

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 <sup>2</sup>	Gewicht bis zu kg
5 bis unter 6	1600	6	500
6 „ „ 7	1700	7	600
7 „ „ 8	1800	8	700
8 „ „ 9	1900	9	800
9 „ „ 10	2000	10	900
10 „ „ 15	2200	12	1250
15 „ „ 25	2400	15	2500
25 und darüber	2700	20	3500

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

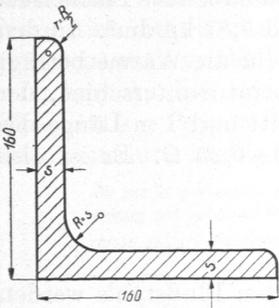


Abb. 86.

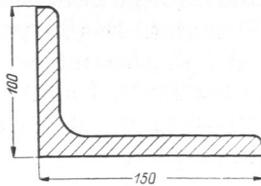


Abb. 87.

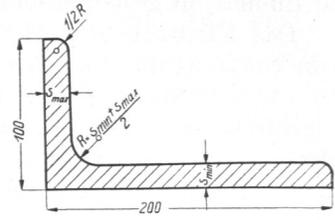


Abb. 88.

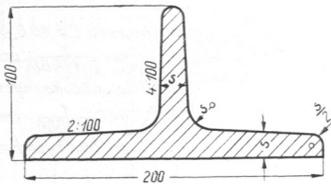


Abb. 89.

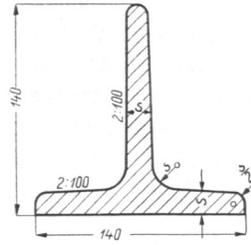


Abb. 90.

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

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

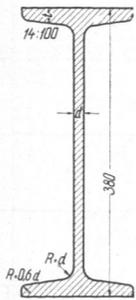


Abb. 91. Doppel-T-Eisen von 38 cm Höhe: I 38.

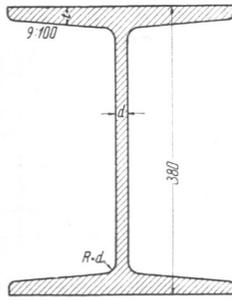


Abb. 92. Differding Breitflansch-Eisen von 38 cm Höhe: ID 38.

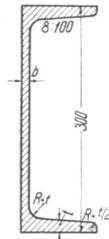


Abb. 93. U-Eisen von 30 cm Höhe: U 30.

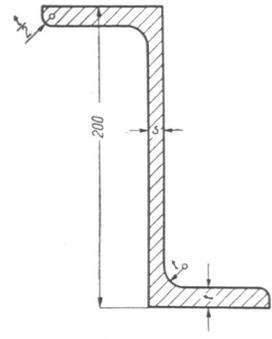


Abb. 94. Z-Eisen von 20 cm Höhe: Z 20.

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

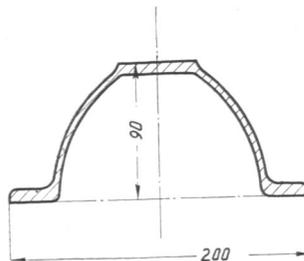


Abb. 95. Belageisen von 9 cm Höhe.

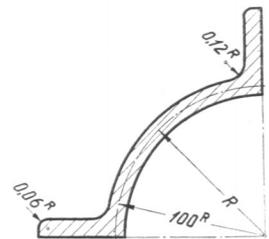


Abb. 96. Quadranteisen mit 100 mm Halbmesser der Wandmitte und 12 mm Dicke der Rundung, I 100 · 12.

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

Das Einheitsgewicht des Flußstahls liegt zwischen 7,85 und 7,87 kg/dm<sup>3</sup>. In den Dinormen ist durchweg 7,85 kg/dm<sup>3</sup> benutzt. Das Leitvermögen für die Wärme beträgt 40—50 kcal/Std. auf 1 m<sup>2</sup> Fläche und 1 m Abstand bei 1° Temperaturunterschied, der spezifische elektrische Leitwiderstand bei 15° C, 1 mm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> an reinem Eisen auf 10300 kg/cm<sup>2</sup>, also auf das 3,4fache bei 0,90/0 Kohlenstoffgehalt. Mangan in kleineren Mengen erhöht die Festigkeit in geringem Maße; bei großer Menge (> 10<sup>0</sup>/0) verleiht es dem Stahl eine ganz außerordentliche Härte. Solcher

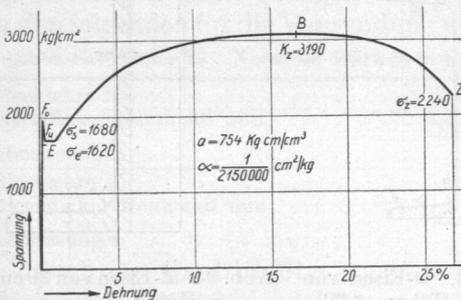


Abb. 97. Schaulinie eines Zugversuchs an weichem Flußstahl.

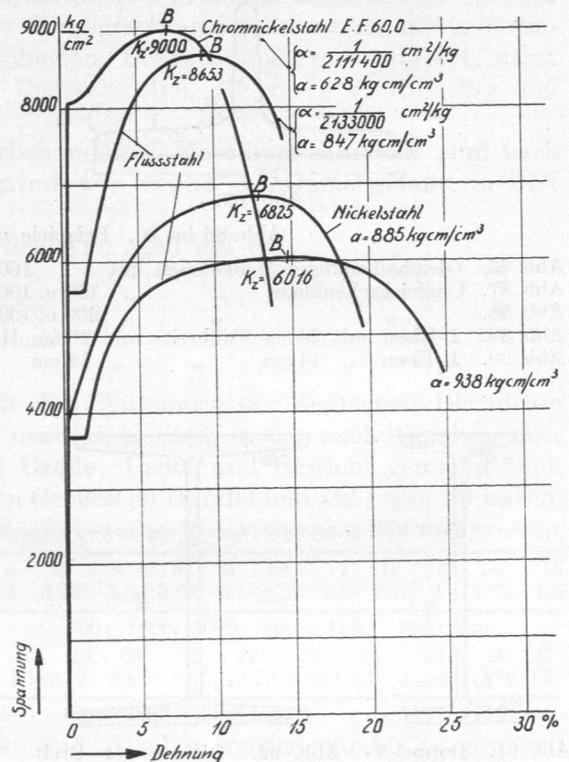


Abb. 98. Zugversuche an Flußstahl, ausgeglüht (nach Bach).

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-

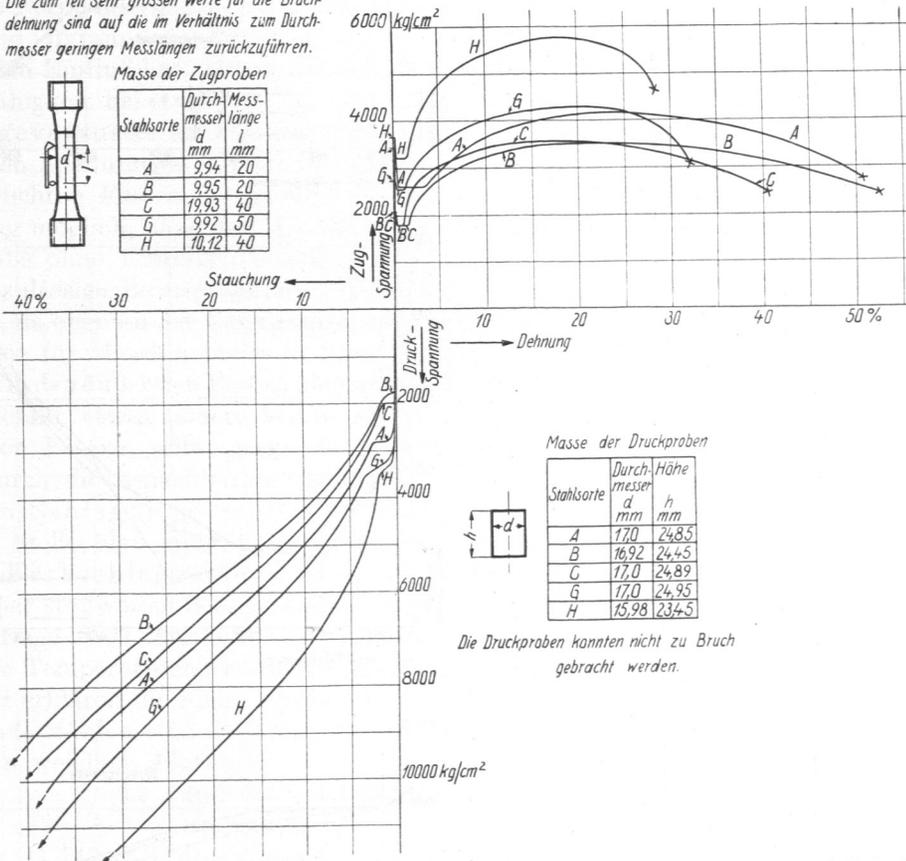
schreiten der Höchstlast infolge der Querschnittverminderung durch die Einschnürung wieder sinkt. Dehnung und Formänderungsarbeit sind groß. Die Streckgrenze liegt im ausgeglühten Zustande an weichen Sorten bei etwa 0,6 der Bruchfestigkeit, an harten bei 0,55  $K_z$ , die Elastizitätsgrenze in beiden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

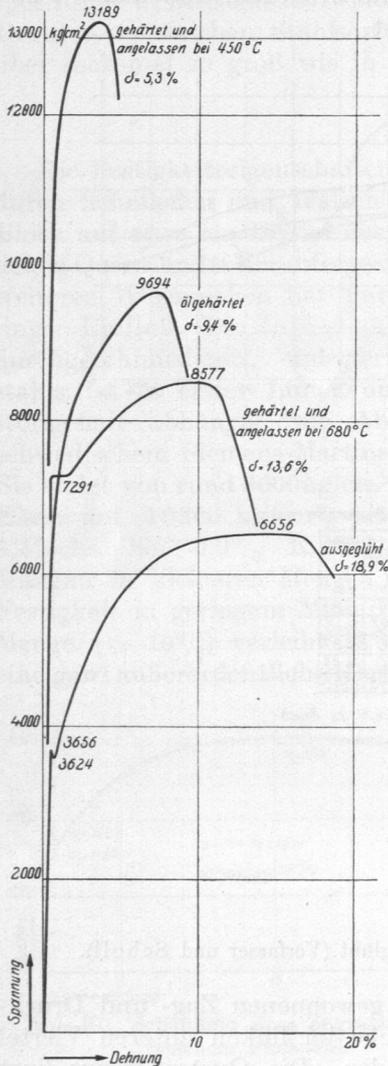


Abb. 99 a. Einfluß des Härten und Anlassens auf die Festigkeit von Siemens-Martin-Flußstahl (Bach).

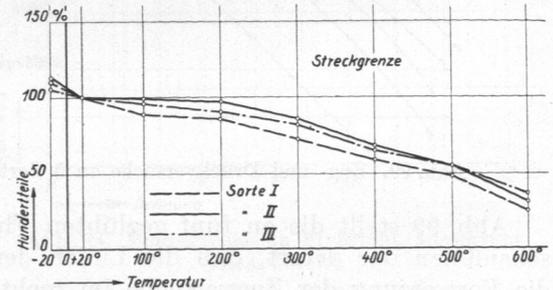
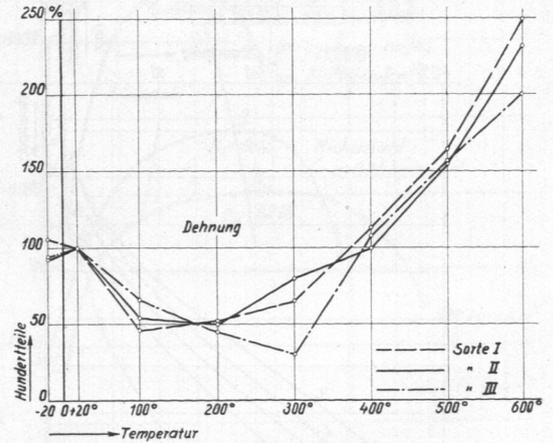
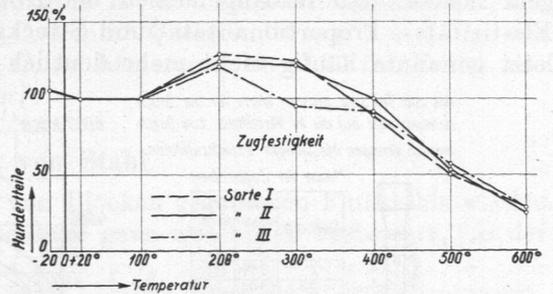


Abb. 100 bis 102. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Flußstahl (Martens).

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 $\sigma_s$ kg/cm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $K_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Bruchdehnung $\delta$ %	Einschnürung $\psi$ %
I	2200	3840	30,4	56,8
II	2600	4370	28,9	48,7
III	2860	4700	28,6	61,5

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaiser [II,14] an Thomasflußstahl von 4010 kg/cm<sup>2</sup> Zugfestigkeit und 26,8% Dehnung

bei gewöhnlicher Temperatur 14,8 mkg/cm<sup>2</sup>  
 „ -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  $\frac{1}{2\,150\,000}$  cm<sup>2</sup>/kg. Bei harten beträgt sie etwa  $\frac{1}{2\,200\,000}$  cm<sup>2</sup>/kg und ist bei gehärtetem Stahl unabhängig von dem Grade der Härtung. Für die Schubzahl gilt  $\beta = \frac{1}{830\,000}$  bzw.  $\frac{1}{850\,000}$  cm<sup>2</sup>/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  $\text{kg/mm}^2$  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  $34 \text{ kg/mm}^2$  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  $34 \text{ kg/mm}^2$  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 <sup>1)</sup> %	Eigenschaften	Verwendungsgebiete und Anwendungsbeispiele
	Zugfestigkeit $K_z$ kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung mindestens				
		am kurzen Normal-o. Proport.-Stab $\delta_5$ %	am langen Normal-o. Proport.-Stab, $\delta_{10}$ %			
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.

<sup>1)</sup> 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 0,04<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, zusammen jedoch nicht größer als 0,07<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. 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 $K_z$	Bruchdehnung, mindestens		Streckgrenze mindestens $\sigma_s$			
			am kurzen Normal-o. Proport.-Stab $\delta_5$	am langen Normal-o. Proport.-Stab $\delta_{10}$				
kg/mm <sup>2</sup>	%	%	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	%		
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	0,8	0,35
	vergütet	47 bis 55	24	20	28			
St C 35.61	ausgeglüht	50 bis 60	23	19	28	~ 0,35	0,8	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	0,8	0,35
	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 $K_z$	Bruchdehnung mindestens %						Lichte Weite der Schleife bei 180°	
			am Kurzstab $\delta_k$			am Langstab $\delta_l$				
kg/mm <sup>2</sup>	30 <sup>1)</sup> bis 8	unter 8 bis 7	unter 7 bis 5	30 <sup>2)</sup> bis 8	unter 8 bis 7	unter 7 bis 5	7 bis 5	Probendicke $a$		
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 zusammenschlagen 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.								

<sup>1)</sup> Die in dieser Spalte angegebenen Werte gelten allgemein auch für  $\delta_5$  am kurzen Proportionalstab nach DIN 1605. Bei dem im Auslande zum Teil üblichen kleineren Meßlängenverhältnis werden die Dehnungswerte entsprechend höher.

<sup>2)</sup> Die in dieser Spalte angegebenen Werte gelten allgemein auch für  $\delta_{10}$  am langen Proportionalstab nach DIN 1605.

Für den Werkstoff zu Kupplungsteilen an Eisenbahnfahrzeugen werden die Eigenschaften des *St* 44.12, jedoch 45—52 kg/mm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	Bruchdehnung mindestens % am Kurzstab $\delta_k$   am Langstab $\delta_l$ Probendicke mm						Lichte Weite der Schleife bei 180° Biegewinkel, bezogen auf Probendicke $a$	
			8 und mehr <sup>1)</sup>	unter 8 bis 7	unter 7 bis 5	8 und mehr <sup>2)</sup>	unter 8 bis 7	unter 7 bis 5		
<i>St</i> 38.13	Schraubeneisen	38 bis 45	25	22	18	20	18	15	0,5 $a$	—
<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.

<sup>1)</sup> und <sup>2)</sup> 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 <sup>2</sup>	Bruchdehnung am Langstab $\delta_l$ mindestens % Blechedicke mm		Lichte Weite der Schleife bei 180° Biegewinkel, bezogen auf Probendicke $a$ , ohne daß auf der Zugseite Risse entstehen	
			5 bis 10	über 10		
<i>St</i> 37.21	Baubleche I	37 <sup>1)</sup> bis 45	18	20	2 $a$	
<i>St</i> 42.21	Baubleche II	42 bis 50	16	20	2 $a$	

<sup>1)</sup> 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  $4100 \text{ kg/cm}^2$  verwendet werden, darf das Nietmaterial entsprechend bis zu  $4700 \text{ kg/cm}^2$  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  $180^\circ$  biegen lassen.

An den Nietten selbst muß sich  $\alpha$ ) 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.

$\beta$ ) 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  $4700 \text{ kg/cm}^2$  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  $5100 \text{ kg/cm}^2$  haben. In bezug auf die Mindestdehnung ist folgende Zahlentafel maßgebend:

Festigkeit $\text{kg/cm}^2$ . . . . .	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  $3600 \text{ kg/cm}^2$ ),

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

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

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  $5 \text{ m}$  höchstens  $600 \text{ kg/cm}^2$ ,  
über  $5 \text{ m}$  höchstens  $700 \text{ kg/cm}^2$

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  $4100 \text{ kg/cm}^2$  einschließlich, in Längs- und Querfasern flach, von  $4100$  bis  $4700 \text{ kg/cm}^2$  um einen Dorn mit einem Durchmesser von der zweifachen Blechdicke,

über 4700 kg/cm<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	Bruch- dehnung $\delta$ %	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 . . . . .	Nickelstahl	6350	22,3	20	200	640	255	925	18070	101500
Vierfache Kurbelwelle, aus 4 zusammengebauten Kurbelwellenteilen für den Schnelldampfer Deutschland . . . . .	Martin Stahl	5300	25,3	12	120	550	140	760	11610	55090
Kurbelwelle für eine Gasgebläsemaschine . . . . .	"	4800	24	20	200	525		650	7680	22250
Dreifache Kurbelwelle für eine Drillings-Walzenzug-Maschine . . . . .	"	5480	22,5	12	120	760, 600		1000	7660	34700
Kurbelwelle mit 2 aufgezogenen Stahlfußkurbeln für eine Fördermaschine . . . . .	"	4990	29,6	20	200	450, 630		650	8950	46 000
Dreifache Kurbelwelle } für eine Maschine in einer Dynamowelle } elektrischen Zentrale	"	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/cm<sup>2</sup> bei einer Dehnung von mindestens 18<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ergeben.

#### d) Eisenbahnachsen.

Nach den Vorschriften des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute haben Zugstäbe von 20 mm Durchmesser und 200 mm Meßlänge mindestens 5000 kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup>, für Wagen- und Tenderreifen 5000 kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> an der Fließgrenze und 8540 bis 9310 kg/cm<sup>2</sup> Bruchfestigkeit bei 16 bis 18<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Dehnung oder Chromvanadiumstahl von 5740 bis 6580 kg/cm<sup>2</sup> an der Fließgrenze und 7750 bis 8540 kg/cm<sup>2</sup> Bruchfestigkeit bei 17 bis 18<sup>0</sup>/<sub>0</sub> 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/cm<sup>2</sup>. 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 Fernsprehdraht aus hartem Flußstahl wird eine Zugfestigkeit von 13000 bis 14000 kg/cm<sup>2</sup>, eine Dehnung, gemessen an einer Länge von 500 mm, von 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, bei Drähten unter 2 mm Durchmesser von 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> 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 $\sigma_s$ kg/cm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $K_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Dehnung $\delta$ o/o	Einschnü- rung $\psi$ o/o	Kerb- zähigkeit mkg/cm <sup>2</sup>	Anwendungsgebiete und Bemerkungen
Tiegelstahl . . . . .	Krupp " " " "	weich mittelhart hart sehr hart	2500 3000 3500 4000	4500 5500 6500 7500	22 20 18 14	16 12 8 4	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 wird. } Kraftwagenbau.
		naturhart	5000	9000	8	—	
		weich mittelhart	3000 3500	4500 5000	22 20	30 über 40	
			3800 4200 4500	5500 5500 6000	18 18 18	20 30 25	
Nickelstahl . . . . .	" " " "	weich mittelhart	4500	6000	18	25	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 wird. } Kraftwagenbau.
			4500 7000 6500	5500 8000 7500	18 14 16	25 16 25	
Chromnickelstahl . . . . .	" " " "	weich mittelhart	1800 2000	3500 4000	25 22	25 16 25	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 wird. } Kraftwagenbau.
			2800 3000	4500 5000	22 22	22 22	
Stahl für Einsatz- härtung weich ge- glüht	" " " "	weich mittelhart	3000 4000	4500 6000	20 20	20 20	Für sehr hohe Beanspruchungen } Zahnräder im Für sehr hohe Beanspruchungen } Kraftw.-Bau.
			2800 3000	4500 5000	22 22	22 22	
Nickelstahl <i>NWW</i> . . . . .	Bismarckhütte " " " " " "	ungehärtet gehärtet ungehärtet gehärtet ungehärtet gehärtet	~ 4000 7000—8000 ~ 5000 ~ 9000 5500—7000 12000—17500	5000—6000 10000—12000 6000—7000 11000—13000 7500—10000 15000—20000	24—18 15—8 25—20 12—8 40—30 18—10 10—5	60—50 55—50 60—65 40—30 40—50 40—30	Für Teile, die durch starke Stöße oder auf Verschleiß beansprucht sind (Zahnräder, Nocken, Rollen), ferner für hoch beanspruchte Wellen, Spindeln und Zapfen, die im Einsatz gehärtet werden.
			~ 4000 7000—8000 ~ 5000 ~ 9000 5500—7000 12000—17500	5000—6000 10000—12000 6000—7000 11000—13000 7500—10000 15000—20000	24—18 15—8 25—20 12—8 40—30 18—10 10—5	60—50 55—50 60—65 40—30 40—50 40—30	
			~ 4000 7000—8000 ~ 5000 ~ 9000 5500—7000 12000—17500	5000—6000 10000—12000 6000—7000 11000—13000 7500—10000 15000—20000	24—18 15—8 25—20 12—8 40—30 18—10 10—5	60—50 55—50 60—65 40—30 40—50 40—30	
			~ 4000 7000—8000 ~ 5000 ~ 9000 5500—7000 12000—17500	5000—6000 10000—12000 6000—7000 11000—13000 7500—10000 15000—20000	24—18 15—8 25—20 12—8 40—30 18—10 10—5	60—50 55—50 60—65 40—30 40—50 40—30	
Spezialfederstahl <i>B 76 M</i> Spezialfederstahl <i>F 64 D</i> Spezialstahl <i>F 86 O</i> . . . . .	Krupp " " " "	ungehärtet gehärtet ungehärtet gehärtet	5200—5750 12000 ~ 15000 17500—18000 7500	8340—9560 14000 ~ 15000 17500—18000 10000	18—20 5 ~ 7,5 3,5 8	37—39	Für hoch beanspruchte Federn. Für Federn an Rennwagen. Die Faserspannung kann bis 14500 kg/cm <sup>2</sup> gesteigert werden, ohne daß eine bleibende Durchbiegung eintritt. Für Teile mit starkem Verschleiß, ferner solche, die große Festigkeit bei hohen Wärmegraden haben müssen (Zylinder von Metallpressen).
			5200—5750 12000 ~ 15000 17500—18000 7500	8340—9560 14000 ~ 15000 17500—18000 10000	18—20 5 ~ 7,5 3,5 8	37—39	

## g) Sonderstähle, Eigenschaften und Anforderungen.

Die teuren, besonders sorgfältig im Tiegel- oder im elektrischen Ofen hergestellten Sonder- und legierten Stähle kommen für stark beanspruchte Teile, bei denen gleichzeitig hohe Betriebsicherheit verlangt wird, in Frage. Ein Hauptgebiet ihrer Anwendung sind Kraftwagen- und Leichtmotoren, an denen es gilt, mit möglichst geringen Gewichten auszukommen. Die Zusammenstellung 27 bringt einige Angaben zweier Werke über solche hochwertige Stähle in bezug auf ihre Verwendung und die Anforderungen, die an sie gestellt werden können. Wegen der Einzelheiten und der Behandlung der Stähle, die oft große Sorgfalt verlangt und bei der kleine Fehler den Baustoff verderben und wertlos machen können, muß auf die ausführlichen Drucksachen der Werke verwiesen werden. Es empfiehlt sich vielfach, die Teile fertig oder vorge-schmiedet vom Erzeuger zu beziehen. Legierungen mit Nickel und Chrom sind 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/cm<sup>2</sup> an der Streckgrenze, 6000 kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> 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, Spurfpannen, Druckplatten, Steuerdaumen, Kugel- und Rollenlagern usw. Die große elastische Arbeitsfähigkeit angelassenen Stahls begründet seine Anwendung zu Federn aller Art.

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

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

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

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

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

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

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

Gehärteter Stahl läßt sich nur noch schleifen.

### C. Schweißstahl.

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

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

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

Zusammenstellung 28. Anforderungen an Schweißstahl.

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

Die Dehnungszahl ist etwa  $\alpha = \frac{1}{2000000}$ , die Schubzahl  $\beta = \frac{1}{770000}$  cm<sup>2</sup>/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.