

Das Materialprüfungswesen.

Von

Privatdozent Dr. Alfons Leon.

Vortrag, gehalten am 8. März 1911.

Mit 16 Figuren im Texte.

Die Aufgabe des Materialprüfungswesens besteht in der Feststellung der Eigenschaften der im Maschinenbau und Bauingenieurwesen verwendeten Stoffe, soweit diese Eigenschaften technisch in Betracht kommen. Zumeist haben die Baustoffe den Zweck, mechanischen Kräften zu widerstehen; der Ingenieur, natürlich auch der Erzeuger und Verbraucher der Baustoffe haben ein großes Interesse, die Ziffern zu kennen, durch die das Widerstandsvermögen gekennzeichnet wird. Es sind demnach hauptsächlich physikalische Eigenschaften, deren Feststellung notwendig ist.

Die Materialprüfung ist insofern uralt, als man sich wohl vorstellen muß, daß auch der primitive Mensch bei Herstellung irgendeiner ganz einfachen Konstruktion sich auch ein Bild über die Zweckmäßigkeit und Haltbarkeit des verwendeten Materiales gemacht haben wird. Der erste, der sich mit theoretischen Berechnungen befaßt hat, und zwar mit der Balkenbiegung, war Galilei (Fig. 1). Eine rationelle Pflege der Erfahrungen und insbesondere das Bedürfnis nach umfassenden Experimenten hat sich jedoch erst ergeben, als das Eisen in größerem Maßstabe zu Bauzwecken verwendet wurde, wenn auch als Vorläufer der modernen Baustoffprüfung besonders im französischen Heere Methoden ausgebildet wurden, um

die Festigkeit von Holzbalken, die für Belagerungsmaschinen Verwendung fanden, festzustellen.

Sowie die Eisenindustrie ihren Ursprung in England hat, so ist es auch ein Engländer, der Ingenieur Kirkaldy, der als erster systematische Materialprüfungen an Eisen — und zwar Zugversuche an Gußeisen — durchführte. Nach dem volkswirtschaftlichen Aufschwung, den das

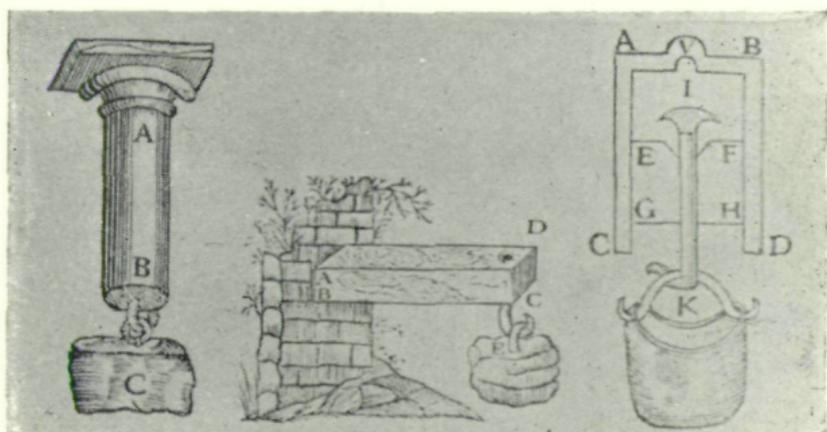


Fig. 1. Anfänge der Festigkeitslehre (Galilei.)

Deutsche Reich nach dem deutsch-französischen Krieg (1870/71) nahm, hat Wöhler in einer deutschen Eisenbahn-Reparaturwerkstätte eine große Reihe von Versuchen durchgeführt und veröffentlicht, die für die Kenntnis der Festigkeitseigenschaften der Metalle von ganz besonderer Wichtigkeit wurden. Schon Wöhler hat nämlich erkannt, daß die Festigkeit, die man an einem Material dadurch feststellt, daß man es durch allmählich steigende Belastung zum Bruch bringt, nicht maßgebend ist für seine Haltbarkeit, wenn das Material im Betrieb

wechselnden Belastungen ausgesetzt ist. Und so hat Wöhler Maschinen ersonnen, die gestatten, Probekörper tausend-, ja millionenmal zu be- und entlasten.

Im Laufe der Zeit, als die Bau- und Konstruktionsmethoden immer rationeller wurden und die Ansprüche an die Materialien sich steigerten, erlangte das technische Prüfungswesen eine immer größere Verbreitung und die Erkenntnis wurde allgemein, daß die regelmäßige Überprüfung der mechanisch-technischen Eigenschaften der Baustoffe unerlässlich sei. Es entstanden eigene Materialprüfungsämter zur normengemäßen Überprüfung der Baustoffe und an den technischen Hochschulen mechanisch-technische Laboratorien, deren wichtigste Aufgabe es wurde, die Festigkeitseigenschaften der Materialien in ihren gegenseitigen Beziehungen zu ergründen. Bei den im wesentlichen gleichen Bedürfnissen entwickelten sich in den einzelnen Ländern, ja selbst an verschiedenen Stellen desselben Landes verschiedene, wenn auch manchmal nur sehr wenig voneinander abweichende Methoden zur Bestimmung der Festigkeitseigenschaften; damit erwachte aber auch der Wunsch, die Methoden zu vereinheitlichen, um die an verschiedenen Stellen gewonnenen Ziffern miteinander vergleichen zu können.

Bauschinger in München, der das wissenschaftliche Erbe Wöhlers antrat, hat die sogenannten „Internationalen Konferenzen“ ins Leben gerufen, die sich später zum „Internationalen Verbands der Materialprüfungen der Technik“ entwickelten, deren letzter Kongreß 1909 in Kopenhagen stattgefunden hat und deren

nächster im Herbst 1912 in Nordamerika abgehalten wird. Dem Verbands, der auf seinen Kongressen die durch internationale Kommissionen vorberatenen Prüfungsverfahren beschließt und empfiehlt, gehören aller Kulturstaaten hervorragendste Forscher auf diesem Gebiete an.

Zur Zeit, als die Prüfung der Baustoffe seitens der Verbraucher aufkam, also vor etwa fünfundzwanzig Jahren, hatte sie einen merkbaren Einfluß auf die Erzeugung. Man traute sich sehr bald nicht mehr, den prüfenden Übernehmern ein irgendwie fehlerhaftes Material zu liefern. Wer hingegen die Prüfung unterließ, war des Materiales nie völlig sicher. Meistens führten zwar die Fehler nicht zu Unzukömmlichkeiten im Bau oder im Betrieb, nur höchst selten zu Katastrophen, aber es konnte doch vorkommen. Außerdem drängte die Erzeugung höherwertiger Materialsorten, die eine höhere zulässige Beanspruchung ermöglichen sollten, nach systematischen Versuchen. Mögen also die einzelnen Proben, besonders bei unbekannter Herkunft, Zusammensetzung und Vorbehandlung des Baustoffes wissenschaftlich nicht sehr viel bedeuten und lückenhaft sein: man darf doch nicht aufhören, sie fort und fort durchzuführen; die Unterlassung könnte in der Erzeugung eine gewisse Sorglosigkeit einnisten lassen.

Freilich, auch unterschätzen darf man die wissenschaftliche Seite einzelner Proben nicht; mögen sie manchmal auch nicht viel mehr ergeben als einzelne Ziffern, so verschafft doch die fortwährende Beschäftigung mit diesen Prüfungen die Erfahrungen der großen Zahl,

die dann den Anstoß zur wissenschaftlichen Fragestellung geben. Die systematische Materialprüfung hat eine Fülle technischer Erfahrungen verwissenschaftlicht, hat auch viele neue Tatsachen erkennen lassen und zu Fortschritten in der Materialerzeugung geführt. Heute weiß man, wann ein Eisen kalt-, wann es warmbrüchig ist; man kennt den Einfluß von Querschnittsverletzungen und Kerben; man hat durch den Warmdauerversuch festgestellt, daß Metalle bei der Erhitzung sehr kritische Zustände durchlaufen usw. usw. — Ohne systematische Prüfungen wären diese Erkenntnisse wohl weit später gekommen. — — —

Die am öftesten zu prüfenden Eigenschaften eines Materials sind die Zug- und die Druckfestigkeit. Zu ihrer Bestimmung stellt man entsprechend geformte Körper her und belastet sie so lange, bis sie zum Bruch kommen. Als Maß für die Qualität des Materials gibt man jedoch nicht die absolute Tragfähigkeit an, denn diese ist ja abhängig von der Größe des Querschnitts des Körpers — sondern man dividiert die Tragfähigkeit durch die tragende Fläche und erhält dadurch die Tragfähigkeit der Flächeneinheit, das ist die Spannung, bei deren Erreichung das Material bricht. Die Erscheinungen, unter denen der Bruch erfolgt, sind sehr verschiedener Art. Es gibt Stoffe — es sind diejenigen, die wir als „spröde“ bezeichnen — die ohne irgendwelche Anzeichen plötzlich reißen; dann wieder solche — wir nennen sie „zähe“ — die vor ihrem Bruche ganz erhebliche Formveränderungen erfahren.

Verfolgen wir einen Zugversuch an Schweiß- oder Flußeisen (Fig. 2). Setzt man einen solchen Stab einer Zugbeanspruchung aus, so ist zunächst an ihm weiter nichts zu bemerken. Mit feinen Instrumenten läßt sich jedoch feststellen, daß einer bestimmten Kraft stets eine bestimmte, wenn auch nur sehr kleine Dehnung entspricht, und es zeigt sich hierbei, daß diese kleinen Dehnungen im gleichen Verhältnisse wachsen wie die an-

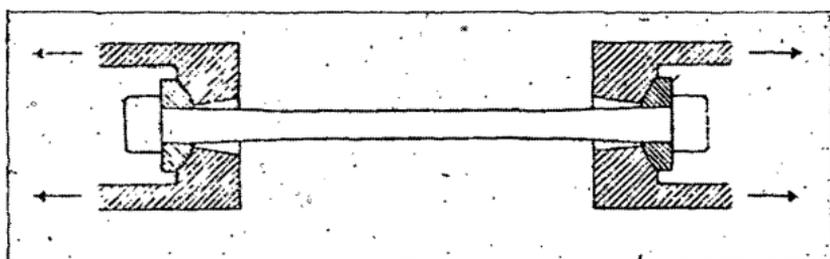


Fig. 2. Ein Zugversuch an einem Rundstab.

greifenden Kräfte. Es entspricht also einer doppelten, dreifachen Kraft auch die doppelte, dreifache Dehnung. Wird in diesem Bereiche der Stab wieder entlastet, so erhält er wieder seine ursprüngliche Länge.

Das Verhältnis aus Spannung und der dieser entsprechenden spezifischen Dehnung ist konstant und wird als Elastizitätsmodul bezeichnet. Bei Flußeisen, es ist dies die im Eisenbau am meisten benützte Eisengattung, entspricht der Zugspannung von 1 Atmosphäre eine Dehnung von $\frac{1}{220000}$ der Länge; 1 cm des Stabes würde demnach bei dieser Beanspruchung sich um den 220.000^{sten} Teil eines Millimeters ausdehnen. Bei einer Beanspruchung

von 1000 Atmosphären, dies ist die noch zulässige Beanspruchung, wäre die Verlängerung von 1 m gleich $\frac{1}{2 \cdot 2}$ eines Millimeters. -

Steigert man die Belastung immer weiter, so kommt man zu einer Grenze, wo die Dehnungen rascher zunehmen als die Spannungen und der Stab bei der Entlastung seine ursprüngliche Länge nicht mehr annimmt. Das Material verliert die Eigenschaft vollständiger Elastizität. Ein Teil der bei der Belastung erzeugten Dehnung bleibt zurück. Man nennt die Spannung, bis zu welcher der Stab vollkommen elastisch geblieben ist, das heißt bis zu der die Dehnungen proportional gewachsen sind mit den Spannungen, die Elastizitäts-, beziehungsweise Proportionalitätsgrenze.¹⁾ Schon der hundertste Teil eines Millimeters bleibender Streckung, bezogen auf 1 m, gilt als Überschreitung der Elastizitätsgrenze.

Steigert man die Belastung immer mehr über die Elastizitätsgrenze hinaus, so eilen die Dehnungen im Verhältnis zu den Spannungen immer mehr vor und man erreicht eine Stablast, bei der die Dehnungen mit gewöhnlichen Maßstäben feststellbar sind. Polierte Flächen eines Stabes werden matt, die (obere) Streckgrenze ist erreicht

¹⁾ Die durch Versuche festgestellten Werte für die Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze stimmen sehr selten miteinander überein. Die Proportionalitätsgrenze wird meist höher angegeben als die Elastizitätsgrenze. Der Grund hierfür liegt in den in den Brüsseler Vorschlägen (1906) enthaltenen Definitionen.

und der Stab dehnt sogar bei abnehmender Belastung. Die Spannung sinkt bis zu einem gewissen Werte (untere Streckgrenze), um dann mit wachsender Dehnung wieder zu steigen. —

Jeder Längsdehnung entspricht eine Querverkürzung. Im elastischen Bereich — also bis zur Erreichung der Elastizitätsgrenze — ist sie mit gewöhnlichen Meßmitteln nicht festzustellen. Aber sobald die Streckgrenze überschritten ist, kann man schon mit der Schubleere feststellen, daß der Stab mit wachsender Dehnung allmählich dünner wird. Trotz der durch die Querverkürzungen bedingten Verkleinerung der tragenden Fläche kann zunächst die Gesamtlast immer mehr und mehr vergrößert werden, da die Widerstände im Material im Laufe der Streckung wachsen. Da aber der Querschnitt immer rascher abnimmt, die Zunahme der inneren Widerstände immer kleiner wird, so ist endlich der durch die Querschnittsverminderung bewirkte Belastungsverlust größer als die durch die Zunahme der inneren Widerstände bedingte Belastungssteigerung. Die Gesamtlast hat damit ihren Höchstwert erreicht und beginnt zu sinken. Sobald die effektive Spannung, das ist die Last dividiert durch die jeweilig tragende Fläche, den Wert der Kohäsion erreicht, reißt der Stab ab.

Es sind zwei Einflüsse, die sich während der Dehnung gegenseitig bekämpfen; mit dem Fortschreiten der Streckung nimmt der Widerstand, den die Materialteilchen der Verschiebung entgegensetzen, zu, der Querschnitt aber ab. Solange der Deformationswiderstand so

stark wächst, daß er den auf die Abminderung der Stablast hinwirkenden Einfluß der Querschnittabnahme übertrifft, steigt die Stablast, und umgekehrt: wenn mit wachsender Streckung die Zunahme der inneren Reibung so klein wird, daß der Einfluß der immer mehr wachsenden Querschnittsabnahme größer wird als der der Deformationswiderstände, sinkt die Stablast.

Bis zur Erreichung des Höchstwertes der Gesamtlast streckt der Stab gleichmäßig. In dem nach Überschreitung der Höchstlast eintretenden labilen Zustand, in dem der Stab bei abnehmender Gesamtlast streckt, genügt jedoch eine kleine örtliche Inhomogenität, um eine stärkere örtliche Einschnürung und damit den Bruch zu bewirken.

In den graphischen Darstellungen eines Zugversuches, beziehungsweise in den Berechnungen bezieht man sich nie auf die effektiven Spannungen, das heißt auf die Quotienten der Last durch die tatsächlich tragende Fläche. Man rechnet vielmehr immer mit dem Quotienten aus Stablast und Querschnitt des Probekörpers zu Beginn des Versuches. Trägt man, wie üblich, die Stablasten, beziehungsweise die auf den ursprünglichen Querschnitt bezogenen Spannungen und die dazu gehörigen Dehnungen auf ein Achsenkreuz auf, so erhält man folgende graphische Darstellung des Zugversuches an weichem Eisen (Fig. 3).

Andere zähe Körper, wie z. B. weiches, ausgeglühtes Kupfer, haben einen anderen Schaulinienverlauf (Fig. 4). Von einer Elastizitätsgrenze kann man hier kaum sprechen,

da das Diagramm von Anfang an gekrümmt ist. Spröde Körper haben einen Schaulinienverlauf wie in Fig. 5. Sie dehnen beinahe gar nicht und lassen äußerlich durch nichts erkennen, welche Belastung sie zu tragen haben; ihr Bruch geschieht ganz plötzlich durch unmittelbare

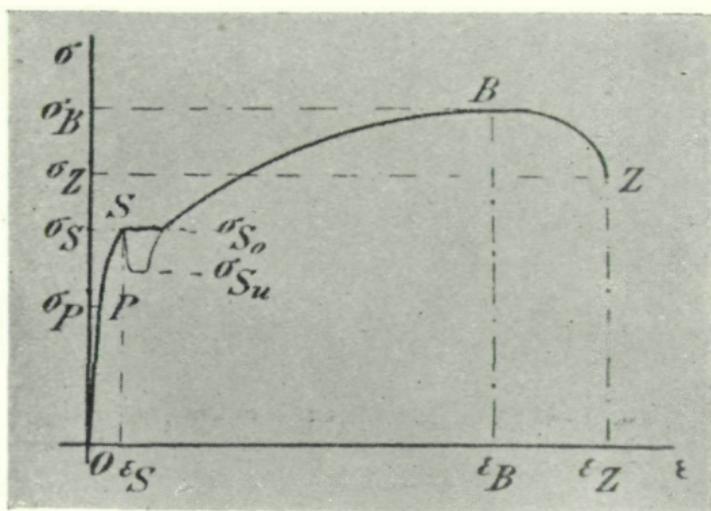


Fig. 3. Zugdiagramm an Flußeisen.

(σ_P Spannung an der Proportionalitätsgrenze, σ_B Spannung bei der Höchstlast.)

Überwindung der Kohäsion, während bei zähen Körpern der Bruch durch übermäßige Querkontraktion, also durch eine Art Fließen der Materialteilchen eingeleitet wird; man kann daher die Zugfestigkeit eines einschnürenden Stabes bestimmen, ohne ihn zu zerreißen, indem man ihn sofort nach Erreichung der Höchstlast — also vor Eintritt der lokalen Querschnittseinschnürung — entlastet.

Bei spröden Körpern ist die Zugfestigkeit gleich der Kohäsion, da die Probestäbe ihren Querschnitt bis zum

Bruch kaum ändern. Bei einschnürenden Körpern, wo der Quotient aus Höchstbelastung und ursprünglichem Querschnitt nicht identisch ist mit dem Quotienten aus Endbelastung und Bruchquerschnitt, ist letzterer — das ist die Kohäsion — oft erheblich größer als ersterer, der die „Zugfestigkeit“ genannt wird. (Bei weichem Eisen z. B. mehr als das Doppelte.)

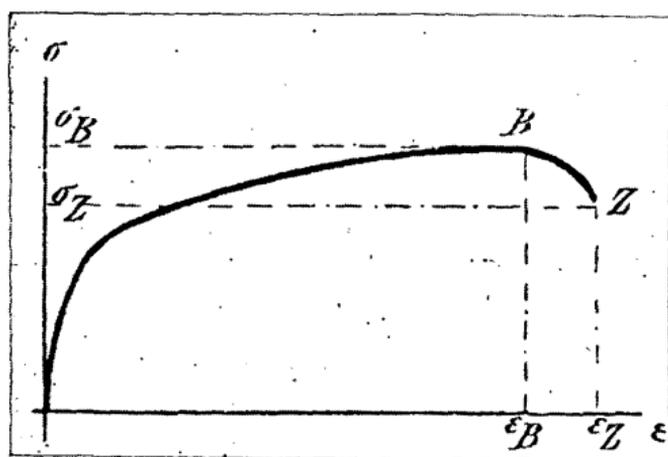


Fig. 4. Zugdiagramm an Kupfer.

Wie erwähnt, nehmen die bleibenden Dehnungen überhand, sobald der Stab die Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze überschritten hat. Ist die Staboberfläche poliert, so zeigen sich bei Flußeisen strichförmig angeordnete Streifen, die sogenannten „Fließfiguren“; es sind dies Systeme von Linien, die unter $45\text{--}60^\circ$ zur Stabachse geneigt verlaufen und zwischen der Proportionalitäts- und (oberen) Streckgrenze entstehen. Die Fließlinien verbreiten sich mit großer Geschwindigkeit über

die ganze Staboberfläche und bedecken sie dann vollständig, so daß bei Erreichung der oberen Streckgrenze der ganze Stab matt ist. — Man hat diese Fließfiguren auf verschiedene Art zu erklären versucht; von einer Seite sind sie sogar als durch den Einfluß der Belastung bewirkte kristallinische Umlagerungen der Moleküle ange-

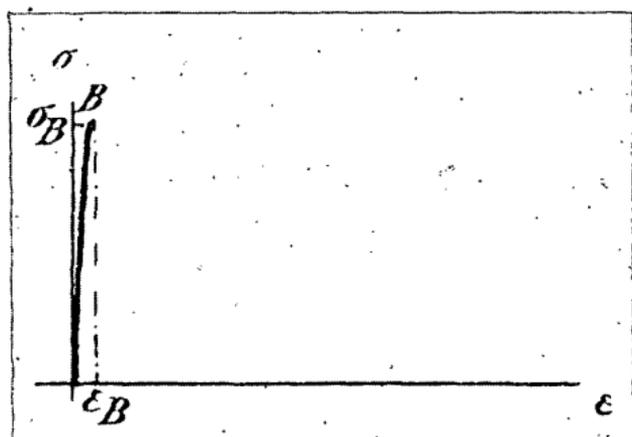


Fig. 5. Zugdiagramm an Gußeisen.

sprochen und mit dem Entstehen der Eisblumen verglichen worden, die auch zuerst hübsche geradlinige Systeme an den Fensterscheiben bilden, um dann beim weiteren Fortschreiten der Eisbildung im einzelnen nicht mehr gut sichtbar zu sein (Fig. 6 u. 7).

Nach Erreichung der oberen Streckgrenze dehnt der Stab wieder gleichmäßig. Ist die Staboberfläche nicht blank, sondern bedeckt mit dem spröden Walzzunder, so springt dieser bei Erreichung der Streckgrenze unter

leisem Knistern nach fließfigurenartigen Linien ab. Man sagt, der Stab „wirft ab“.

Die Bruchflächen der Zugstäbe haben sehr verschiedenartiges Aussehen. Bei spröden Körpern, wie bei Gußeisen und hartem Stahl, sind sie eben und senkrecht zur Stabachse. Bei amorphen glasartigen Körpern ist der Bruch muschelartig; man erkennt an ihnen auf den ersten Blick die Anbruchstelle, welche bei gekerbten Stäben immer von einem, manchmal auch zwei sich schneidenden



Fig. 6. Fließfiguren an einem Flachstab.

Systemen konzentrischer Linien umgeben ist; sieht man näher zu, so findet man, daß der Anbruch immer von einer winzigen Stelle lokaler Störung — etwa einem kleinen Bläschen — ausgeht (Fig. 8).

Blei hingegen, ein sehr zäher, bildsamer Stoff, zieht sich bis zu einer Spitze aus; weiche Stahlsorten wieder zeigen Brüche mit mehr oder weniger ausgebildeten abgestutzten Kegeln und Pyramiden (Fig. 9).

Bei einschnürenden Stoffen beginnt der Bruch von der Mitte des Querschnittes aus; hier findet die größte Dehnung statt und hier reißen die Fasern nach völliger Erschöpfung der Dehnbarkeit ab. Man kann bei Fluß-

eisen an der Bruchstelle zwei etwas von einander verschiedenartige Bruchstrukturen unterscheiden: die innere von mattgrauer Farbe und die hellere, mehr kristallinische am Rande, wo der Bruch vor völliger Erschöpfung der Dehnbarkeit des Materials und plötzlicher erfolgt.

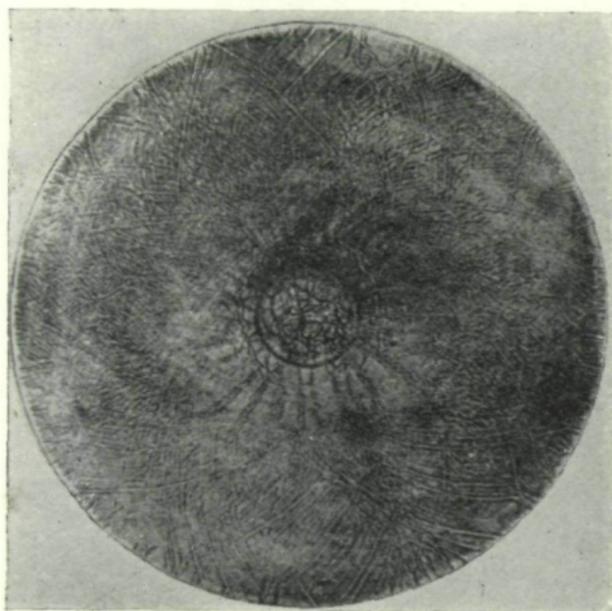


Fig. 7. Fließfiguren an einer am Rande unterstützten und in der Mitte belasteten Platte (nach Hartmann).

Man pflegt bei Materialuntersuchungen die Bruchfläche zu beschreiben; man verzeichnet im Protokoll, ob eine Fehlstelle zu bemerken war, ob das Bruchgefüge sehnig, faserig, schuppig, blättrig, körnig oder kristallinisch war, ob matt oder glänzend, von welcher Farbe usw.

Es ist durch Versuche nachgewiesen worden, daß man nicht genau die gleichen Festigkeitsziffern erhält,

wenn man zu deren Bestimmung Stäbe von verschiedenen Formen benützt. Man hat daher eine einheitliche Form und Größe der Probestäbe gewählt; wenn irgend möglich, sollen diese als Rundstäbe von 2 cm Querschnittsdurchmesser hergestellt werden. Die Länge ihres zylindrischen Teiles soll 22 cm betragen. Daran haben sich kegelförmige Ansätze und die beiden Stabköpfe von bestimmten Abmessungen und Abrundungen anzuschließen.

Um die Bruchdehnung zu bestimmen — deren Größe natürlich von der Länge auf die sie bezogen wird (Meßstrecke), abhängig ist, da die Dehnung in der Nähe der Bruchstelle größer ist als an den weiter entfernten Stellen — ist der ganze zylindrische Teil des Stabes vor dem Versuch in Zentimeter zu teilen. Man zählt nach dem Bruch je 10 solcher Teile

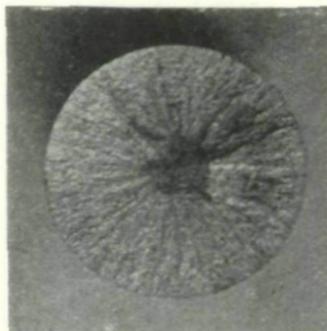


Fig. 8. Bruchfläche eines Zugstabes aus Stahl.

— nach beiden Seiten von der Bruchstelle aus — ab und gibt die Verlängerung dieser 20 Teilstriche in Prozenten ihrer ursprünglichen Länge als „Bruchdehnung“ an. Erfolgt der Bruch nicht in der Stabmitte, so daß nicht nach beiden Richtungen 10 Teilstriche vorhanden sind, so nimmt man die auf der einen Seite fehlenden auf der andern Seite doppelt.

Neben der „Bruchdehnung“ bestimmt man auch den Durchmesser der Bruchfläche und rechnet den Quer-

schnittsverlust gegenüber dem ursprünglichen Querschnitte des Stabes in Prozenten des letzteren aus. Diese

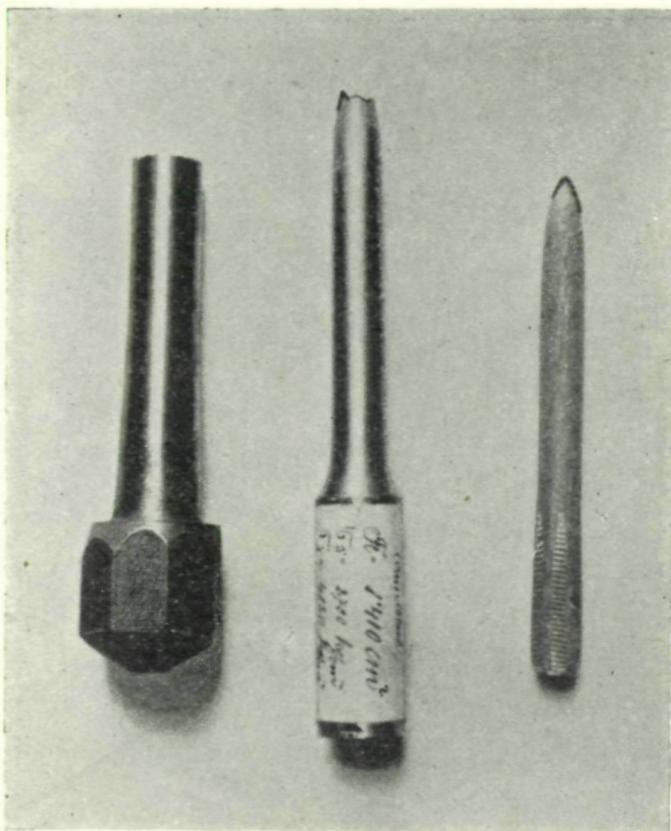


Fig. 9. Zerrissene Stäbe aus Gußeisen, Flußeisen und Blei.

Qualitätsziffer bezeichnet man als die Kontraktion (Einschnürung).

Wenn es nicht möglich ist, Rundstäbe der früher erwähnten Form, also „Normalrundstäbe“ herzustellen, z. B. wenn Blechstreifen erprobt werden sollen, so daß die

Stabdicke gegeben ist, benützt man Stäbe rechteckigen Querschnitts und wählt die Stabbreite so, daß der Stabquerschnitt so groß ist wie der eines Rundstabes von 2 cm Durchmesser.

In der Regel aber hat man das erforderliche Material, um so große Stäbe herzustellen, nicht. Man geht in diesen Fällen vom Grundsatz aus, daß das Verhalten gegenüber

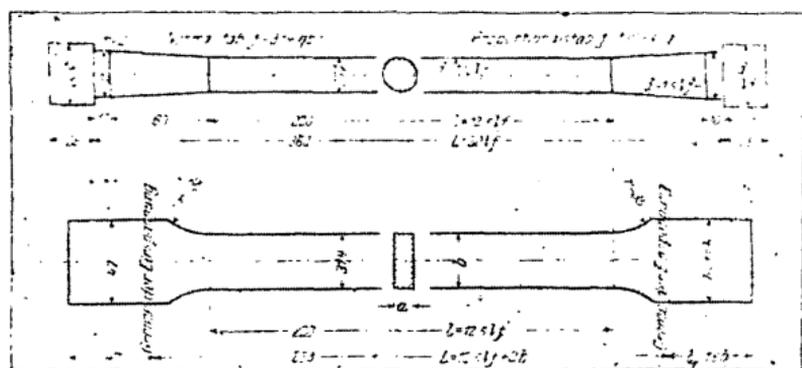


Fig. 10. Normal- und Proportionalstäbe.

Beanspruchungen sich nicht ändert, wenn man alle Abmessungen verhältnissgleich zum Normalstab verkleinert. Ein Rundstab von 1 cm Durchmesser muß demnach eine Länge des zylindrischen Teiles von 11 cm haben und zur Ausmittlung der Bruchdehnung sind je 5 cm-Teile zu beiden Seiten der Bruchstelle zu benützen (Fig. 10).

Die hier besprochenen Qualitätsziffern sind nicht nur bei verschiedenen Stoffen von sehr verschiedener Größe, sondern z. B. beim Flußeisen selbst sind sie wieder sehr abhängig vom Kohlenstoffgehalt, aber auch von anderen Beimengungen, wie Schwefel, Phosphor, Silizium,

Mangan. Ein normales Flußeisen von 0·08 % Kohlenstoff trägt höchstens etwa 4200 kg pro Quadratcentimeter ursprünglicher Querschnittsfläche. Ein solches von 0·52 % Kohlenstoff 6600, ein solches von 1·13 % Kohlenstoff — das ist schon ein harter Stahl — etwa 8900 kg/cm². Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nehmen aber die Bruchdehnungen und Kontraktionen ab. Der Stab mit 0·08 % Kohlenstoff verliert bis zum Bruch an der Bruchstelle etwa 60 % an Querschnitt, der von 1·13 % Kohlenstoff hingegen nur 2 %. Die Kohäsion, also der Quotient aus Endbelastung (nicht Höchstbelastung) und der im letzten Augenblick noch tragenden Fläche ist viel weniger vom Kohlenstoffgehalt abhängig; sie schwankt in den hier genannten Fällen zwischen 8000 und 9000 kg/cm².

Die Festigkeitseigenschaften der einschnürenden Stoffe werden auch durch die mechanische Behandlung geändert. Die kalte Bearbeitung, z. B. Ziehen, erhöht die Zugfestigkeit und verringert die Dehnung; die Kohäsion bleibt jedoch ungeändert. Durch vorsichtiges Ausglühen bis zu einer bestimmten Temperatur werden diese Festigkeitserhöhungen und Dehnungsverminderungen wieder aufgehoben.

Die Festigkeitseigenschaften sind natürlich auch von der Temperatur des Stabes abhängig. Bei weichem Eisen kann man durch Erhitzung auf 200° C — 300° C dessen Zugfestigkeit bis 50 % erhöhen. Hier erreicht die Festigkeit ein Maximum und sinkt mit noch höheren Temperaturen, so daß sie bei etwa 600° C nur ungefähr ein Fünftel der Festigkeit bei gewöhnlicher Temperatur

beträgt. Es zeigt sich nun, daß die Bruchdehnung bei 200°C — 300°C viel kleiner ist als bei gewöhnlicher Temperatur. Diese Temperatur ist für das Eisen demnach eine kritische, nicht deshalb, weil das Eisen hier eine geringere Festigkeit hätte, sondern weil es eine kleine Dehnung hat — also spröde ist (Fig. 11 u. 12).

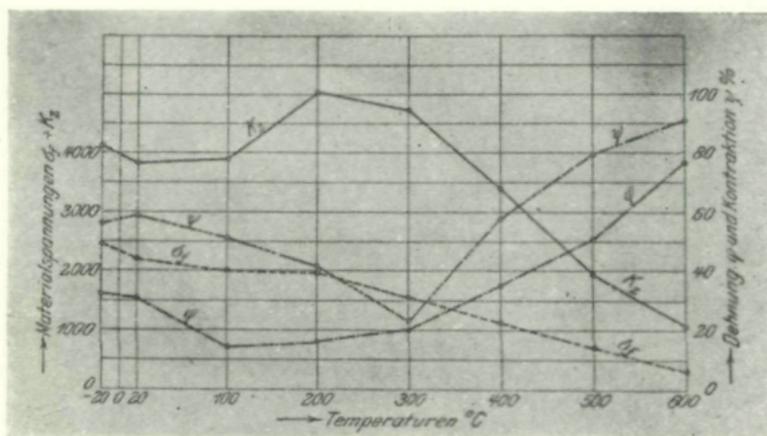


Fig. 11. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit (Kz), Streckgrenze (σ_f), Dehnung (φ) und Kontraktion (ψ) (nach Martens).

Auch die Geschwindigkeit, mit der ein Stab zerissen wird, kommt mehr weniger in Betracht. Bei Eisen ist sie — von plötzlichen Belastungen abgesehen — von mehr untergeordneter Bedeutung. Bei Zinn z. B. kann man aber die Zugfestigkeit durch die Belastungsgeschwindigkeit sehr variieren. Hat man mehrere Monate Zeit, so ist ein Zinnstab bei ein Zwanzigstel der Last zerreißbar, die er erfordert, um in wenigen Sekunden zu brechen.

Der Druckversuch: Zur Ausführung des Druckversuches benützt man hydraulische Pressen, zwischen deren Druckplatten der zu prüfende Körper gestellt wird. Eine der Platten ist kugelig gelagert, so daß sie sich den Druckflächen des Probekörpers anpassen kann, wenn diese zueinander nicht genau parallel sind. Als Proben-

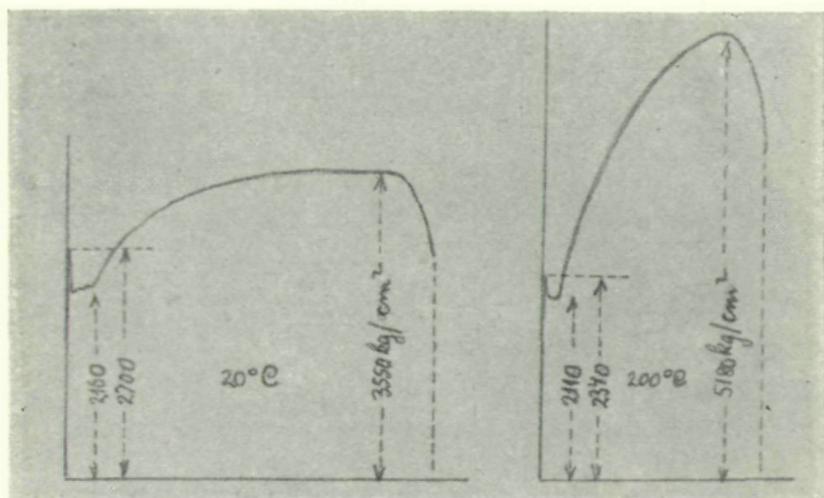


Fig. 12. Einfluß der Temperatur auf das Spannungsdehnungsdiagramm von Flußeisen (nach Bach).

form wählt man bei Metallen in der Regel gleichseitige Zylinder von 1—3 cm Durchmesser und Höhe.

Für Gesteine hingegen verwendet man Würfel und bezeichnet die erhaltene Druckfestigkeit als „Würfelfestigkeit“. — Bei der Untersuchung hydraulischer Bindemittel gibt man den Würfeln einen Querschnitt von 50 cm^2 , so daß die Würfelseite 7.1 cm ist. Unterzieht man einen Körper einer Druckbeanspruchung, so erfährt er

eine Höhenverminderung und eine Querschnittsvergrößerung. Diese Querschnittsvergrößerung ist jedoch nicht an allen Stellen gleich; die Reibung des Körpers an den Druckplatten hindert ihn, sich oben und unten auszudehnen, so daß die Querdehnung in der Mitte einen Größtwert erreicht und der Körper tonnenförmige Gestalt annimmt. Schmiert man die Druckflächen mit geeigneten Mitteln, so kann man diese Reibung vermindern und eine mehr gleichmäßige Querdehnung der Querschnitte erreichen. Diese Schmierung ist von großem Einflusse auf die Druckfestigkeit: man kann bei Steinen dadurch den Bruch bei fast der halben Last erreichen, die bei ungeschmierten Druckflächen erforderlich ist. Was man als Druckfestigkeit in den Büchern angibt, bezieht sich immer auf ungeschmierte Druckflächen.

Natürlich verläuft auch der Druckversuch sehr verschieden nach der Art des Materials. Sehr harte Gesteine, die sogenannten „brechenden“, werden unter Knall durch vertikale Sprünge plötzlich zerstört. Gesteine von einer gewissen Zähigkeit, die „treibenden“ — z. B. Carraramarmor — bilden zwei Pyramiden, die sich über Grund- und Deckfläche des Würfels erheben. In ähnlicher Weise brechen spröde Metalle wie Gußeisen. Gußeisen und Carraramarmor zeigen vor dem Bruche Systeme von Rhomboedern, die aus lauter feinen Sprüngen bestehen (Fig. 13, 14 u. 15).

Zug- und Druckdiagramme sind im ersten Bereiche einander ähnlich. Bei zähen Stoffen findet man wieder eine Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze, auf welche

die Quetschgrenze folgt. (Bei Flußeisen eine obere und eine untere.) Freilich die Druckfestigkeit kann bei sehr bildsamen Körpern nicht festgestellt werden; denn mit wachsender Last verbreitert sich der Querschnitt immer mehr und mehr, so daß man schließlich, wenn der Körper

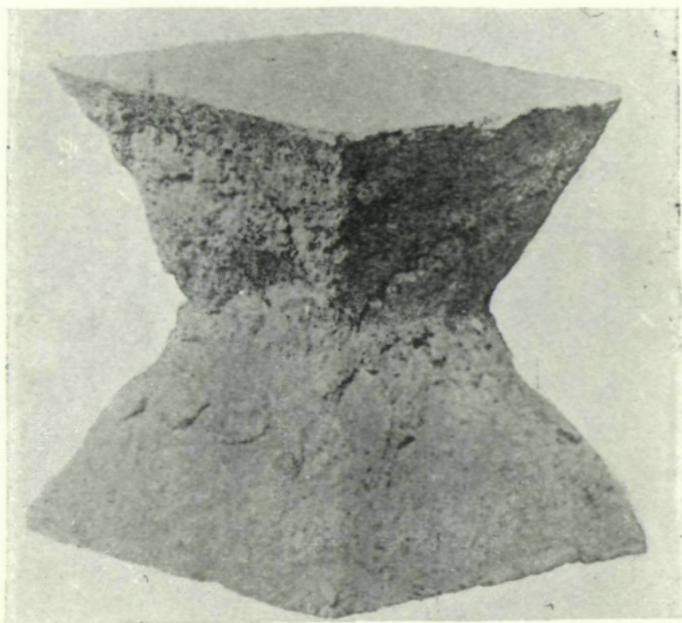


Fig. 13. Treibendes Gestein. Druckpyramiden.

ohne Rißbildung bis auf eine dünne Platte zusammengequetscht werden konnte, die Belastung beliebig hoch treiben kann (Fig. 16).

Es ist nicht uninteressant, festzustellen, daß das Volumen beim Stauchen eines Körpers kaum merkbar verändert wird, vorausgesetzt, daß der Körper nicht porös ist. Man kann z. B. einen Gummizylinder außer-

ordentlich deformieren, sein Volumen bleibt konstant, ja selbst, wenn man einen weichen Gummikörper unter all-

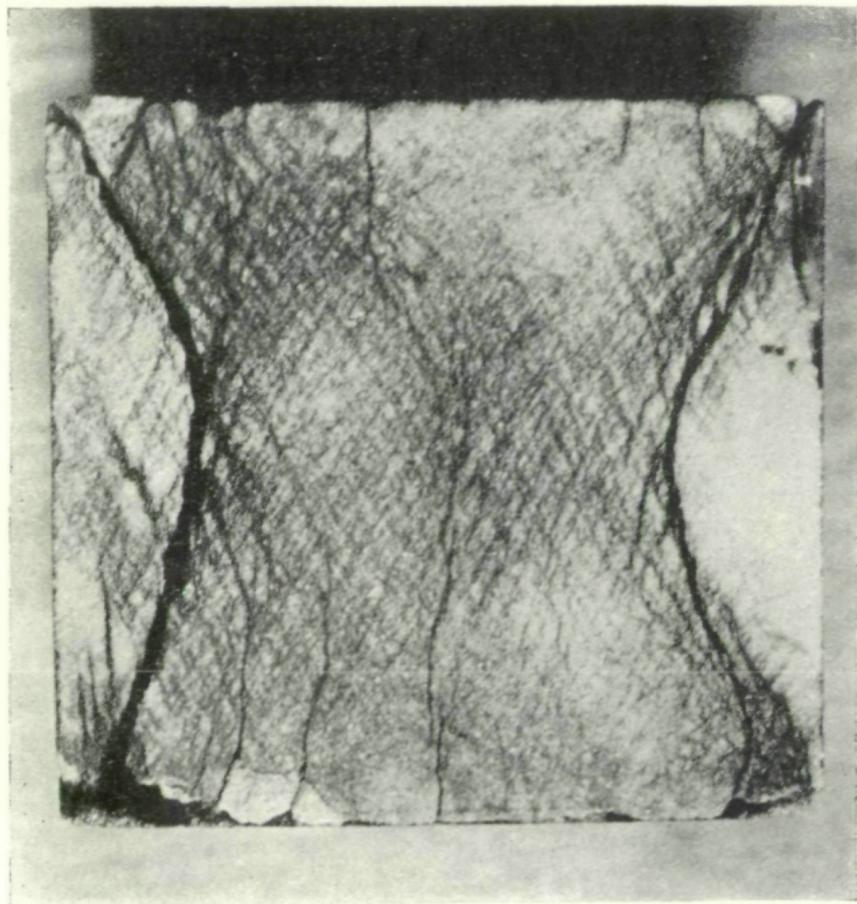


Fig. 14. Rißfiguren bei Carraramarmor.

seitigem Druck pressen würde, so würde er sich beinahe völlig unzusammendrückbar erweisen. Poröse Körper wie Holz lassen zwar ihr Volumen verkleinern, aber nur so lange, bis alle Poren geschlossen sind und der Körper

das spezifische Gewicht der Zellulose — es ist größer als 1 — hat. Dann hört die Möglichkeit einer Volumsverminderung durch Druck auf.

Für spröde Materialien wichtig ist auch der Biegeversuch. Bei diesem wird eine Probe des Stoffes auf

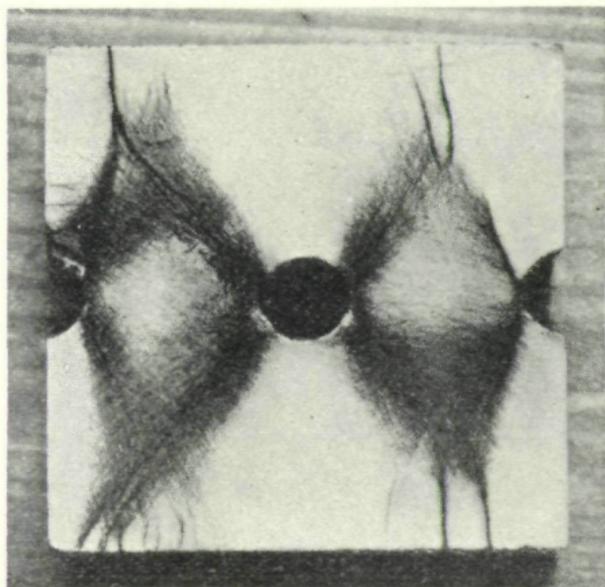


Fig. 15. Rißfiguren in einem auf Druck beanspruchten, gelochten Stein aus Carraramarmor.

zwei Stützpunkten gelagert und durch eine Kraft in der Mitte belastet. Spröde Körper sind nämlich sehr empfindlich gegen kleine Exzentrizitäten, die beim Zugversuch unvermeidbar sind. Der Biegeversuch läßt sich leichter einwandfrei durchführen als der Zugversuch und liefert Werte, die miteinander viel besser übereinstimmen als beim Zugversuch. Das Biegediagramm der zähen Körper

zeigt auch die Elastizitäts-, Proportionalitäts- und Streck- (Biege-)grenze, nur sind sie hier nicht so scharf ausgeprägt wie beim Zugversuch, denn bei diesem kommen alle Fasern gleichzeitig, beim Biegeversuch zunächst

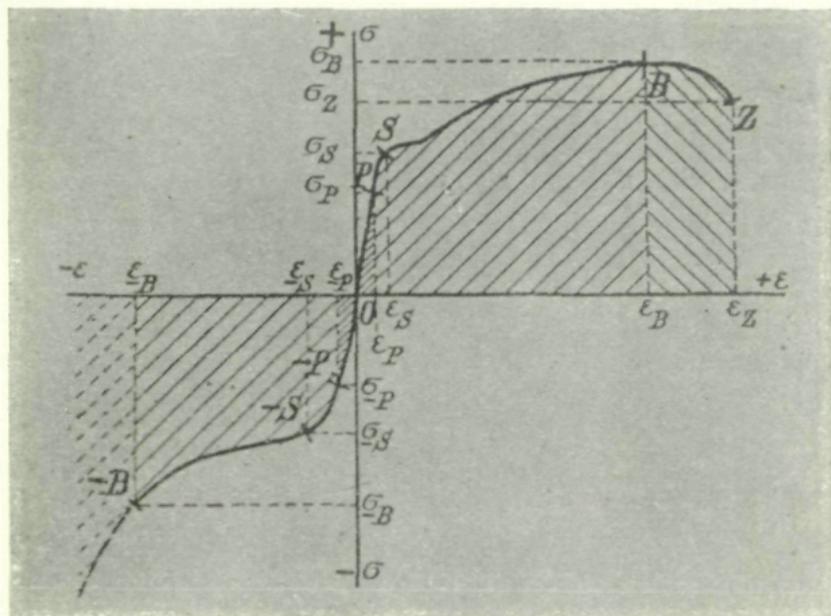


Fig. 16. Zug- und Druckdiagramm (+ und -) eines zähen Körpers.

nur die der Kraftangriffsstelle gegenüberliegenden zur Streckung. Es ist bei bildsamen Stoffen oft nicht möglich, das Probestück zum Bruch zu bringen. Der Stab würde sich nämlich immer mehr durchbiegen und schließlich aus den Auflagern herausfallen; meist gestatten übrigens die Biegemaschinen größere Formänderungen nicht. Als Biegefestigkeit gilt hier die höchste während des Versuches erreichte rechnermäßige Spannung.

Auch der Verdrehungsversuch wird mitunter, und zwar in neuerer Zeit immer mehr zur Qualitätsbestimmung eines Materiales herangezogen. Man benützt hierzu ähnlich geformte zylindrische Stäbe wie beim Zugversuch, deren Enden man unter Anwendung eines gewissen Drehmomentes um die Längsachse gegeneinander verdreht.

Die Methoden zur Bestimmung der hier genannten Qualitätsziffern haben sich aus dem Bestreben entwickelt, ein möglichst genaues ziffernmäßiges Bild für die Größe der zulässigen Beanspruchung und der Bruchgefahr der Konstruktionsteile zu erhalten. Neben diesen Prüfungsverfahren gibt es aber noch eine Reihe anderer, die ein Urteil ermöglichen sollen über die Bearbeitungsfähigkeit des Materials, wobei des öfteren Kraftmessungen gar nicht vorgenommen werden. Man will lediglich wissen, ob der Stoff durch geeignete Bearbeitung, z. B. durch Hämmern, Pressen oder Walzen, in die gewünschten Formen gebracht werden kann, ohne aufzureißen. Spröde Körper haben unter gewöhnlichen Umständen eine sehr geringe Bildsamkeit und so beziehen sich die hier noch in aller Kürze zu streifenden Qualitätsproben — die sogenannten technologischen — nur auf zähe Körper.

In Ermangelung einwandfreier physikalischer Definitionen hat sich in beinahe jedem Zweige der Industrie, zumeist in unmittelbarer Anlehnung an das Fabrikationsverfahren, eine ganze Reihe technologischer Proben ausgebildet.

Sehr oft angewendet sind bei der Ermittlung der Bildsamkeit von schmiedbarem Eisen die technologischen Biegeproben. Man fertigt hierbei entweder runde oder flache Metallstäbe an und biegt sie nach einem bestimmten Durchmesser — in der Regel gleich der Stabdicke — in der Mitte um und beobachtet, ob an den äußersten unter Zugspannung befindlichen Fasern Querrisse auftreten oder nicht. Der Winkel, bei dem der Anbruch beginnt, ist eine Güteziffer für das Material. Läßt sich der Stab so weit ohne einen Querriß biegen, bis seine Enden sich berühren, so wird er noch gehämmert oder gepreßt, bis die Stabflächen satt aufeinanderliegen. Da die Geschicklichkeit und Willkür des Versuchsausführenden den Ausfall der Probe unter Umständen beeinflussen kann, so empfehlen sich hierzu maschinelle Einrichtungen.

Man unterscheidet verschiedene Arten von technologischen Biegeproben. Bei der Kaltbiegeprobe wird das Versuchsstück bei gewöhnlicher Temperatur untersucht. Mißlingt die Probe, so wird das Eisen als „kaltbrüchig“ bezeichnet und von der weiteren Bearbeitung ausgeschieden. Schon sehr geringe Mengen Phosphor, einige Zehntel Prozent genügen, das Eisen völlig zu verderben. Macht man den Versuch mit Stäben von einer Temperatur von 200° — 300° C — das Eisen hat hierbei die blaue Anlauffarbe — so ist es die Blaubruchprobe und dient zur Untersuchung der Empfindlichkeit des Materials bei der Bearbeitung im schon etwas erkalteten Zustand. Wie wir früher hörten, besitzt das Eisen im blauwarmen Zustand eine höhere Festigkeit, aber

sehr geringe Bildsamkeit. Somit soll das Eisen bei dieser Temperatur überhaupt nicht bearbeitet werden: manche Sorten sind zudem diesbezüglich besonders empfindlich.

Als Rotbruchprobe bezeichnet man den Biegversuch in hellroter Glühhitze (ungefähr 700°C). Besseres Schweißisen sowie Flußeisen muß sich in der Glühhitze unter allen Umständen um 180° biegen lassen. Wenn das Eisen einen zu hohen Schwefelgehalt oder einen zu großen Gehalt an Eisenoxydul (Sauerstoff), oder wenn es — dies kommt beim Schweißisen in Betracht — zu viel und schwerflüssige Schlacke enthält, so ist es „rotbrüchig“ und hält der Probe nicht stand. Im verwalzten Zustand bilden sich dann feine Risse, so daß die Walzprodukte auch im kalten Zustande brüchig (faulbrüchig) sind.

Endlich gibt es noch eine Härtebiegeprobe, die den Gehalt an Kohlenstoff und somit die Härtebarkeit des Eisens einschätzen läßt. Das Versuchsstück wird in hellrotes Glühen gebracht und dann in Wasser von ungefähr 26°C abgeschreckt und darnach der Biegeprobe unterworfen. Eisen von höherem Kohlenstoffgehalt ist „härtebar“ und verhält sich in diesem Zustande als sprödes Material.

Neben diesen Biegeproben gibt es noch eine Reihe von Schmiedeproben, von denen hier nur die Stauchprobe erwähnt sei, die zur Prüfung des Nieteisens in Gebrauch steht. Zylindrische Probekörper, deren Höhe gleich ist dem doppelten Durchmesser, werden im rotwarmen Zustand mit dem Hammer zusammengestaucht. Gutes Niet-

eisen soll sich bis auf ein Drittel der ursprünglichen Höhe zusammenstauchen lassen, ohne Mantelrisse zu zeigen.

Eine sehr wichtige Rolle spielen aber die Methoden zur Bestimmung der Härte. Man bestimmt in der Technik die Härte sehr oft durch Eindrücken einer gehärteten Stahlkugel bestimmter Größe in das Probestück. Der Quotient aus Kraft und Eindruckfläche gibt die Härteziffer. Diese Methode hat aber den Nachteil, daß die Härteziffer nicht konstant bleibt je nach der Tiefe, bis zu der die Kugel eingedrückt wird, da die Eindrücke und damit auch die Formänderungsvorgänge einander nicht ähnlich sind. Eine von der Eindringtiefe unabhängige Härteziffer erhält man durch Anwendung eines Kegels. Zur Durchführung des Härteversuchs ist die Herstellung eines eigenen Versuchskörpers nicht nötig; da außerdem bei ähnlichen Materialsorten die Härteziffer proportional ist der Streckgrenze und Zugfestigkeit, so sind die Härteproben mit Erfolg als teilweiser Ersatz der Festigkeitsversuche eingeführt worden.

Es wäre noch sehr viel zu sagen, besonders über die Versuche bei stoßweiser oder oft wiederholter Belastung. Leider gestattete die Kürze unserer Zeit, nur in Andeutungen das Wichtigste zu streifen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [51](#)

Autor(en)/Author(s): Leon Alfons

Artikel/Article: [Das Materialprüfungswesen. 357-387](#)