b	—	—	265-335	290	350-1100	750
Fichte	Standort a	$\frac{1}{39000} - \frac{1}{85000}$	$\frac{1}{94000} - \frac{1}{140000}$	252-373	310	646-1210	970
	Standort b	$\frac{1}{45000} - \frac{1}{67000}$	$\frac{1}{63000} - \frac{1}{116000}$	180-400	290	542-1070	700

Verhältnissgleichheit bis nahe zur Bruchgrenze. Die Dehnungszahl ist für das Kernholz größer als für die äußeren Schichten, die Festigkeit dagegen geringer. An je vier Proben von Kernholz und je acht von Splintholz, aus einem und demselben Stamme entnommen, fand Bauschinger [II, 29] die vorstehenden Zahlen (s. Zus. S. 127 unten).

Die Zusammenstellung zeigt gleichzeitig, welche großen Unterschiede in der Zugfestigkeit an ein und demselben Baum vorkommen. Mittlere Werte für die Festigkeit verschiedener Hölzer gibt die Zusammenstellung 49 am Ende dieses Abschnittes.

Die Druckfestigkeit in Richtung der Fasern ist nur etwa halb so groß wie die Zugfestigkeit, pflegt an Würfeln oder an Prismen quadratischen Querschnittes mit 1,5facher Höhe festgestellt zu werden und dient meist zum Vergleich der Holzarten. Die Elastizitätsgrenze liegt bei 0,5 bis 0,7 der Bruchspannung, während die Zerstörung entweder durch Ineinanderschieben oder Zerknicken der Fasern eintritt. Auch die Druckfestigkeit schwankt, an dem gleichen Stamme ermittelt, stark, wenn auch nicht in dem Maße wie die Zugfestigkeit. Das beweist die nächste Zusammenstellung, die Bauschinger aus Versuchen an den oben erwähnten Stämmen erhielt.

	Dehnungszahl α kg/cm ²		Druckfestigkeit K , kg/cm ²			
	Kern	Umfang	Kern		Umfang	
				im Mittel		im Mittel
Kiefer <i>a</i>	$\frac{1}{72000}$ — $\frac{1}{96000}$	$\frac{1}{82000}$ — $\frac{1}{136000}$	213–252	229	244–333	278
Kiefer <i>b</i>	—	—	290–334	306	267–446	320
Fichte <i>a</i>	$\frac{1}{71000}$ — $\frac{1}{104000}$	$\frac{1}{68000}$ — $\frac{1}{131000}$	177–253	209	214–289	253
Fichte <i>b</i>	$\frac{1}{48000}$ — $\frac{1}{72000}$	$\frac{1}{44000}$ — $\frac{1}{86000}$	136–163	149	144–194	164

Den starken Einfluß des Feuchtigkeitsgrades auf die Druckfestigkeit von Proben aus Fichten- und Kiefernholz gibt, ebenfalls nach Versuchen Bauschingers [II, 30], Abb. 135.

Die Zahlen für die Biegefestigkeit liegen naturgemäß zwischen denen für Zug und denen für Druck. Dabei ist es, solange der Kern nicht mit der neutralen Faser zusammenfällt, nicht gleichgültig, wie der Balken liegt. Man erhält etwas größere Tragfähigkeit, wenn die Kernfasern auf Druck beansprucht werden. Die Durchbiegungen, vorwiegend elastischer Natur, sind meist sehr bedeutend, ehe der Bruch eintritt, der durch Knicken oder Abreißen einzelner Fasern eingeleitet wird. Die Spannung an der Elastizitätsgrenze darf für Kiefern- und Fichtenholz mit etwa 0,5 der Bruchspannung angenommen werden. Auch der Biegeversuch wird häufig zur Prüfung von Hölzern herangezogen. Die von Bauschinger untersuchten Stämme ergaben bei je vier Versuchen die folgenden Zahlen:

	Dehnungszahl α cm ² /kg	Biegefestigkeit K_b kg/cm ²	
			im Mittel
Kiefer <i>a</i>	$\frac{1}{100000}$ — $\frac{1}{117000}$	422–524	472
Kiefer <i>b</i>	$\frac{1}{92000}$ — $\frac{1}{117000}$	376–535	451
Fichte <i>a</i>	$\frac{1}{101000}$ — $\frac{1}{120000}$	380–448	419
Fichte <i>b</i>	$\frac{1}{67500}$ — $\frac{1}{78000}$	270–301	295

Als mittlere Festigkeitswerte verschiedener Holzarten können die nachstehenden gelten:

Zusammenstellung 49. Festigkeitswerte von Hölzern.

	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²		Druckfestigkeit K in Richtung der Stammachse kg/cm ²	Biegefestig- keit K_b kg/cm ²	Scherfestig- keit längs der Fasern K_s kg/cm ²
	Kern	Umfang			
Fichte, Tanne, Kiefer	250—350	700—900	250—400	300—500	40—60
Eiche	—	900—1000	350—500	600—750	75
Buche { Rot-	—	1200—1300	350—500	650—900	85
{ Weiß-	—		450—600		
Esche	—	1200—1300	400—500	750—900	—

Das Holz hat für den Maschinenbau wegen der Formänderungen, die es bei dem Wechsel des Feuchtigkeitsgrades erleidet und wegen seiner leichten Zerstörbarkeit viel von seiner früheren Bedeutung verloren. Die Vorteile des geringen Gewichts und der leichten Bearbeitbarkeit lassen es noch im Aufzug- und Wagenbau, sowie für landwirtschaftliche, Textil- und Müllereimaschinen Verwendung finden. Seine geringe Masse ist die Begründung für die Anwendung zu Schubstangenschäften sehr raschlaufender Sägegatter, die schlechte Wärmeleitfähigkeit für diejenige zu Handgriffen an Hähnen und Ventilen oder als Verschalung. Hartes Holz eignet sich bei niedrigen Flächendrücken zur Stützung von Zapfen, die im Wasser laufen, ferner wegen seines großen Reibungswiderstandes zu Bremsbacken und Riemenscheiben.

Nach der Widerstandsfähigkeit und Bearbeitbarkeit unterscheidet man weiche und harte Holzsorten, und rechnet zur ersten Gruppe Fichte, Tanne, Kiefer (Bauhölzer), Linde, Pappel, Erle (zu Modellen) und Weide, zur zweiten Weißbuche (Bremsbacken und Kämme an Zahnrädern), Esche, Eiche, Teak- und Pockholz (die beiden zuletzt genannten namentlich zur Stützung von Spurzapfen). Es wird lufttrockenes, gerades und möglichst astfreies Holz verlangt.

Die Bearbeitung erfolgt mit großen Geschwindigkeiten, 100 bis 200 m/Min., durch Hobeln, Drehen, Bohren und Fräsen unter Abnahme dünner, breiter Späne, damit kein Spalten oder Splittern eintritt.

B. Leder.

In ungegerbtem Zustande, als Rohhaut, findet Leder zu den Ritzeln raschlaufender Zahnradtriebe Anwendung. Zum Schutze gegen Fäulnis wird es einige Zeit in eine Glycerin-Wasserlösung gehängt, in der es gleichzeitig eine gleichmäßige, hornartige Beschaffenheit annimmt, die es nach dem Trocknen leicht und gut bearbeitbar macht.

Zu Riemen, Dichtungen in Form von Stulpen und Scheiben, sowie als nachgiebiges Mittel in Kupplungen usw. benutzt man gegerbtes Leder, das durch Einlagern von Gerbstoffen viel elastischer und geschmeidiger, aber auch gegen Fäulnis widerstandsfähiger geworden ist. Als bestes Gerbmittel gilt noch immer feingemahlene Eichenrinde, die Eichenlohe. In den Lösungen von zunehmendem Lohe- und Säuregehalt, in welche die Häute nacheinander gebracht werden, nimmt das Leder allmählich Gerbstoff auf, der sich mit der Faser verbindet und die Haut von etwa 1 bis 2 $\frac{1}{2}$ mm Stärke auf 5 bis 9 mm aufquellen läßt. Nach dem Herausnehmen aus der letzten Lösung werden die Häute sorgfältig gereinigt, eingefettet und getrocknet. Das je nach den Anforderungen mehrere Monate bis zu zwei Jahren in Anspruch nehmende Verfahren kann durch Anwendung starker Gerbstoffextrakte aus Eichenholz und ausländischen Gerbhölzern oder durch Walken des Leders in den Lösungen, manchmal freilich unter Beeinträchtigung der Güte des Erzeugnisses abgekürzt werden. Neuerdings sucht man durch schwächere Gerblösungen, die durch das Leder hindurchgepreßt werden und durch späteres starkes Walzen des Leders besonders dünne Riemen von 3,5 bis 5 mm Stärke herzustellen.

Ein wesentlich anderes Erzeugnis ist das durch Behandlung mit Chromsalzen erhaltene grünlich-graue Chromleder, bei dem sich eine Chromoxydverbindung mit der Lederfaser bildet, die schützend wirkt. Das Verfahren dauert, ohne die Faser zu schädigen, nur wenige Tage.

Eine nach dem gewöhnlichen Verfahren gegerbte Ochsenhaut ist in bezug auf Dicke, Festigkeit und Dehnungsverhältnisse sehr ungleichmäßig. In einem Streifen von je etwa 150 mm Breite beiderseits der Rückenlinie beträgt die Stärke 5 bis 6 mm; bis zu rund 400 mm Entfernung von der Mitte nimmt sie auf etwa 8 mm zu und dann nach der Bauchseite hin wieder ab.

Die Zugfestigkeit gegerbten Leders liegt gewöhnlich zwischen 200 und 400 kg/cm². Bei Versuchen an zahlreichen fertigen Riemen verschiedener Herkunft fand Rudeloff [II, 34] im Mittel 260 kg/cm² Zugfestigkeit, bei einem kleinsten Wert von 148 und einem größten von 360 kg/cm². An einer und derselben, zwei Jahre in Eichenlohe gegerbten

		Rücken									
		K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ	K_z	ϵ
Hals		433	13,1	374	9,7	378	9,8	339	11,7	388	
		366	14,9	400	13,8	354	14,5	324	12,5	340	10,3
		368	16,4	368	15,1	349	16,6	353	14,7	343	12,1
		426	18,1	370	15,1	340	16,1	328	16,6	331	13,5
		347	19,9	376	16,7	313	19,3	335	16,1	305	14,9
		405	19,2	407	15,6	326	21,1	310	15,5	272	19,4
		385	17,6	360	16,2	351	22,4	290	15,6	269	20,4
		416	17,4	380	18,0	362	20,4	261	16,6	313	16,8
			18,4	397	17,6	367	18,4	288	17,1	325	14,0
		460	21,7	421	18,5	368	15,5	270	16,6	315	15,4
				374	18,8	370	13,5	271	15,1	388	12,8
				405	18,9	370	12,0	326	12,3	398	13,1
		Bauchseite									

Abb. 136. Festigkeits- und Dehnungswerte des Leders einer Ochsenhaut (Bach).

Ochsenhaut kamen nach Untersuchungen Bachs [II, 35] Verschiedenheiten zwischen 261 und 460 kg/cm² vor, vgl. Abb. 136, in der an den einzelnen Streifen, in welche die Haut zerschnitten war, die bei ziemlich rasch durchgeführten Versuchen erhaltenen Werte der Zugfestigkeit und Dehnung eingeschrieben und des leichteren Vergleichs wegen in Form von wagerechten Strecken eingetragen sind. Die Festigkeit ist längs der Rückenlinie am größten, nimmt nach den Flanken zu ab, steigt aber auf der Bauchseite wieder. Durchschnittlich haben die stärkeren Stellen der Haut geringere Festigkeit, die dünneren größere.

Im Gegensatz zu den Metallen verläuft die Spannungs-Dehnungskurve des Leders, Abb. 137, mit zunehmender Spannung steiler, so daß also Leder bei geringer Inanspruchnahme weicher und nachgiebiger ist, oder sich innerhalb gleicher Spannungsstufen um so mehr streckt, je geringer es belastet ist. Nach Abb. 137 nimmt die Dehnung z. B. zwischen 0 und 50 kg/cm² um 5,4 zwischen 200 und 250 kg/cm² nur noch um 3,0% zu.

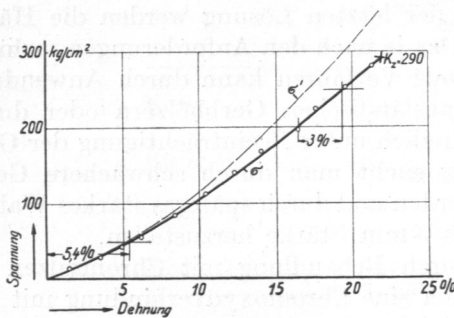


Abb. 137. Spannungs-Dehnungslinie gestreckten Riemenleders.

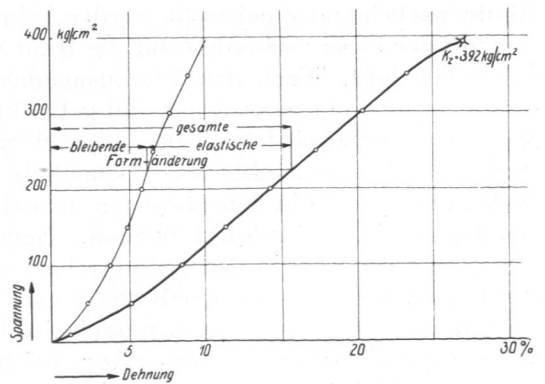


Abb. 138. Bleibende und elastische Formänderungen an Leder.

Schon bei niedrigen Spannungen treten bleibende Formänderungen ein, wie die dünne Linie der Abb. 138 zeigt, die sich bei einem Zugversuch an einem Stück ungebrauchten Riemenleders von 70 mm Breite, 4,9 mm Stärke bei 200 mm Meßlänge ergab. Das Leder wurde von 10 kg/cm^2 beginnend, in Stufen von je 50 kg/cm^2 belastet, nach jeder Belastung aber wiederum auf 10 kg/cm^2 entspannt. Die Abszissen der stark ausgezogenen Linie stellen die Summe der elastischen und bleibenden Formänderungen bei den einzelnen Spannungen dar, diejenigen der dünnen, die im wesentlichen bleibenden Reckungen, die der Riemen bei der Entlastung aufwies.

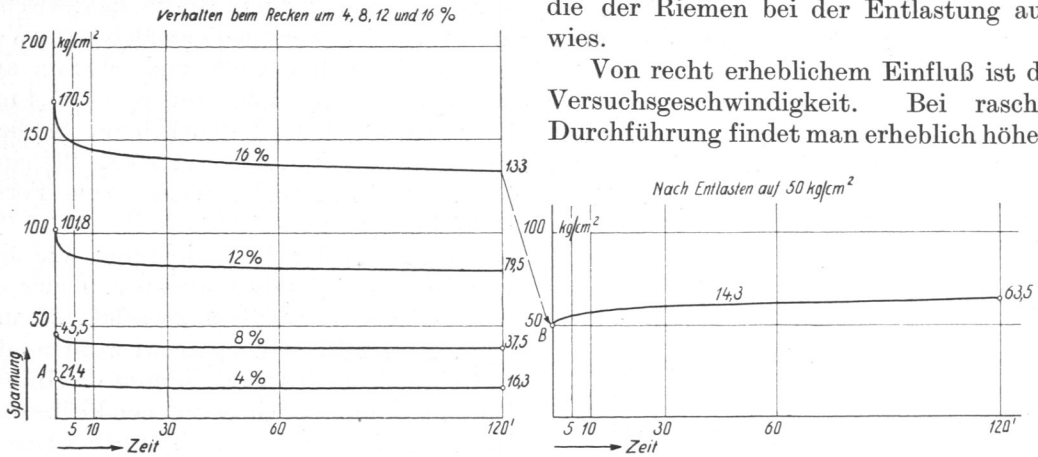


Abb. 139. Zugversuche an Leder. Einfluß der Versuchsdauer (Verfasser).

Festigkeitszahlen als bei langsamer, infolge der dem Leder eigenen, starken elastischen Nachwirkung. Bei der Belastung nehmen nämlich die Formänderungen nicht sofort ihre volle Größe an, sondern wachsen um so mehr, je länger die Kraft wirkt; nach der Entlastung zieht sich das Leder nicht sogleich völlig zusammen, sondern verkürzt sich beim Liegen noch lange Zeit nachher. Die Formänderungen sind also nicht allein von der Größe der wirkenden Kräfte, sondern auch von der Dauer ihrer Einwirkung abhängig, eine Erscheinung, die erklärlich wird, wenn man sich das Leder als ein elastisches Netzwerk mit Einlagen vorstellt, das erst allmählich nachgibt. Das läßt sich deutlich zeigen, wenn man den Riemen stufenweise dehnt und die zu den einzelnen Verlängerungen nötigen Belastungen verfolgt. Im Falle der Abb. 139 wurde ein neuer Riemen von 5,6 mm Stärke, 74 mm Breite und 500 mm Meßlänge zunächst um 4% gereckt und stand dabei im ersten Augenblick, dem Punkte A entsprechend, unter $21,4 \text{ kg/cm}^2$ Spannung. Diese sank nach 2' auf 18,9, nach 120' auf $16,3 \text{ kg/cm}^2$. Bei weiterem Recken um 8, 12 und 16% tritt die gleiche Erscheinung noch viel ausgeprägter auf; bei 16% fällt die Anfangsspannung von 170,5 innerhalb 2' auf 154 und nach 120' auf 133 kg/cm^2 . Verhältnismäßig ist aber der Abfall in den vier Fällen gleich groß; im Durchschnitt beträgt er 79% nach 120'.

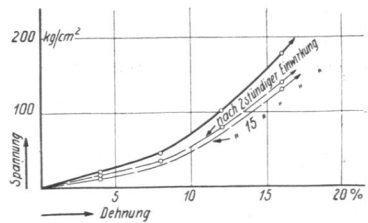


Abb. 140. Einfluß der Versuchsdauer bei Zugversuchen an Leder (Stephan).

Trägt man die Höchstspannungen abhängig vom Reckgrad auf, Abb. 140, so erhält man eine obere, ausgezogene Grenzkurve für die Festigkeit des Leders bei rascher Durchführung des Zugversuchs, während die dünneren Linien die wesentlich niedrigeren Spannungen kennzeichnen, welche dieselben Formänderungen erzeugen, nachdem die Belastung 2 bzw. 15 Stunden gewirkt hat.

Dieses allmähliche Nachlassen der Spannung erklärt neben dem Verschleiß, dem die Riemen an den Laufflächen unterworfen sind, das von Zeit zu Zeit notwendige Nachspannen der Riementriebe.

Umgekehrt erholen sich die Riemen nach plötzlichem Entlasten wieder, indem die Elastizität des Leders die Spannkraft allmählich wieder steigert, wie der Verlauf der im Punkte *B*, Abb. 139, angetragenen Linie verdeutlicht, als die unter 133 kg/cm^2 Spannung stehende Probe auf 50 kg/cm^2 entlastet wurde. Nach 120' wies der Riemen $63,5 \text{ kg/cm}^2$, d. i. eine um 27% höhere Spannung auf.

Dieses Verhalten des Leders ist praktisch sehr wichtig bei Riementrieben, an denen der Riemen im ziehenden und gezogenen Trum abwechselnd zwei Grenzspannungen ausgesetzt ist. An einem Probestück von $5,8 \text{ mm}$ Dicke und $72,2 \text{ mm}$ Breite, das zwischen 25 und 100 kg/cm^2 belastet wurde, Abb. 141, traten bei der erstmaligen Belastung Verlängerungen von $\lambda_1 = 18,4$ und $\lambda'_1 = 53,4 \text{ mm}$ an einer Meßstrecke von 500 mm auf, die bei den folgenden Wechseln auf $\lambda_2 = 39,3$ und $\lambda'_2 = 54,7$, $\lambda_3 = 39,5$ und $\lambda'_3 = 55,4 \text{ mm}$ stiegen. Selbst nach der 17. Be- und Entlastung nehmen sie noch deutlich zu. Schließlich geht aber der Riemen in einen im wesentlichen elastischen Zustand über. Bei einer höheren Spannungsstufe, in Abb. 141 100 und 200 kg/cm^2 , treten wieder neue Formänderungen und dieselben Erscheinungen in gleicher Art auf.

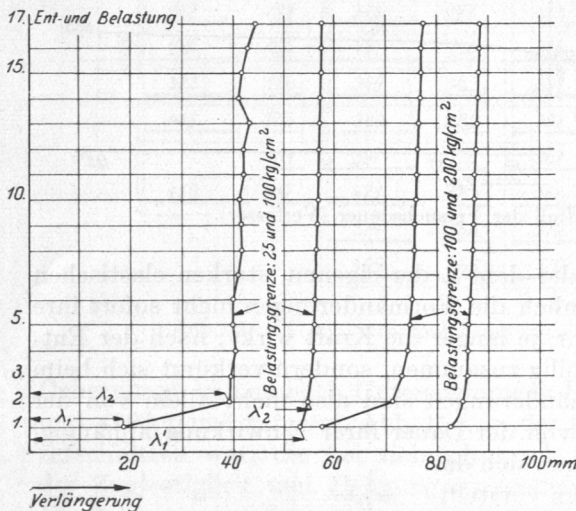


Abb. 141. Wiederholte Belastung von Leder (Verfasser).

Die Werte der Bruchdehnung, die sich an frischem und ungebrauchtem Leder ergeben, liegen gewöhnlich zwischen 25 und 10% . Ist der Riemen gestreckt worden oder im Gebrauch gewesen, so nimmt die Bruchdehnung infolge der eingetretenen bleibenden Formänderungen mit dem Grade des Reckens ab und pflegt dann Werte bis herab zu 10 und 5% zu haben.

Für den Betrieb sind nur die elastischen Formänderungen wichtig und rein elastische Riemen erwünscht. Um das Auftreten bleibender Formänderungen möglichst einzuschränken, werden die fertigen Riemen in den Fabriken durch Belastung oder auf besonderen Maschinen unter der zwei- bis fünffachen späteren Betriebsbelastung ausgiebig gestreckt.

Das Strecken schränkt aber nicht allein die durch den Betrieb zu erwartenden bleibenden Formänderungen ein, sondern verbessert auch die Festigkeitseigenschaften des Leders, indem es die Zugfestigkeit, auf den wirklichen Querschnitt bezogen, erhöht. Das läßt sich schon an einem einfachen Zugversuch, Abb. 137, zeigen. Unter der Voraussetzung, daß der Rauminhalt des Lederstreifens unverändert bleibt und daß die Streckung auf der ganzen Linie gleichmäßig erfolgt, muß, sofern F den ursprünglichen Querschnitt, l die ursprüngliche Länge, F_1 den Querschnitt nach dem Strecken des Streifens auf die Länge l_1 bedeutet,

$$F_1 \cdot l_1 = F \cdot l \quad \text{oder mit } l_1 = l(1 + \varepsilon)$$

$$F_1 = \frac{F \cdot l}{l_1} = \frac{F}{1 + \varepsilon} \quad (83)$$

sein, so daß die auf den wirklichen Querschnitt F_1 bezogene Spannung

$$\sigma' = \frac{P}{F_1} = \frac{P}{F} (1 + \varepsilon) = \sigma (1 + \varepsilon) \quad (84)$$

wird, wenn σ , wie bei Zugversuchen üblich, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen ist. Bei 20% Streckung ergibt sich z. B. aus Abb. 137 ein

$$\sigma' = 259 \cdot 1,20 = 311 \text{ kg/cm}^2$$

der gestrichelten Linie. In noch stärkerem Maße und sicherer wird die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften durch das Strecken und Walzen des Leders in den Fabriken erreicht, weil dabei die Gefahr, daß durch zu hohe Beanspruchungen einzelne Fasern leiden, leichter vermieden werden kann.

Nach dem Verlauf der Dehnungslinie, Abb. 137, muß auch die Dehnungszahl α veränderlich sein und zwar mit steigender Belastung abnehmen. Sie betrug zu Beginn des

Versuches $\frac{1}{920}$ und fiel auf $\frac{1}{1630}$ cm²/kg in der Nähe des Bruches bei 290 kg/cm². Abb. 142

zeigt den Einfluß mehrfachen Belastungswechsels innerhalb zweier Spannungsstufen. Die dabei entstehenden Schleifen sind bei der erstmaligen Belastung weniger steil als später, so daß der Mittelwert von α , den man findet, wenn man die unteren Spitzen der Schleifen mit den oberen Schnittpunkten verbindet, zwischen 25 und

100 kg/cm² Belastung von $\frac{1}{2450}$ an der ersten, auf $\frac{1}{2890}$ an der 16. Schleife,

zwischen 100 und 200 kg/cm² entsprechend von $\frac{1}{3780}$ auf $\frac{1}{4440}$ cm²/kg abnimmt. Daraus muß geschlossen werden,

daß neue Riemen größere Werte von α haben als gebrauchte, an denen sich durch die dauernden Spannungswechsel ein Gleichgewichtszustand mit im wesentlichen nur elastischen Formänderungen herausgebildet hat. Bach gibt für Verhältnisse, unter denen Treibriemen gewöhnlich laufen, an:

für neue Lederriemen $\alpha = \frac{1}{1250}$ cm²/kg,

für gebrauchte $\alpha = \frac{1}{2250}$ cm²/kg.

An Chromlederriemen, die verschiedenen Stellen ein und derselben Haut entnommen waren, zeigte Bach [II,37], daß die Elastizität längs der Rückenlinie sehr gleichmäßig und am größten war. Aus dem Bauteil geschnittene Riemen wiesen wesentlich geringere Federungen und außerdem geringere Elastizität am Kopfende als am Schwanzende auf, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß der Rückenteil bei der Vorbehandlung der Haut weniger gestreckt worden war als die Flanken. Die Dehnungsziffern ergaben sich sehr verschieden; der größte Wert längs des Rückens, wo die Haut um 19% gereckt

worden war, betrug $\alpha = \frac{1}{2274}$, der kleinste am Kopfende der Flanke nach 27% vorher-

gegangener Streckung $\frac{1}{6175}$ cm²/kg.

Einige weitere von Stephan bei sehr langsam durchgeführten Versuchen [II,36] gefundene Festigkeitszahlen enthält die Zusammenstellung 50.

Wie Gußeisen zeigt auch Leder elastische Hysteresis, indem die Spannungen bei der Entlastung einer anderen Kurve folgen als bei der Belastung. Es entstehen Schleifen, Abb. 142, deren Flächeninhalt die Formänderungsarbeit darstellt, welche bei jedem vollen Spannungswechsel aufgebracht werden muß, die also einen Energieverlust beim Betrieb des Riemens mit sich bringt. Die Größe der Schleife ist allerdings infolge der Nach-

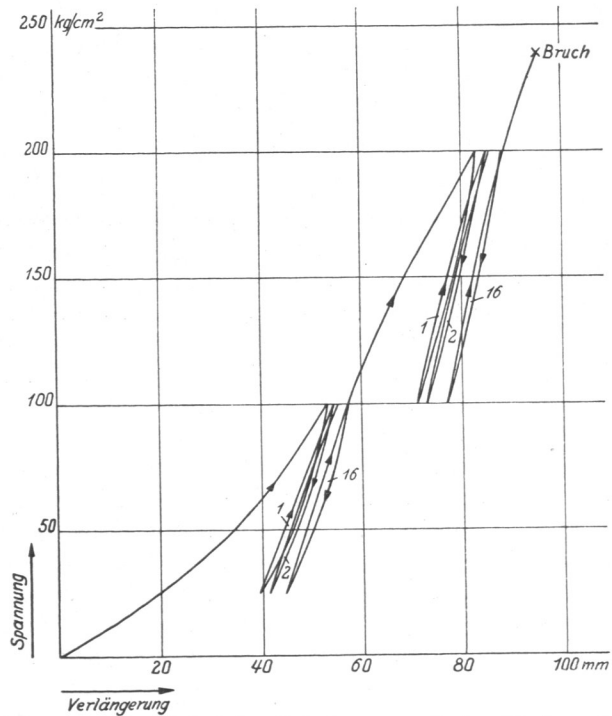


Abb. 142. Wiederholte Belastung von Leder (Verfasser).

Zusammenstellung 50.

Festigkeitswerte von Leder nach Stephan bei sehr langsamer Durchführung der Versuche.

Lfd. Nr.	Art des Leders	Stärke mm	Zugfestigkeit K_z kg/cm ²	Bruch- dehnung δ %	Dehnungszahl der elastischen Formänderungen α cm ² /kg
1	Eichenlohgar, naß vorgestreckt	6,25	215	15,6	$\frac{1}{2080}$ bei 80 kg/cm ²
2	„ zweimal vorgestreckt	—		12,4	$\frac{1}{2200}$
3	„ ungereckt	—	210	19–20	—
4	Mit Extrakt vorgegerbt, ungereckt	4	170	20,8	—
		8,4		29	—
5	Schwach gegerbt, komprimiert, vorge- streckt, Rückenstreifen	3,3–4,4	340–425	15,5–18,2	$\frac{1}{2140}$ — $\frac{1}{3570}$
6	Vorgestreckt, Flankenstreifen	3,4–3,9	355–528	15–18,7	$\frac{1}{2180}$ — $\frac{1}{3710}$
7	Chromleder, vorgestreckt	4,25	407	23	$\frac{1}{1600}$
8	„ „	6–6,3	320	34	

wirkungserscheinungen, denen Leder in starkem Maße unterliegt, noch von der Zeitdauer des Spannungskreislaufs abhängig. Barth ermittelte an neun Lederstreifen von 38,5 cm Länge, 10 cm Breite und 1 cm Dicke zwischen 1 und 19 kg/cm² Spannung 0,0288 cmkg Arbeitsaufwand auf 1 cm³ bei jedem Umlauf.

Im Falle der Abb. 142 beträgt der Arbeitsaufwand in der Spannungsstufe zwischen 25 und 100 kg/cm² im Durchschnitt je 0,122, in der Spannungsstufe 100 und 200 kg/cm², 0,153 cmkg/cm³. Dabei wurden die Schleifen im Durchschnitt in 4¹/₂ bis 5 Minuten durchlaufen.

Eine Zunahme der Feuchtigkeit ruft eine Verlängerung, also eine Verminderung der Spannungen in einem Treibriemen hervor.

Der Haltbarkeit rohen und gegerbten Leders sind große Wärme und Nässe nachteilig. Erstere wirkt schon von 40° C an schädlich, indem sie Riemen hart und brüchig macht. Gegen das Faulen infolge großer Feuchtigkeit schützt öfteres Einschmieren mit Talg und Fett. Öl wirkt dagegen schädlich und greift das Leder an.

In geringerem Maße ist Chromleder gegen Wärme und Nässe empfindlich.

C. Steine und Beton.

Vor allem in den Maschinenfundamenten, zur Unterstützung einzelner Teile, zum Einmauern von Dampfkesseln und zur Ausführung von Turbinenkammern, Kanälen usw. verwandt, sollen Steine und Beton möglichst nur auf Druck beansprucht werden. Größere Zug- und Biegespannungen müssen grundsätzlich wegen der geringen Widerstandsfähigkeit der Baustoffe solchen Beanspruchungen gegenüber vermieden oder im Falle von Beton durch Eiseneinlagen (Eisenbeton) aufgenommen werden. Dementsprechend erstreckt sich auch die Untersuchung der Steine und des Betons in der Regel nur auf die Druckfestigkeit, die an würfelförmigen Proben festgestellt zu werden pflegt und die als Vergleichs- und Gütemaßstab dient. Die Zahlen schwanken in sehr weiten Grenzen je nach der Art, der Lagerstätte, der Reinheit usw., bei künstlichen Sorten auch nach der Sorgfalt bei der Herstellung. Untere und mäßige obere Werte für die Druckfestigkeit im trockenen Zustande, sowie Mittelwerte aus den Versuchsreihen des Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem enthält Zusammenstellung 51. Die Festigkeit nimmt mit zunehmendem Wassergehalt bei dichten Gesteinen um 5 . . . 8%, bei Sandsteinen aber häufig um 20 . . . 30% ab. Auch wiederholtes Gefrieren und Auftauen wirkt schädlich.

Die Dehnungsziffer ist ebenfalls je nach der Art der Baustoffe sehr starken Schwankungen unterworfen und nimmt mit der Höhe der Belastung zu. Von der Angabe von Werten wurde in der Zusammenstellung abgesehen.

Zusammenstellung 51.

Gewichte und Druckfestigkeiten von natürlichen und künstlichen Steinen und Baustoffen.

	Gewicht der Raumeinheit	Druckfestigkeit K kg/cm ²
A. Natürliche Gesteine:		
Basalt	2,7 ... 3,1	1000—3200
Porphyr	2,5 ... 2,7	1000—2500
Granit	2,6 ... 2,8	1000—2000
Kalkstein	2,2 ... 3,0	400—1000
Sandstein	2,2 ... 2,5	200—900
B. künstliche Steine und Baustoffe:		
Ziegelsteine, Klinker	1,6 ... 1,7	300—700
„ gut gebrannt	1,5 ... 1,7	200—300
„ schwach gebrannt	1,5 ... 1,7	150—200
Ziegelmauerwerk in Zement	1,5 ... 1,6	180—240
„ in Kalkmörtel	1,5 ... 1,6	120—140
Beton, 28 Tage alt, je nach Mischung	1,8 ... 2,4	80—250
Stampfbeton, 1 Teil Zement, 2 Teile Sand, 4 Teile Kies.	1,8 ... 2,4	80—150—200

Mittelwerte aus den Versuchen an natürlichen Gesteinen der K. techn. Versuchsanstalten Berlin (Mitteil. 1897, S. 49).

	Zahl der Versuche	Mittlere Druckfestigkeit in kg/cm ²			
		Lufttrocken	Wassersatt	Nach einmaliger Frost- beanspruchung	
				an der Luft	unter Wasser
Granite	5530	2206	2078	2037	2037
Hornblendegesteine und Ophiolite (Grünstein, Diabas, Diorit).	320	2757	2640	2566	2553
Porphyre	1000	2631	2519	2491	2488
Augitgesteine (Basalte)	680	3616	3513	3478	3458
Kalksteine	800	1028	972	955	932
Sandsteine	3960	922	850	826	825
Grauwacke	600	2393	2301	2202	2148

Die Zugfestigkeit gleichmäßigen natürlichen Gesteins darf nur mit etwa 3 bis 5%, die Biegefestigkeit mit 10 bis 15%, die Scherfestigkeit mit 5 bis 8% der Druckfestigkeit angenommen werden.

Wegen der Unzuverlässigkeit und Ungleichheit ist bei der Wahl der zulässigen Beanspruchungen mit größeren Sicherheiten, im Durchschnitt mit $\varnothing = 12$ bis 20, zu rechnen.

Natürliche Gesteine (Granit, Porphyr, Basalt, Kalk- und Sandsteine) dienen behauen zur Aufnahme größerer Kräfte in Widerlagern von Stützen, Säulen, Lagerstühlen an schweren Achsen und Wellen und vermitteln die Übertragung auf das eigentliche Fundament. An künstlichen Steinen kommen vor allem aus Ton gebrannte Ziegelsteine, bei sehr großen Kräften und bei höheren Wärmegraden (Kesseleinmauerungen) stark gebrannte Klinker in Frage. Ihre normale Größe, das deutsche „Reichsformat“, ist 25 · 12 · 6,5 cm. Die einzelnen Ziegel werden im Mauerwerk für untergeordnete Zwecke des Maschinenbaues durch Kalkmörtel (gebrannter Kalk mit 2 bis 4 Teilen möglichst scharfen Sandes vermischt), in den meisten Fällen aber durch verlängerten Zementmörtel, d. i. Kalkmörtel mit Zementzusatz, oder durch reinen Zementmörtel (1 Teil Zement auf 3 bis 4 Teile Sand) verbunden. Unter Wasser darf nur hydraulischer Kalk- oder Zementmörtel verwendet werden. Für Fundamente schwerer Maschinen, bei denen Erschütterungen und Stöße nicht ausgeschlossen sind, wird fetter Zementmörtel im Verhältnis 1:2 benutzt. Der Mörtel haftet beim Erstarren an der Steinoberfläche, nimmt im Laufe der Zeit an Festigkeit zu, erreicht aber meist nicht die der Steine, so daß die Belastung von Mauerwerk niedriger als die der verwandten Steine gehalten werden muß. Das Gewicht von 1 m³ Mauerwerk darf zu rund 1600 kg, gut ausgetrocknet zu 1500 kg angenommen werden.

Zement, mit Wasser und wenig Sand angerührt, dient zum Aus- und Untergießen von Rahmen und Lagerstühlen und zum Vergießen der Löcher, in denen Stein- und kurze Fundamentschrauben sitzen. Der Zement verbindet sich dabei sehr fest mit dem Eisen, so daß eine Trennung der Stücke vom Fundament oft nur unter sehr großen Schwierigkeiten möglich ist.

Beton ist eine Mischung von Zementmörtel mit Steinschlag oder grobkörnigem Kies in sehr wechselnden Zusammensetzungen. Er wird in die Baugrube geschüttet, über Erde aber in Holzverschalungen in Lagen von etwa 15 bis 20 cm eingefüllt und sorgfältig festgestampft. Beton erhärtet langsam und erreicht seine endgültige Festigkeit erst nach sehr langer Zeit. Bei den Festigkeitsproben ist deshalb die Erhärtungszeit (meist werden die Versuche nach 28 Tagen ausgeführt) anzugeben. Hochbeanspruchte, namentlich ausgedehnte Fundamente werden zweckmäßig durch Eiseneinlagen verstärkt.

Zu Maschinenfundamenten geeignete Mischungen sind: 1 Raumteil Zement, 3 Raumteile Sand, 6 Raumteile Kies oder Kleinschlag oder 1 Raumteil Zement, 7,5 Raumteile Kiessand. Die Zahlen entsprechen etwa 210 kg Zement im Kubikmeter fertiggestampften Betons. Für Gebäude benutzte Mischungen sind 1:4:8 bzw. 1:10 Raumteile mit rund 160 kg Zement im Kubikmeter fertigen Betons.

Kalk- und Zementmörtel sowie Beton werden durch Säuren und Öl zerstört, indem sie weich werden und zerbröckeln. Deshalb ist auf Fernhaltung des Öls von den Fundamenten durch Ölfänger oder geeignete Ausbildung der Grundplatten größte Sorgfalt zu verwenden.

Dritter Abschnitt.

Allgemeine Gesichtspunkte bei der Gestaltung von Maschinenteilen.

Maßgebend für die Gestaltung der Maschinenteile sind:

- I. ihr besonderer Zweck,
- II. die an ihnen wirkenden Kräfte,
- III. ihre Herstellung und Bearbeitung,
- IV. der Zusammenbau zur ganzen Maschine.

I. Einfluß des Zweckes der Maschinenteile auf die Gestaltung.

Daß der jeweilige Zweck und die Art der Verwendung entscheidenden Einfluß auf die Ausbildung der Maschinenteile haben, zeigen zahlreiche Beispiele anschaulich und deutlich. An stehenden Maschinen müssen die Dampfzylinder in bezug auf Anordnung der Ventile, Unterstützung, Verbindung mit dem Rahmen, Ableitung des Niederschlagwassers usw. ganz anders durchgebildet werden als an liegenden. Vollständig verschieden ist in den beiden Fällen die Beanspruchung und Formgebung der Maschinenrahmen. Aber auch die Kurbelwellenlager und die Schubstangen zeigen wesentliche Unterschiede. Lager für stehende Maschinen können wagrecht geteilt sein, weil die Abnutzung in lotrechter Richtung erfolgt und durch Nachziehen der oberen Schalen ausgeglichen werden kann; bei der Verwendung der gleichen Bauart an liegenden Maschinen würden gerade die größten Kräfte unzulässigerweise auf die Schalenfugen treffen. Die Lager müssen daher schräg geteilt, oder drei- oder vierteilig mit nachstellbaren Seitenschalen ausgeführt werden. Bei den Schubstangen stehender oder liegender Maschinen ist auf die andere Art der Ölzuführung und -verteilung Rücksicht zu nehmen.

Unterschiede an denselben Elementen bei verschiedenen Gattungen von Maschinen sind häufig in den ganz anderen Betriebsverhältnissen begründet, wie u. a. die Gestaltung der Schubstangen für raschlaufende Kleinmotoren, für Lokomotiven, für doppeltwirkende