

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 Festigkeitseigenschaften 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 2% 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—2,6% 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 700° 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 Schweißeeisen 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—3,6% 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

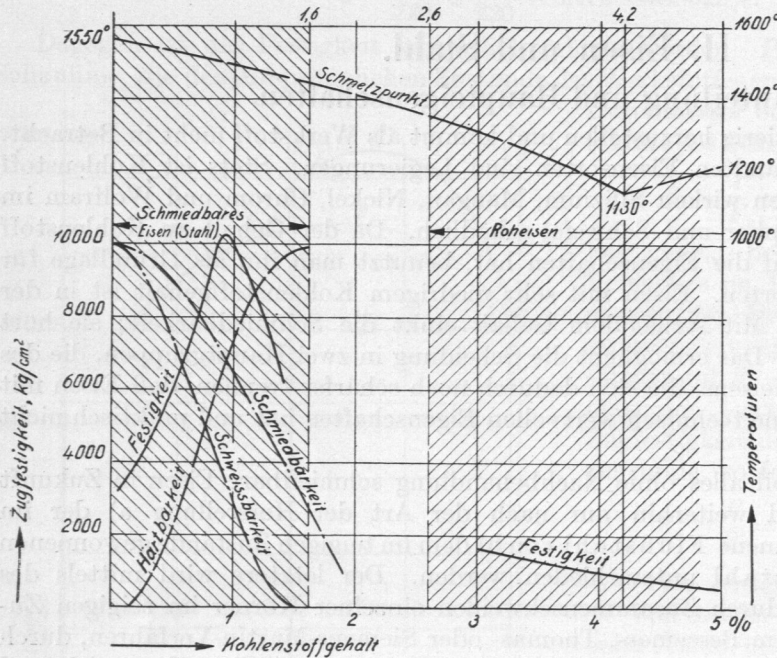


Abb. 83. Eigenschaften der Eisen-Kohlenstofflegierungen.

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.

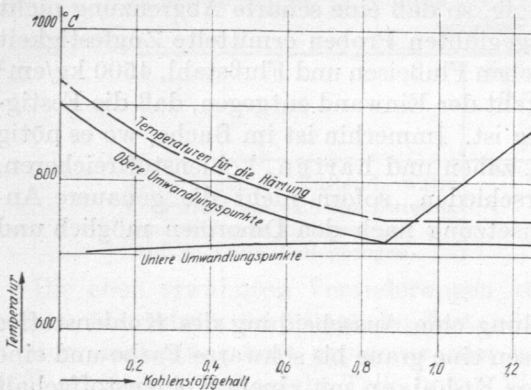


Abb. 84. Härtetemperaturen für Kohlenstoffstahl (unlegierter Stahl).

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 Härtebarkeit 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 Jutestrieken 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.

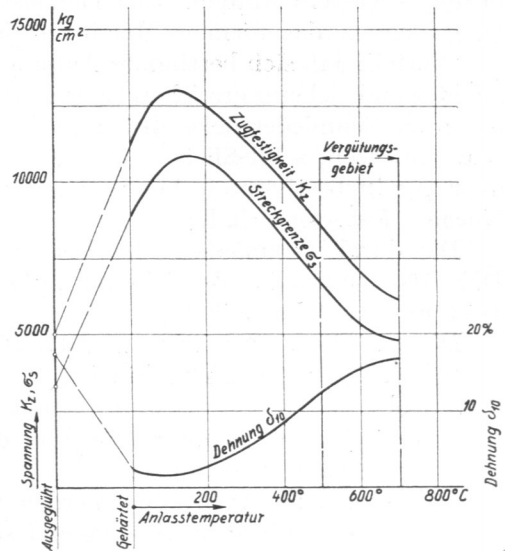


Abb. 85. Einfluß des Härten und Anlassens auf Flußstahl mit etwa 0,3% Kohlenstoffgehalt (nach DIN 1606).

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 teueren 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
Blehdicke, 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	
Blehdicke, 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.

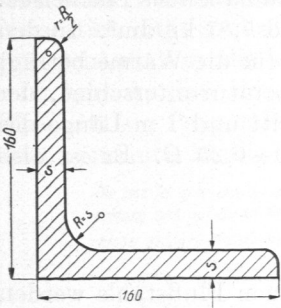


Abb. 86.

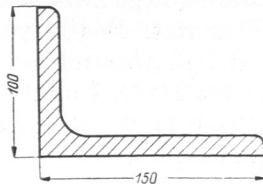


Abb. 87.

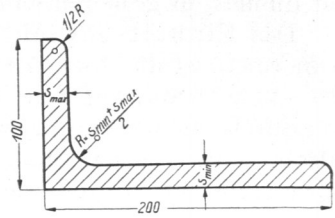


Abb. 88.

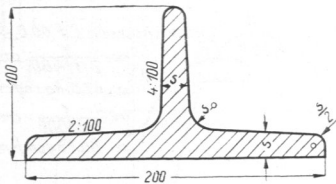


Abb. 89.

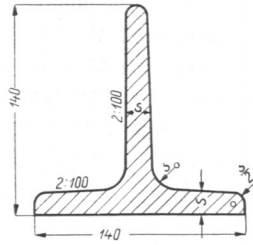


Abb. 90.

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.

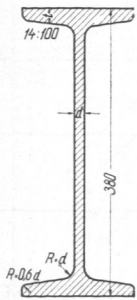


Abb. 91. Doppel-T-Eisen von 38 cm Höhe: I 38.

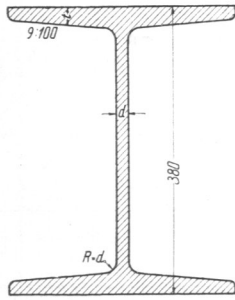


Abb. 92. Differdinger Breitflansch-Eisen von 38 cm Höhe: ID 38.

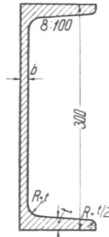


Abb. 93. U-Eisen von 30 cm Höhe: U 30.

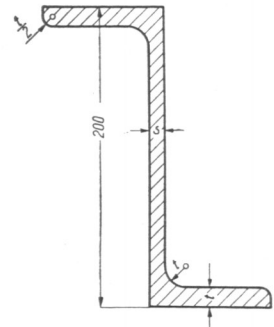


Abb. 94. Z-Eisen von 20 cm Höhe: Z 20.

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.

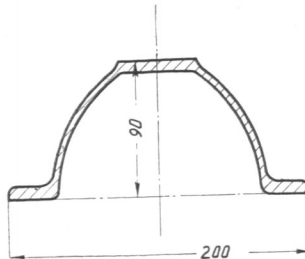


Abb. 95. Belageisen von 9 cm Höhe.

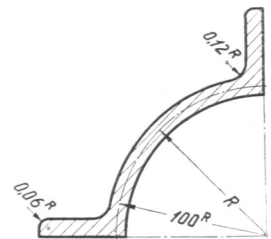


Abb. 96. Quadranteisen mit 100 mm Halbmesser der Wandmitte und 12 mm Dicke der Rundung, r 100 · 12.

Stabeisen kommt als Rund-, Sechs- und Achtkant-, Quadrat- und Flacheisen in den Handel. Breiteisen 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

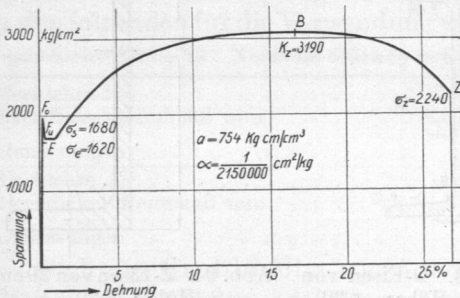


Abb. 97. Schaulinie eines Zugversuchs an weichem Flußstahl.

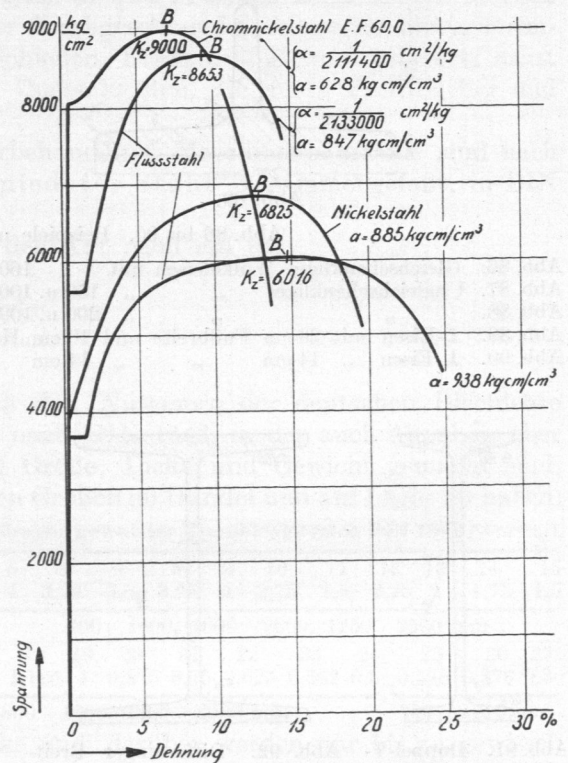


Abb. 98. Zugversuche an Flußstahl, ausgeglüht (nach Bach).

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-

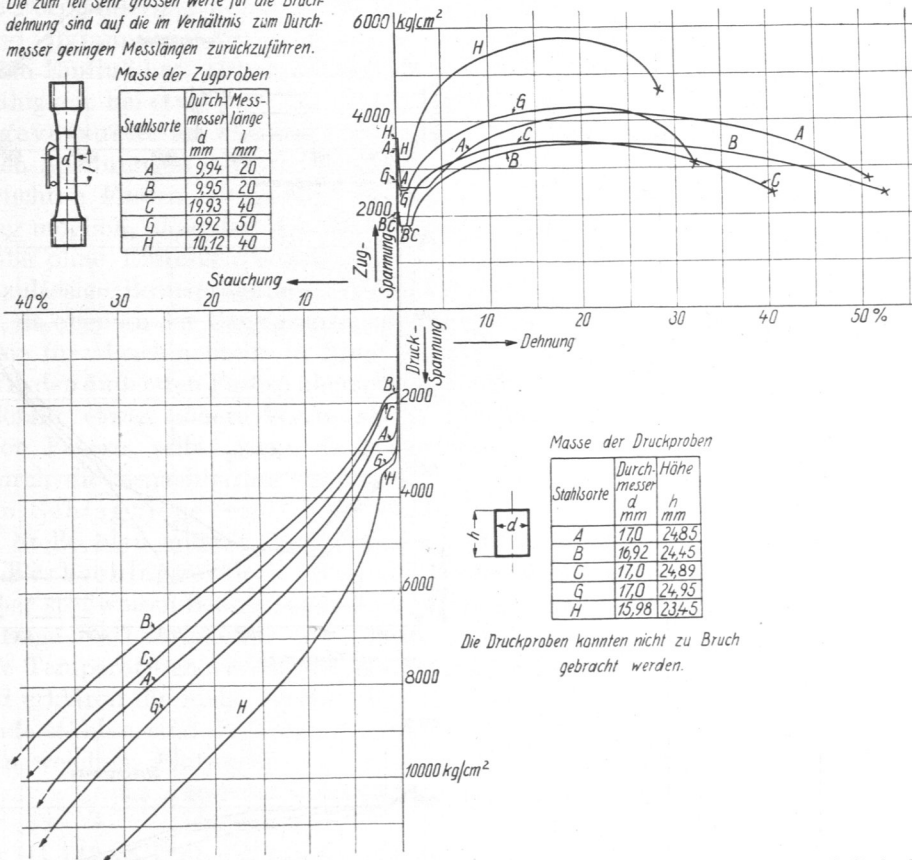
schreiten der Höchstlast infolge der Querschnittverminderung durch die Einschnürung wieder sinkt. Dehnung und Formänderungsarbeit sind groß. Die Streckgrenze liegt im ausgeglühten Zustande an weichen Sorten bei etwa 0,6 der Bruchfestigkeit, an harten bei 0,55 K_z , die Elastizitätsgrenze in beiden Fällen 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.

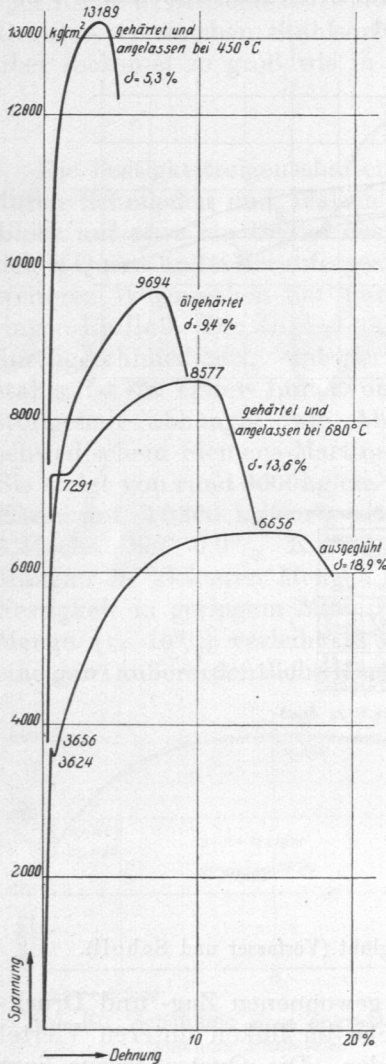


Abb. 99 a. Einfluß des Härten und Anlassens auf die Festigkeit von Siemens-Martin-Flußstahl (Bach).

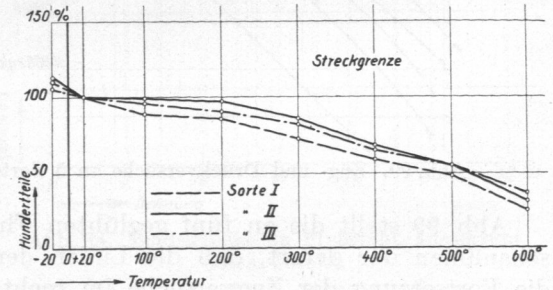
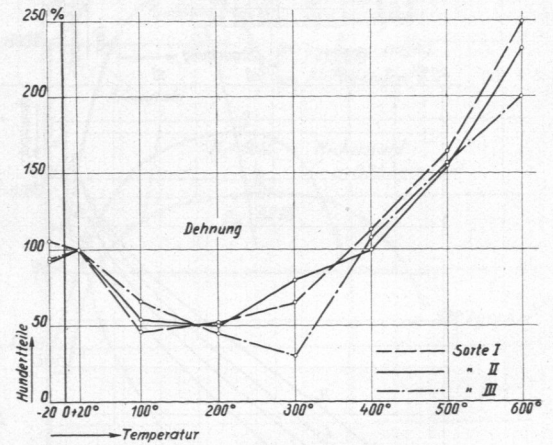
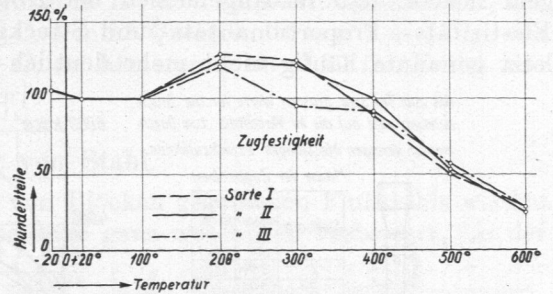


Abb. 100 bis 102. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Flußstahl (Martens).

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 (Blaubruchigkeit).

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-Martinstahls. 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° Biegewinkel, 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		Bemerkungen
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens % am Kurzstab δ_k am Langstab δ_l Probendicke mm						Lichte Weite der Schleife bei 180° Biege Winkel, bezogen auf Probendicke a	
			8 und unter mehr ¹⁾ 8 bis 7	22 7 bis 7	18 7 bis 5	20 und unter mehr ²⁾ 8 bis 7	18 8 bis 7	15 7 bis 5		
<i>St</i> 38.13	Schraubeneisen	38 bis 45	25	22	18	20	18	15	0,5 a	—
<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	
		Zugfestigkeit K_z kg/mm ²	Bruchdehnung am Langstab δ_l mindestens % Blechedicke mm		Lichte Weite der Schleife bei 180° Biege Winkel, bezogen auf Probendicke a , ohne daß auf der Zugseite Risse entstehen	
			5 bis 10	über 10		
<i>St</i> 37.21	Baubleche I	37 ¹⁾ bis 45	18	20	2 a	
<i>St</i> 42.21	Baubleche II	42 bis 50	16	20	2 a	

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 Nietten 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 Höchstfestigkeit 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 Höchstfestigkeiten 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	Martin Stahl	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	Martin Stahl	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
	"	5200	25	20	200	550, 800		—	6295	46 000
Blindwelle für eine elektrische Lokomotive	5% Nickelstahl	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 " " " "	2500	4500	22	Melange = 10fachem Durchmesser	16	Für Teile, die höheren Beanspruchungen ausgesetzt sind und sehr betriebssicher sein müssen oder die sehr reinen Baustoff erfordern. Für Teile, die starkem Verschleiß unterworfen sind, und in gehärtetem Stahl nicht ausgeführt werden können. Auch zur Einsatzhärtung geeignet. Schwere Schiffs- und Maschinenwellen, Lokomotivkurbelwellen usw. Schmiedestücke geringerer Abmessungen, bis etwa 100 mm Dicke. Lokomotivkurbelwellen u. dgl. } Schmiedestücke groß. Kraftwagenachsen für große Leistungen u. Geschwindigkeiten } Abmessung. Für mäßige Beanspruchung. Für mäßige Beanspruchung. Für hohe Beanspruchung, Hinterachsen, wenn Wert auf besondere Vorderachsensch., Zähigkeit des Kerns gelegt } Wechsellager im Kraftwagenbau. Für sehr hohe Beanspruchungen } Zahnräder im Kraftw.-Bau. Für sehr hohe Beanspruchungen }
		3000	5500	20		12	
		3500	6500	18		8	
		4000	7500	14		4	
Nickelstahl	" " " " " " " "	5000	9000	8		—	
		3000	4500	22		30	
		3500	5000	20		über 40	
		3800	5500	18		20	
Chromnickelstahl	" " " " " " " "	4200	5500	18		30	
		4500	6000	18		25	
		4500	6000	18		25	
		4500	5500	18		25	
Chromnickelstahl	" " " " " " " "	7000	8000	14		16	
		6500	7500	16		25	
		1800	3500	25			
		2000	4000	22			
A 20 (Kohlenstoffstahl) A 40 E 1120 (Nickelstahl) E 1200 EF 350 Chromnickelstahl EF 580	" " " " " " " "	2800	4500	22			
		3000	5000	22			
		3000	4500	20			
		4000	6000	20			
Nickelstahl <i>NWW</i> Nickelchromstahl NC 1 NC 4	Bismarckhütte " " " " " " " "	~ 4000	5000—6000	24—18			
		7000—8000	10000—12000	15—8		60—50	
		~ 5000	6000—7000	25—20		55—50	
		~ 9000	11000—13000	12—8		60—65	
Spezialfederstahl B 76 M Spezialfederstahl F 64 D Spezialstahl F 86 O	Krupp " " " " " "	5500—7000	7500—10000	18—10			
		12000—17500	15000—20000	10—5		40—50	
		5200—5750	8340—9560	18—20		37—39	
		12000	14000	5			
		~ 15000	~ 17500—18000	~ 7,5 3,5			
		7500	10000	8			

g) Sonderstähle, Eigenschaften und Anforderungen.

Die teuren, besonders sorgfältig im Tiegel-schmelzverfahren 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 außer-ordentlich fest und dehnbar und zeichnen sich durch große Kerbzähigkeit aus. Natur-harter 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 be-sonderen 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 ver-schiedenen Wärmegraden benutzt werden kann, wenn Wert auf gleiche Maß- und Form-änderungen, wie z. B. an Ventilsitzen gelegt wird. Stahl mit 36% Nickel, Marke Indi-litans, 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 Kohlen-stoffgehalt 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 end-gültige 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 ge-schlossen 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 Schnellschnittstahl m/Min.	mit gewöhnl. Werkzeugstahl m/Min.	mit Schnellschnittstahl 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	Bruchdehnung δ %	Einschnürung ψ %	Bemerkungen
Weicher Schweißstahl	1800–2600	3000–4200	20–12	55–40	Neben den Zugversuchen werden Schmie-, Biege- und Lochversuche verlangt. Außerdem Kaltbiege-, Stauch- u. Lochversuche
Vorschriften für Land- und Schiffsdampfkessel:					
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/cm²,
 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.

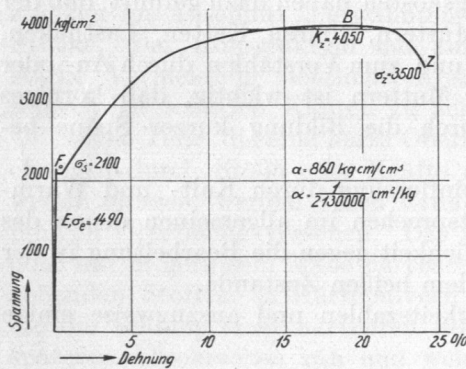


Abb. 103. Spannungs-Dehnungslinie bei einem Zugversuch an weichem Stahlguß.

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	—	—	—	

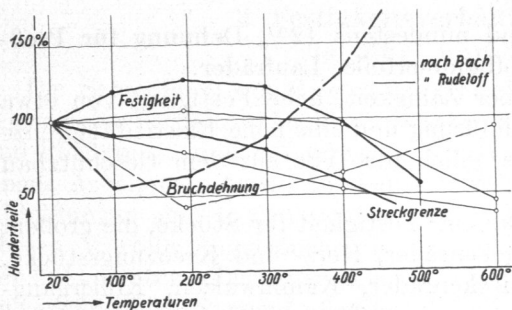


Abb. 104. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit von Stahlguß (Bach, Rudeloff).

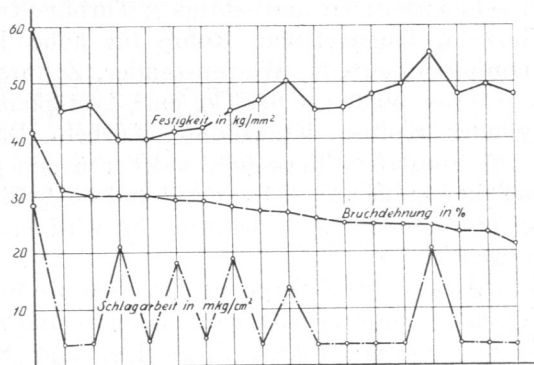


Abb. 105. Kerbschlagversuche an Stahlguß (Ehrensberger).

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, Bremscheiben, 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

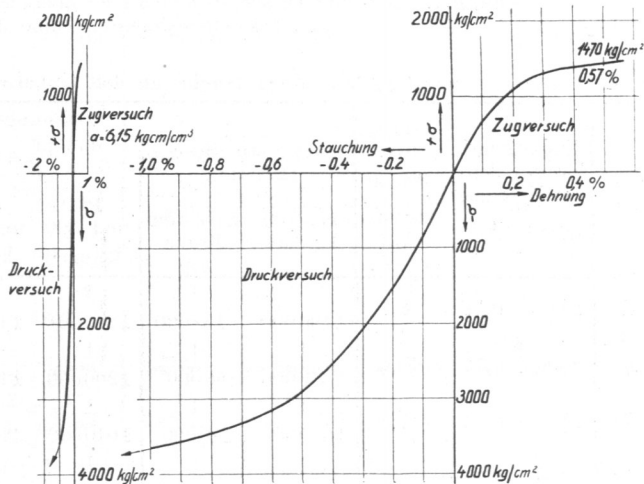


Abb. 106. Zug- und Druckversuch an Gußeisen, links vergleichshalber im gleichen Maßstabe wie Abb. 97.

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.

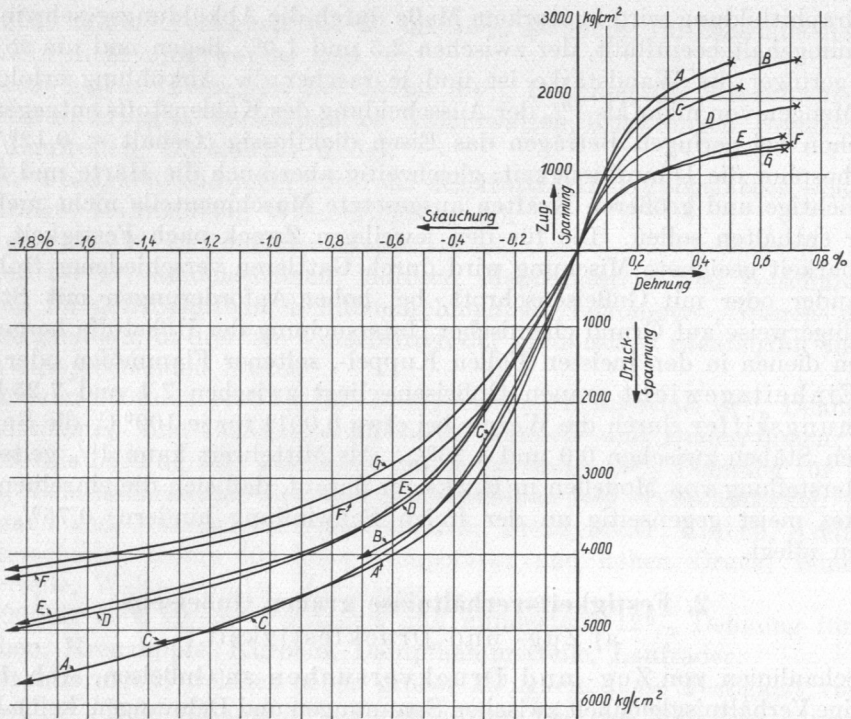


Abb. 107. Zug- und Druckversuche an 7 Gußeisensorten der Motorenfabrik Deutz. Vgl. Zusammenstellung 30 und 31 (Verfasser).

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	—	—	—
F	1390	0,70	7,1	1	1	1	1	100 und 1250 kg/cm ²	—	—
				772000	45000	728000	507000	463000	—	—
G	1330	0,69	7,5	1	1	1	1	100 und 1300 kg/cm ²	—	—
				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.

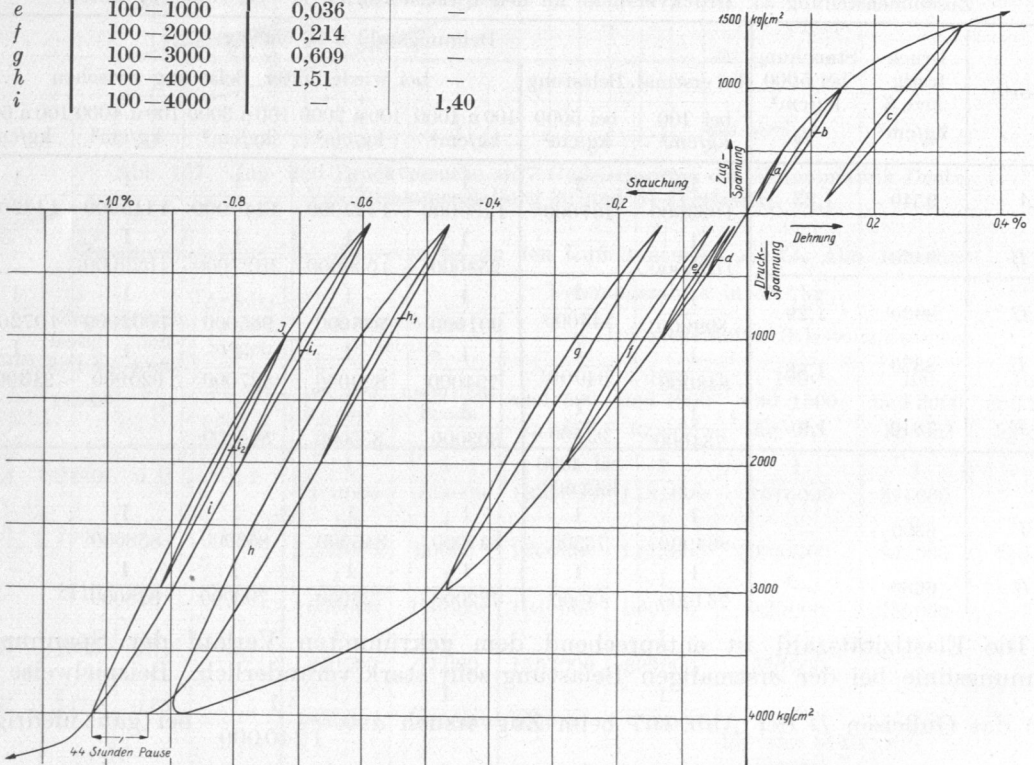


Abb. 108. Hysteresis am Gußeisen D der Zusammenstellungen 30 und 31 (Verfasser).

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 Zustande 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

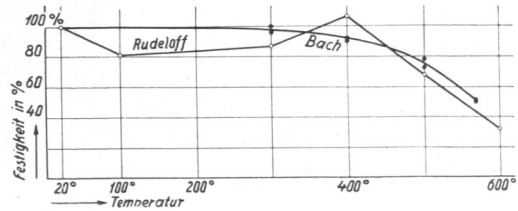


Abb. 109. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit von Gußeisen (Bach, Rudeloff).

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 } Verhältnis der Festigkeit bei <i>t</i> ⁰ zu der bei 20° in Hundertteilen } Zugfestigkeit <i>K</i> _z } Verhältnis der Festigkeit bei <i>t</i> ⁰ zu der bei 20° in Hundertteilen }	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
	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,

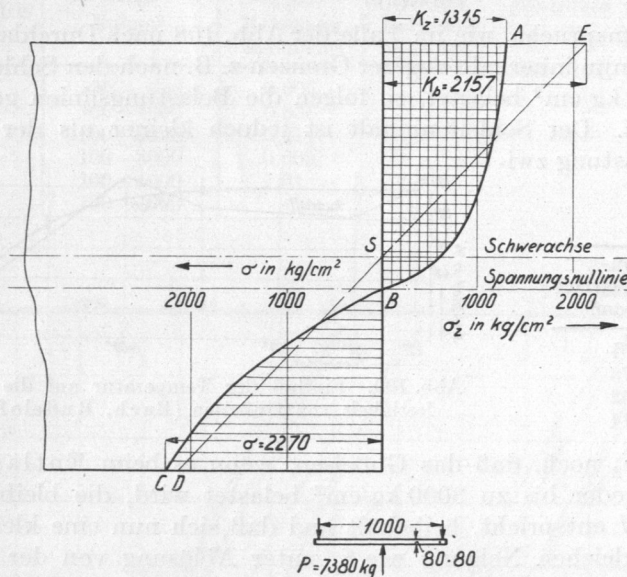


Abb. 110. Spannungsverteilung in einem auf Biegung beanspruchten Gußeisenstabe rechteckigen Querschnitts im Augenblick des Bruches (nach Bach).

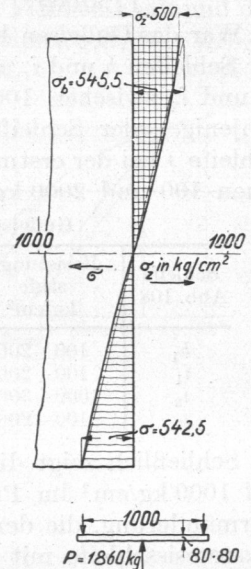


Abb. 111. Spannungsverteilung bei 1860 kg Belastung.

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. 1,64 mal 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

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

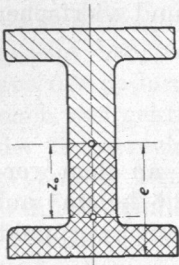


Abb. 112.

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

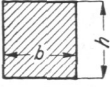
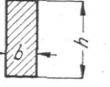
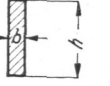
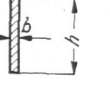
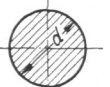

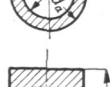
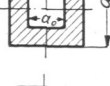
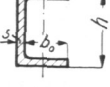
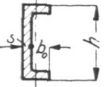
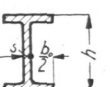

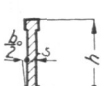
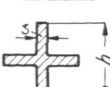
c) Drehfestigkeit.

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 Verhältnismöglichkeit zwischen Spannungen und Formänderungen; die Gleitiziffer 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 gewöhnl. 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, Hebdaumen 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 pflegt 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: