

VI. Die Festigkeitseigenschaften und die Härte.

A. Gesichtspunkte für den Konstrukteur bei der Auswahl der Materialien.

287. Der Konstrukteur hat durch die richtige Bemessung der einzelnen Teile einer Maschine oder eines sonstigen Bauwerkes dahin zu streben, daß jeder dieser Teile während seiner Dienstleistung dauernd nur elastischen Formänderungen ausgesetzt ist.

Die äußerste Grenze für die Beanspruchung eines Materials würde demnach durch seine Elastizitätsgrenze (E -Grenze oder σ_E) für die betreffende Art der Beanspruchung gegeben sein (Begriffserklärung s. I, 41), weil bei Beanspruchung über diese Grenze der Bauteil seine Abmessungen bleibend verändert.

In der Regel bewertet der Konstrukteur das Material auf Grund der durch den Zugversuch gewonnenen Zahlenwerte der Festigkeitseigenschaften. In besonderen Fällen, wenn das Material im Bauwerk oder der Maschine besonderen Beanspruchungen unterworfen ist, und sein Widerstand diesen Beanspruchungen gegenüber durch den Zugversuch nicht genügend gekennzeichnet wird, sucht der Konstrukteur durch ergänzende Prüfungen sein Urteil über Eignung des Materials für den bestimmten besonderen Zweck zu erweitern (Druck-, Verdrehungs-, Scher-, Biege-, Schlag-, Beschußversuche usw.).

Durch Vorschrift bestimmter Grenzwerte für die durch diese Prüfungen zu ermittelnden Festigkeitseigenschaften (Lieferbedingungen) versucht man dann Material von der Verwendung zum Bauwerk fernzuhalten, das den Voraussetzungen, die der Konstrukteur bei der Bemessung der einzelnen Teile zugrunde gelegt hat, nicht entspricht.

Ebenso wesentlich ist natürlich, daß bei der Bauausführung das Material keine Behandlung erfährt, die seine Eigenschaften derart ändert, daß es aufhört, den vom Konstrukteur gemachten Voraussetzungen zu genügen.

Da die Ermittlung der E -Grenze bei der Prüfung des Materials umständlich ist und ihre Lage wesentlich von der Genauigkeit des Meßverfahrens abhängt, begnügt man sich in der Regel mit der Bestimmung der Streckgrenze (S -Grenze, σ_S , I, 38), die höher liegt als die E -Grenze. Dem trägt der Konstrukteur dadurch Rechnung, daß er als oberste Grenze für die Beanspruchung des Materials, für die sogenannte zulässige Spannung σ_k , einen Bruchteil der S -Grenze wählt:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_S}{m},$$

wobei m stets größer als 1 ist. Der Grenzwert von $m = m'$ würde für σ_k die E -Grenze ergeben. Wie weit man aus Gründen der Sicherheit der Konstruktion

mit σ_k unterhalb des Grenzwertes $\frac{\sigma_S}{m'}$ zu bleiben hat, hängt davon ab, wieweit man im Interesse der Verminderung des Gewichts der Konstruktion gezwungen ist, die Leistungsfähigkeit des Materials auszunutzen. Man wird bei Bauteilen, bei denen Gewichtersparnis wegen der Eigenart der Konstruktion oder wegen des Preises in besonders hohem Maße angestrebt wird, mit σ_k näher an den oben angedeuteten Grenzwert herangehen, als in Fällen, wo dieser Gesichtspunkt weniger in den Vordergrund tritt.

Manche Materialien zeigen beim Zugversuch keine scharf ausgeprägte S -Grenze. Um in solchen Fällen Übereinstimmung der an verschiedenen Stellen gewonnenen Werte der S -Grenze zu erzielen, definiert man einer besonders vom Kgl. Materialprüfungsamte, Gr.-Lichterfelde, ausgegangenen Anregung entsprechend, die S -Grenze als diejenige Spannung, die beim Zugversuch einer vereinbarten bleibenden Dehnung von $n\%$ entspricht. Diese Grenze soll der Kürze halber mit n -Grenze bezeichnet werden. Häufig wird $n=0,2\%$ gewählt. Die entsprechende Grenze möge dann $0,2$ -Grenze heißen.

Vielfach ist es in den Kreisen der Konstrukteure üblich, nicht die S -Grenze, sondern die Bruchgrenze (σ_B oder B -Grenze) als Ausgangspunkt für die Wahl der zulässigen Spannung σ_k zu wählen. Man setzt dann

$$\sigma_k = \frac{\sigma_B}{n}$$

und bezeichnet n als den „Sicherheitsfaktor“. Das ist gerechtfertigt, wenn man das Verhältnis $\nu = \frac{\sigma_S}{\sigma_B}$ für eine bestimmte Materialgattung in einem bestimmten Zustand der Vorbehandlung kennt, also imstande ist, n so zu wählen, daß $\sigma_k < \frac{\sigma_S}{m'} < \frac{\sigma_B \cdot \nu}{m'}$ und somit $n > \frac{m'}{\nu}$. Für Eisen-Kohlenstoff-Legierungen (Fluß-eisen, Flußstahl), soweit sie nicht kaltgereckt oder abgeschreckt sind, liegt ν in der Regel zwischen 0,5 und 0,65. Man hätte dann n größer zu wählen als $m'/0,5$ oder größer als $2m'$.

Die richtige Wahl der Größe m' und der davon abhängigen n bedingt einen wesentlichen Teil der Tätigkeit des Konstrukteurs und erfordert große Erfahrung. Die große Zahl der im Dienst befindlichen Bauwerke, bei deren Berechnung bestimmte Werte von n bzw. m' zugrunde gelegt wurden, und die während ihrer Dienstzeit den Anforderungen der Sicherheit unter bestimmten Bedingungen entsprachen, gibt einen Anhalt für die Wahl von m' und n in späteren Fällen. Ob und wieweit diese Verhältniszahlen vermindert werden können, ohne daß unter gewissen Bedingungen die Sicherheit der Konstruktion leidet, läßt sich ebenfalls aus den Erfahrungen ableiten, die man mit ähnlichen Bauwerken während ihrer Betriebszeit gemacht hat.

Angaben über die Wahl von m' und n auf Grund der gemachten Erfahrungen gehören in Lehrbücher über Maschinen- und Konstruktionselemente. Diese Zahlen haben mit dem Material als solchem nichts zu tun und sollen hier, wo es sich nur um die Lehre von den Materialien handelt, nicht angeführt werden.

288. Für Bauwerke, die im Dienst „Dauerbeanspruchungen“, d. h. sich sehr häufig wiederholenden Beanspruchungen zwischen einer oberen und einer unteren Grenzspannung ausgesetzt sind, würde als scheinbar zweckmäßigster Anhalt für die Wahl der zulässigen Spannung σ_k die sogenannte Arbeitsfestigkeit des Materials σ_N in Frage kommen (I, 321 bis 324). Das ist diejenige Spannung, die das Material ertragen kann, ohne daß durch eine sehr große Zahl von Wiederholungen dieser Spannung der Bruch herbeigeführt wird. Dadurch würde der Material-

prüfung die Aufgabe erwachsen, für verschiedene wichtige Konstruktionsmaterialien in den verschiedenen Zuständen der Vorbehandlung die Arbeitsfestigkeit σ_N zu ermitteln. Dem stellen sich aber aus folgenden Gründen erhebliche Schwierigkeiten entgegen:

1. Die Größe von σ_N ist für jedes Material in einem bestimmten Behandlungszustand je nach der Art der Beanspruchung (Zug, Druck, Biegung usw.) verschieden.
2. Die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen oft wiederholte Anspannung hängt nicht allein von der Größe der Höchstspannung ab, bis zu der es wiederholt angespannt wird, sondern auch von dem Abstand der beiden Grenzspannungen, zwischen denen die Anspannung stattfindet, also von der Amplitude der Anspannungen. Je höher die obere Grenze für die Anspannung hinaufrückt, desto kleiner muß die Amplitude werden, wenn nicht durch oft wiederholte Anspannung Bruch herbeigeführt werden soll.
3. Die Ermittlung von σ_N erfordert kostspielige, sich über Jahre hinaus erstreckende Untersuchungen.
4. Der gefundene Wert von σ_N ist in hohem Maße abhängig von der Form und den Abmessungen der Probestäbe, so daß aus dem für eine Probestabform gewonnenen Werte σ_N eines Materials in bestimmtem Vorbehandlungszustand noch kein quantitativer Schluß auf das Verhalten des Materials im allgemeinen gezogen werden kann. Auch die Zahl der in der Zeiteinheit durchgeführten Anspannungen scheint Einfluß auf den Wert σ_N zu haben. Ebenso mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit der Verlauf der durch die Art der Anspannungen bedingten Wellenlinie der Spannungsschwingungen.
5. Geringe Fehlstellen im Material haben sehr starken Einfluß auf die Lage von σ_N . Die Fehlstellen können hierbei sehr geringfügig sein. Sie können entweder im Material selbst liegen, oder auch auf äußere Beschädigung zurückzuführen sein. So können bereits feine zur Messung der Längenänderung mit Hilfe der Reißnadel angebrachte Marken zu stark erniedrigten Werten von σ_N führen.

Aus allen diesen Gründen ist die Ermittlung von σ_N als Unterlage für den Konstrukteur zur Zeit praktisch nicht allgemein durchführbar. Die darüber vorliegenden und in Zukunft noch erhaltenen Versuchsergebnisse verlieren dadurch nicht an Wert. Sie geben gewisse qualitative Anhalte und Gesichtspunkte. Sie werden aber voraussichtlich nicht zu bestimmten unmittelbar für den Konstrukteur verwendbaren Zahlenwerten führen. Dieser ist also auch für den Fall, daß die von ihm entworfene Konstruktion im Betrieb häufig wiederholten, zwischen zwei äußersten Grenzen liegenden Beanspruchungen ausgesetzt ist, auf die Wahl von m' bzw. n nach den im vorigen Absatz angegebenen Gesichtspunkten angewiesen. Die Erfahrung muß hier ein besonders gewichtiges Wort sprechen, damit für m' bzw. n in bestimmten Fällen die richtige Auswahl getroffen wird.

Besonders ist durch die Versuche von Wöhler, Martens und anderen ersichtlich geworden, daß scharfe Übergänge von einem Querschnitt eines Konstruktionsteils zu einem anderen Querschnitt den Wert für σ_N bedeutend erniedrigen. Für den Konstrukteur folgt hieraus die wichtige Regel, solche scharfe Übergänge nach Möglichkeit zu vermeiden, oder wenn dies nicht angängig ist, m' bzw. n entsprechend größer, also σ_k kleiner zu wählen. Wie weit man hierbei zu gehen hat, kann nur die Erfahrung an ähnlichen im Dienst befindlichen Bauwerken lehren. Verschiedene Materialien zeigen verschieden große Empfindlich-

keit gegenüber solchen scharfen Übergängen. Vgl. das im Abschnitt über Kerbwirkung Gesagte (339 bis 349).

289. Ein Blick in die Liefervorschriften für Konstruktionsmaterialien zeigt, daß der Konstrukteur bei der Auswahl des Materials noch besonderen Wert auf die Größe der Bruchdehnung δ beim Zugversuch legt (I, 47). Dies könnte auf den ersten Blick auffällig erscheinen, da ja die erste Grundbedingung für den Konstrukteur war, durch richtige Wahl der Abmessungen und der Spannungsverteilungen im Bauwerk bleibende Formänderungen während der Dienstleistung des Bauwerks zu verhindern. Welches Interesse kann er nun an der Kenntnis der Bruchdehnung eines Materials haben, die ein Maßstab für die bleibende Formänderung bei Beanspruchung bis zum Bruch ist?

Bei der Berechnung der höchsten Spannungen, die ein Teil einer Konstruktion voraussichtlich auszuhalten hat, muß der Konstrukteur die voraussichtlich höchste jemals vorkommende Belastung des Bauwerks oder der Maschine zugrunde legen, die ihm von dem Besteller angegeben wird. Ob diese Belastung während der späteren Dienstleistung des Bauwerks oder der Maschine vorübergehend durch Zufall oder durch unglückliche Umstände überschritten werden kann, entzieht sich seiner Beurteilung. Es können auch durch mangelhafte Bauausführung oder durch Materialfehler Umstände hinzukommen, welche die vom Konstrukteur gemachten Voraussetzungen umstoßen und in einzelnen Teilen stärkere Beanspruchungen erzeugen, als unter normalen Verhältnissen vorausgesehen werden konnte. Durch zufälligen Bruch eines Teiles des Bauwerks oder der Maschine können starke Überanspruchungen der übrigen Teile vorkommen, die dann weitere Zerstörungen zur Folge haben können. Der Konstrukteur muß also mit einer wesentlichen Überschreitung der von ihm seiner Rechnung zugrunde gelegten Spannungen für Ausnahmefälle rechnen und deren Folgen zu mildern suchen.

Er wird deshalb ein Material bevorzugen, das nach Überschreitung der Streckgrenze durch bleibende Formänderung eine möglichst große Arbeit aufzuzehren vermag. Er rechnet dann darauf, daß die zufällige Überanspruchung nicht sofort Bruch herbeiführt, sondern möglichst durch die Formänderungsarbeit des Materials vor Eintritt des Bruchs aufgebraucht wird. Die bemerkbare Formänderung des Bauteiles ist dann ein Warnungszeichen für denjenigen, dem die Überwachung des Bauwerks obliegt. Die Formänderungsarbeit des Materials bis zum Bruch ist sonach ein Arbeitsvorrat, der nur für den Fall der Überanspruchung in Frage kommt, für den normalen Dienst des Bauwerks aber nicht in Anspruch genommen wird. Dieser Vorrat bedeutet eine Erhöhung der Sicherheit für außergewöhnliche Fälle. Er soll wie eine Art Sicherheitsventil wirken.

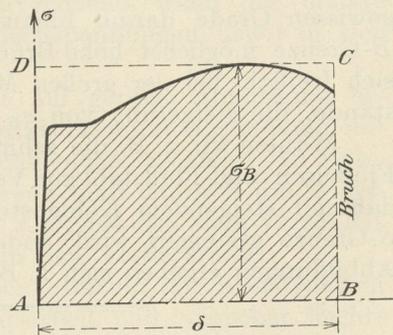


Abb. 250.

Über die Widerstandsarbeit eines Materials gibt bis zu einem gewissen Grade die Arbeit Aufschluß, die erforderlich ist, um einen Stab von bestimmten Abmessungen durch den Zugversuch zum Bruch zu bringen. Sie ergibt sich aus dem Dehnungs-Spannungsbild (δ, σ -Bild, Abb. 250), in dem die Dehnungen δ in Prozenten als Abszissen, die zugehörigen Spannungen σ als Ordinaten eingetragen sind (I, 48 bis 51 und 425 bis 435). Die schraffierte Fläche gibt die Größe dieser Arbeit bezogen auf die Raumeinheit des Materials an. (Spezifische Arbeit a .) Um für jedes Material die Formänderungsarbeit genau zu bestimmen, müßte das δ, σ -Bild gegeben sein. Da dies dem Konstrukteur meist nicht zur Verfügung steht, so benutzt er als angenähertes Maß für die Widerstandsarbeit den Inhalt

der Fläche $ADCB$, der sich als Produkt aus Bruchgrenze σ_B und Bruchdehnung δ ergibt.

$$\text{Fläche } ADCB = \sigma_B \cdot \frac{\delta}{100},$$

wobei δ in Prozenten, σ_B in kg/qcm ausgedrückt ist. Die Einheit für die Arbeit ist dann kg/qcm oder kg·cm/cm³,

Die wirkliche spezifische Widerstandsarbeit ist (I, 48 bis 51)

$$a = \xi \cdot \sigma_B \cdot \frac{\delta}{100},$$

wobei ξ der Völligkeitsgrad, d. h. das Verhältnis der schraffierten Fläche zur Fläche $ADCB$ ist. Für jede Materialgattung in einem bestimmten Behandlungszustand besitzt ξ einen bestimmten Wert, der kleiner als 1 ist.

Im allgemeinen wird der Konstrukteur schon mit dem Wert $a' = \sigma_B \cdot \frac{\delta}{100}$ arbeiten können, da es für ihn weniger auf die genaue Größe der Arbeit a ankommt, als auf die Kenntnis, welche Materialien größere und welche kleinere Widerstandsarbeit besitzen, und diese mit dem Betrag von a' im allgemeinen steigt und fällt.

Die Arbeit a' und a kann nun sowohl durch Steigerung von σ_B , als auch durch Vergrößerung von δ erhöht werden. Es kann somit ein Metall von hoher B -Grenze und geringer Bruchdehnung dieselbe Widerstandsarbeit liefern, wie ein Metall mit niedriger B -Grenze und hohem Wert von δ (I, 433).

Da aber der Konstrukteur aus den oben angegebenen Gründen Interesse daran hat, Materialien mit hohen Werten der S - bzw. der Bruchgrenze zur Verfügung zu haben, weil sie bei gleichem Wert von m' und n zu geringerem Gewicht der Konstruktion führen, so wird für ihn dasjenige Material besonderen Wert besitzen, das bei möglichst hoher Lage der S -Grenze möglichst hohes δ liefert. Da die S -Grenze für eine bestimmte Materialgattung einem bestimmten Bruchteil der B -Grenze entspricht, so kommt die obige Bedingung bis zu einem gewissen Grade darauf hinaus, daß das Material bei möglichst hoch gelegener B -Grenze möglichst hohe Bruchdehnung ergibt. Beide Forderungen widersprechen sich freilich bei der großen Mehrzahl der metallischen Stoffe, da meist die Umstände, die Steigerung von σ_B bewirken, den umgekehrten Einfluß auf δ ausüben.

Wählen wir z. B. die schmiedbaren Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, wie sie als Flußeisen und Flußstahl zur Verfügung stehen, so läßt Abb. 316 und 317 erkennen, daß mit steigendem Kohlenstoffgehalt bis etwa 1% die B -Grenze ebenso wie die S -Grenze gesteigert wird, andererseits aber die Bruchdehnung δ sinkt. Aus den Abbildungen ergeben sich z. B. folgende Werte:

Kohlenstoff	σ_B	$\delta_{12,3\sqrt{r}}$	$\sigma_B \cdot \frac{\delta}{100}$
%	at	%	kgcm/cm ³
0,1	3500	28,5	1000
0,2	4000	27	1080
0,4	5300	22	1166
0,5	6200	18,5	1150
0,6	7000	14,5	1015
0,8	9000	8	720
1,0	10 000	4	400

Aus der Tabelle folgt, daß der Konstrukteur auf die Legierungen mit hoher B -Grenze verzichten muß, weil durch Verminderung der Bruchdehnung die Wider-

standsarbeit zu klein wird. Er wird bei einer der obigen Tabelle¹⁾ entsprechenden Materialgattung diejenigen Legierungen auswählen, die eine mittlere Bruchgrenze von etwa 4000 bis 6000 at haben, wenn möglichst geringes Gewicht der Konstruktion bei möglichst großer Widerstandsarbeit wesentliches Erfordernis ist.

Es können natürlich noch andere Gesichtspunkte die Wahl beeinflussen, so z. B. die Sicherheit, mit der sich Materialien von der verlangten B -Grenze und Bruchdehnung im Massenbetrieb erzeugen lassen. So wäre z. B. der Fall denkbar, daß ein Material bei recht sorgfältiger Herstellung und Überwachung in der Verarbeitung recht günstige Werte für σ_B und δ und somit auch für a' liefert, bei der Erzeugung im Massenbetrieb aber nicht mit derselben Sicherheit diese günstigen Werte von σ_B und δ erhoffen läßt, wie ein anderes Material mit durchschnittlich geringeren Werten von σ_B und δ . In diesem Falle würde die Wahl dieses letzteren Materials durch den Konstrukteur gerechtfertigt erscheinen. Schließlich können auch Preisfragen und wirtschaftliche Verhältnisse eines bestimmten Erzeugungsgebietes eine wesentliche Rolle spielen.

Auch die Art der Herstellung des Bauteiles hat bis zu einem gewissen Grade Einfluß auf die Auswahl des Materials. Bei Gußeisen ist z. B. die B -Grenze und die Widerstandsarbeit bei Zugbeanspruchung sehr gering, und trotzdem ist es ein weitverbreitetes Konstruktionsmaterial wegen der Leichtigkeit, mit der es durch Gießen in die vom Konstrukteur verlangte Form übergeführt werden kann. Man muß hier die Sicherheit besonders in die niedrige Wahl von σ_k verlegen und kann dann eher auf die durch hohe Widerstandsarbeit gebotene Sicherheit verzichten. Das Gewicht der Bauteile wird dadurch natürlich vergrößert. Soll dies vermieden werden, so wird man in vielen Fällen zum Stahlformguß greifen, der bei größerem σ_B und größerer Widerstandsarbeit leichtere Bauart gestattet und mit dem Gußeisen den Vorteil der Gießbarkeit gemeinsam hat. Allerdings ist nicht zu vergessen, daß die Schwierigkeiten bei der Herstellung verwickelter Gußstücke beim Stahlformguß größer sind, als bei Verwendung von Gußeisen. Man hat auch nur dann sicher auf die Vermehrung der Widerstandsarbeit bei der Verwendung von Stahlguß an Stelle von Gußeisen zu rechnen, wenn der erstere nicht etwa verborgene Fehler (Lunkerhöhlräume, Eigenspannungen usw.) in sich schließt.

Ist bei der Konstruktion besonders hoher Wert auf geringe Abnutzung bestimmter Teile zu legen, so wird man, weil die Abnutzbarkeit im allgemeinen mit steigender Härte sinkt und die Härte meist mit zunehmendem σ_B steigt, zu Materialien mit hoher B -Grenze greifen müssen, selbst wenn man dadurch die Widerstandsarbeit verkleinert. Dieser Gesichtspunkt tritt z. B. bei den dem Verschleiß unterworfenen Teilen von Zerkleinerungsmaschinen in den Vordergrund.

Aus dem oben Gesagten wird es verständlich sein, warum der Konstrukteur in Fällen, wo es sich um möglichst große Widerstandsarbeit und möglichst leichte Bauart handelt, nach Materialien mit möglichst hoher B -Grenze und Bruchdehnung sucht, und daß er dann, wenn er zwei Materialien mit gleich hoher B -Grenze zur Auswahl hat, von denen das eine höhere Bruchdehnung aufweist als das andere, dem ersteren den Vorzug gibt, solange nicht die Preisfrage hemmend dazwischen tritt. Danach ist es erklärlich, daß man durch Legierung immer neuer Stoffe diesen Ansprüchen nachzukommen sucht. So hat man z. B. den gewöhnlichen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen Zusätze von Nickel und Chrom gegeben und die sogenannten „Sonder- oder Spezialstähle“ hergestellt, die

¹⁾ Die in der Tabelle und im Schaubild angegebenen Zahlenwerte dürfen nicht verallgemeinert werden. Sie gelten nur für bestimmte Materialgattungen unter bestimmten Bedingungen der Vorbehandlung. Das Gleiche gilt für alle Schaubilder und Tabellen über Festigkeitseigenschaften in diesem Buche.

namentlich nach gewissen, später zu besprechenden Vorbehandlungen größte Bruchgrenze mit größter Widerstandsarbeit vereinigen.

In manchen Fällen beeinflußt die Rücksichtnahme auf Dauerhaftigkeit eines Bauteils gegen Angriff durch Wasser, wässrige Flüssigkeiten, ätzende Gase usw. die Auswahl des Materials. In Fällen, wo derartige Einwirkungen die Verwendung des Eisens und seiner Legierungen verbieten, verwendet man z. B. Legierungen des Kupfers, insbesondere seine Legierungen mit Zinn oder mit Zinn und Zink.

Wenn, wie z. B. beim Bau von Luftschiffen und Flugzeugen, das Gewicht des Bauwerks auf das Mindestmaß herabgedrückt werden soll, lenkt man seine Aufmerksamkeit auch auf Metalle mit sehr geringem spezifischen Gewicht, wie Aluminium und Magnesium, sowie ihre Legierungen.

Bei Bauteilen, die mit Reibung aufeinander arbeiten (Lager, Stopfbuchsen), tritt als neuer Gesichtspunkt die Verminderung der Reibung hinzu. Diese Anforderung hat zu einer ganzen Reihe von Legierungen geführt, die unter dem Namen „Reibungs- oder Lagermetalle“ bekannt sind.

In der Elektrotechnik tritt für Leitungsmaterial die elektrische Leitfähigkeit in den Vordergrund. Für solche Zwecke wird in erster Linie Kupfer verwendet.

290. Auf Grund der Kenntnis von σ_B und δ kann man sich nur ein Urteil bilden über die Größe des Arbeitswiderstandes eines Materials gegenüber langsam wirkender Zugbeanspruchung. Dieses Urteil ist notwendigerweise noch zu ergänzen durch Prüfung des Materials gegenüber stoßweise auftretender Beanspruchung, insbesondere dann, wenn der Bauteil während seiner Dienstleistung solchen Beanspruchungen standhalten muß. Es ist nicht von vornherein zu erwarten, daß Materialien mit großer Widerstandsarbeit gegenüber langsam wirkender Zugbeanspruchung immer auch stoßweisen Beanspruchungen (Zug, Biegung, Knickung, Druck usw.) gleichgroße Widerstandsarbeit entgegensetzen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß tatsächlich hier wesentliche Unterschiede auftreten können. Folgendes Beispiel möge dies erläutern (Bretschneider, $L_4 I$). Es liegen drei Materialien mit folgenden Eigenschaften vor:

Material	σ_S at	σ_B at	δ %	$\sigma_B \cdot \frac{\delta}{100}$ kgcm/cm ³	Zahl der Schläge bis zum Bruch ¹⁾
I	4500	8000	16	1280	6
II	7500	9000	14	1260	20
III	6500	10500	10	1050	3

Wenn man die obigen Materialien nach der Höhenlage von σ_S einordnet, so würde dem Material II der erste Platz gehören. Der Wert von $\sigma_B \cdot \frac{\delta}{100}$ ist am größten bei Material I. Dieses zeigt also bei langsam wachsender Beanspruchung die größte Widerstandsarbeit, und man wäre vielleicht deswegen geneigt, die geringere zulässige Spannung σ_k bei I, die durch die niedriger liegende S -Grenze bedingt ist, gegenüber diesem Vorteil in den Kauf zu nehmen. Der Ausfall der Schlagversuche zeigt aber die wesentlich geringere Widerstandsarbeit des Materials I gegen stoßweise Beanspruchung gegenüber dem Material II, das wegen seiner hohen Streckgrenze auch noch höhere zulässige Spannung σ_k zuläßt. Das Material II ist sonach von den dreien das höherwertige Konstruktionsmaterial.

¹⁾ In der Quelle ist über die Art der Ausführung dieser Versuche nichts angegeben. Es ist zu erwarten, daß die Prüfung in allen drei Fällen in vergleichbarer Weise erfolgte.

Auch das folgende Beispiel läßt erkennen, daß man sich mit der Prüfung auf Widerstandsarbeit gegenüber ruhiger Beanspruchung nicht zufrieden geben darf, wenn man ein vollständiges Urteil über das Material gewinnen will.

Abb. 251 zeigt den mit Kupferammoniumchlorid geätzten Querschliff durch eine Pleuelstangenschraube aus Flußeisen, die im Betrieb gebrochen war (s. E. Heyn, *L*₃ 3). Der Schliff läßt zwei verschiedene Zonen, eine äußere, hellere Randzone und eine innere, dunklere Kernzone mit zahlreichen dunklen Flecken infolge Seigerung erkennen. Der Bruch ist an einer Stelle erfolgt, wo die Schraube auf kleineren Durchmesser, als die Abbildung zeigt, bis dicht auf die Kernzone abgedreht war, so daß durch das Drehen das Metall der Randzone entfernt war. Außerdem war an der Eindrehung noch ein scharfgängiges Gewinde eingeschnitten. Die Untersuchung ergab folgende Werte:

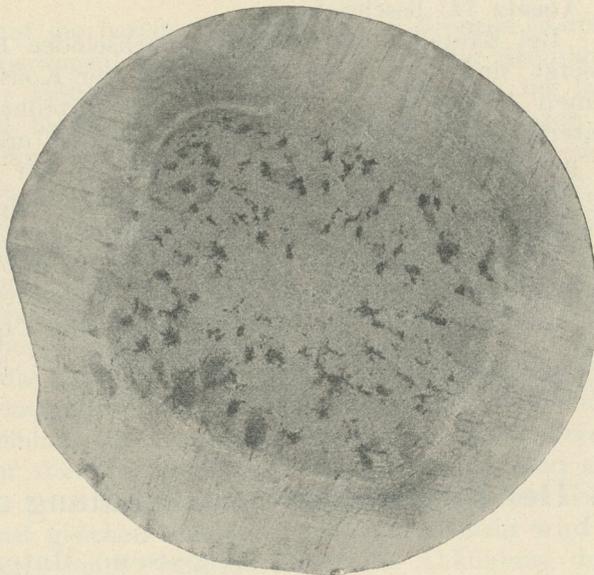


Abb. 251. (Natürl. Größe).

	σ_S at	σ_B at	$\delta_{11,3\sqrt{l}}$ %	$\sigma_B \cdot \frac{\delta}{100}$	\mathfrak{B}_3
Randzone . . .	2580	3960	35,3	1395	3
Kernzone . . .	2730	4390	24,9	1090	1

Die Kernzone zeigt etwas höhere *B*- und *S*-Grenze neben etwas verminderter Bruchdehnung gegenüber dem Material der Randzone. Zwar ist die Widerstandsarbeit in der Kernzone niedriger als in der Randzone. Immerhin kann man angesichts der hohen Lage der Streckgrenze auf Grund des Zugversuchs das Material der Kernzone nicht als weniger sicher beurteilen, als dasjenige der Randzone (vgl. Tabelle in 289). Anders ist es dagegen bei Einwirkung von Schlag, namentlich wenn Probestäbe mit Einkerbungen geprüft werden. Der Versuch wurde nach dem Verfahren *g* (317, 343) durchgeführt. Die Zahl der erhaltenen Biegungen \mathfrak{B}_3 bis zum Bruch war bei dem Material der Randzone durchschnittlich 3, bei dem der Kernzone dagegen nur 1. Es zeigt sich also, daß das letztere gegenüber stoßweiser Beanspruchung gekerbter Stäbe nur einen geringen Widerstand besitzt, während das Material der Randzone hohen Anforderungen gerecht wird. Das eingeschnittene scharfgängige Gewinde stellt nun eine ganze Reihe von Kerben dar. Da die Randzone abgedreht war, so lagen diese Kerbe gerade in der Kernzone, also in demjenigen Teil des Materials, der gegen Kerbung besonders empfindlich ist. Es geht daraus hervor, daß das Material für den besonderen Zweck und für die besondere Beanspruchungsart unglücklich gewählt war.

Da jeder scharfe Übergang aus einem Querschnitt in den anderen, also mit anderen Worten jede scharf einspringende Kante einen Kerb darstellt, so ist es

namentlich bei Bauteilen, bei denen sich solche scharf einspringende Kanten nicht umgehen lassen, von besonderer Wichtigkeit, ein Urteil über die Empfindlichkeit des Materials gegen die Kerbwirkung zu erhalten. Die Verfahren hierfür werden in Absatz 343 beschrieben.

Bei Bauteilen, die beständig wechselnden Beanspruchungen und Stößen ausgesetzt sind, über deren Größenmaß der Konstrukteur bei der Berechnung gar keinen Anhalt besitzt, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, bei der Auswahl der Materialien das Verhalten gegenüber künstlich erzeugten häufig wiederholten Stößen zu prüfen, die Anspannungen bis oberhalb der Streckgrenze bewirken. Die Zahl der bis zum eintretenden Bruch ausgehaltenen Anspannungen gibt dann einen gewissen Maßstab für die Widerstandsfähigkeit des Materials. Es sind hierfür eine Reihe mechanischer Vorrichtungen in Gebrauch. Wenn auch die mit den vorhandenen Vorrichtungen erhaltenen Zahlenwerte untereinander nicht vergleichbar sind und ihnen die in 288 geschilderten Übelstände anhaften, so können sie doch nützliche Aufschlüsse liefern, wenn sie ständig durch das Verhalten der Materialien im Betrieb kontrolliert werden.

B. Der Einfluß der Vorbehandlung auf Festigkeit, Härte usw.

a) Gegossene Materialien.

291. Die metallischen Stoffe werden, abgesehen von den seltenen Fällen der elektrolytischen Darstellung, im flüssigen Aggregatzustand in Formen gegossen und dann der Abkühlung überlassen. Wird hierbei durch den Guß der metallische Stoff ohne weiteres in die für seinen Gebrauchszweck endgültige Form übergeführt, die entweder unmittelbar zur Verwendung gelangt oder noch mittels schneidender Werkzeuge nachgearbeitet wird, so erzielt man Gußstücke oder Güsse. In vielen Fällen erhält der metallische Stoff durch das Gießen nur eine vorläufige einfache prismatische Gestalt und wird durch darauffolgende Behandlungen weiterer Formgebung unterworfen. Dann ist der gegossene Stoff nur Zwischenerzeugnis. Je nach der äußeren Gestalt und nach örtlichem Gebrauch nennt man dann diese Zwischenerzeugnisse Blöcke (prismatische Güsse von quadratischem, rechteckigem, achtkantigem oder rundem Querschnitt), Brammen (plattenförmige Güsse von großer Dicke, vorwiegend zur Erzeugung von Blechen), Barren usw. Sie werden sämtlich durch Schmieden oder Walzen weiterverarbeitet. Dienen die Zwischenerzeugnisse zum erneuten Umschmelzen, so spricht man von Masseln, Gänzen (z. B. beim Roheisen) usw.

Es ist nicht immer leicht, die Festigkeitseigenschaften, die den gegossenen Metallen und Legierungen als solchen zukommen, eindeutig festzulegen, weil hier die Geschicklichkeit, mit der der Gießer das Metall zu behandeln weiß, eine äußerst wichtige Rolle spielt. Der Guß kann Hohlräume (Lunker, Gasblasen) enthalten, kann schwammig sein, nur aus einem Filz von Kristallnadeln mit großen Zwischenräumen bestehen; er kann grobstengelige Absonderungen senkrecht zu den Abkühlungsflächen zeigen, wodurch Flächen geringsten Zusammenhanges hervorgebracht werden (257). Es können Verunreinigungen durch fremde Körper (Schlackenteilchen, Teilchen der Formmasse u. a. m.) in den Guß gelangen. Die Gußstücke können Eigenspannungen enthalten (324—338) usw. Alle diese Umstände können die Festigkeitseigenschaften beeinträchtigen, so daß man wohl die Festigkeit der geprüften Probe, nicht aber die des Materials selbst feststellt.

Bei manchen metallischen Stoffen hat die Geschwindigkeit, mit der die Abkühlung in der Gußform vor sich geht, wesentlichen Einfluß auf die Festigkeits-