

$a_e$ <sup>1)</sup> bezeichnete schraffierte Fläche ein Maass für die elastische Gesamtarbeit, die mit der schraffirten Fläche  $a$ , der gesammten Formänderungsarbeit, in Vergleich gestellt wird. Wie man sieht, ein zeitraubendes Verfahren, durch das nicht mehr gewonnen wird, als man es mit dem Ausdruck  $\mathfrak{B} = (\mathfrak{z}_n/\sigma_s) 10^3$  auch bieten kann. Dieser Ausdruck kann aber leicht und schnell aus den Ergebnissen abgeleitet werden, die ohnehin bei jedem Zerreißversuch ermittelt werden müssen, zu deren Erlangung also ein besonderer Zeit- und Arbeitsaufwand nicht nothwendig ist.

Ich deutete schon an und bin es schuldig hier nochmals klar auszusprechen, dass die Zahlenwerthe für die Härte, Zähigkeit und Bildsamkeit in der Praxis des Maschinenbaues und auch im eigentlichen Materialprüfungswesen bisher keine so hervorragende Rolle spielen, als es nach dem vielen Kopfzerbrechen scheinen könnte, das die Technologen ihnen zu widmen pflegen. Man muss hier einen Unterschied machen zwischen dem praktisch Verwerthbaren und der strengen Forderungen der Wissenschaft. Wir können nur dann praktisch leistungsfähige Männer werden, wenn wir das, was uns die Wissenschaft zu bieten vermag, beherrschen, es in Fleisch und Blut umzusetzen verstehen und nicht Sklaven unseres Wissens werden. Deswegen ist es wohl angezeigt, zum Schluss dieser Betrachtungen nochmals darauf aufmerksam zu machen, dass die hier gegebenen Maasswerthe für Härte  $\mathfrak{H}$ , Zähigkeit  $\mathfrak{z}$  und Bildsamkeit  $\mathfrak{B}$  nichts weiter sein sollen, als Zahlenzusammenstellungen, denen wir, rein nach Ueber-einkunft, Benennungen von Materialeigenschaften beilegen, die an sich deswegen nicht in vollkommener Weise begrifflich festgelegt werden können, weil es ganz unmöglich ist, diese Eigenschaften gewissermaassen von einander loszulösen und getrennt für sich zu betrachten, etwa wie es der Chemiker macht, der aus einem Haufwerk verschiedener Elemente jedes einzeln herauschält. Wir können vollkommen zufrieden sein, wenn unsere Maasswerthe sich mit unseren praktischen Erfahrungen im Allgemeinen decken und nicht wesentliche Widersprüche zu Tage treten, denn es kommt nur sehr selten vor, dass wir für unsere technischen Zwecke verschiedene Materialien vollständig mit einander zu vergleichen und ihre Eigenschaften durch unsere Versuchsergebnisse in vollkommen erschöpfender Weise darzustellen haben. Die Aufgabe liegt vielmehr meistens derart, dass man zu ergründen hat, ob ein bestimmtes Material den aufgestellten Forderungen genügt oder nicht, oder aber, dass ein Gütemaassstab, ein Maassstab für seinen Nutzungswert zu bilden ist, worüber später in einem besonderen Abschnitt noch zu verhandeln sein wird.

## B. Technologische Proben.

**372.** Ausser den bereits behandelten Festigkeitsversuchen mit Materialien sind zur Feststellung ihrer Güte und Verwendbarkeit noch Biege- und Schmiedeproben im Gebrauch, die man in ihrer Gesamtheit als technologische Proben zu bezeichnen pflegt. Sie sollen hauptsächlich über die Zähigkeit und über den grösseren oder geringeren Grad von Brüchigkeit des Materiales bei verschiedenen Wärmegraden Aufschluss geben oder darthun, in welchem Maasse es in der Kälte oder in der Wärme mit dem Hammer umgeformt, geschmiedet werden kann.

### a. Biegeproben.

**373.** Die Biegeproben werden mit stabförmigen Probekörpern von 200 bis 300 mm Länge ausgeführt, die man entweder in einer besonderen

<sup>1)</sup> In Fig. 247 versehentlich mit  $a_2$  bezeichnet.

Biegemaschine oder über dem Ambos unter Anwendung des Hammers biegt. Der hierbei bis zum Entstehen eines Querrisses an der Zugseite des gebogenen Stabes erreichte Krümmungsradius der neutralen Faserschicht Fig. 248, oder der Biegewinkel  $w$  Fig. 249, wird als Gütemaassstab benutzt. Die Frage, in welcher Weise man vorgehen soll, um bei diesen Versuchen einheitliche und einwandfreie Prüfungsergebnisse zu erhalten, ist durch die mehrfach genannten Konferenzen und auch sonst in technischen Kreisen viel erörtert worden, aber sie ist bisher wenig geklärt, weil sich in der Praxis bereits verschiedene Methoden eingebürgert haben und man hier wenig geneigt ist, ein einmal gewohntes Verfahren aufzugeben. Die Biegeprobe giebt aber nur dann zahlenmässige Vergleichswerthe, wenn man sie

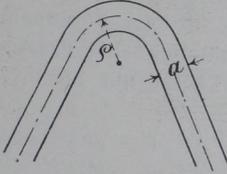


Fig. 248.



Fig. 249.

mit besonderer Vorrichtung ausführt, denn beim Biegen unter dem Hammer ist der Versuch immer mehr oder weniger abhängig von der Geschicklichkeit des Schmiedes, der ihn ausführt. Die „Konferenzen zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsverfahren“ nahmen daher vor allen Dingen den Grundsatz an, dass die Biegeprobe nur mit einer Maschine ausgeführt werden dürfe. Man konnte sich aber noch nicht darüber einigen, welche Anforderungen an diese Maschine zu stellen seien, und deshalb liegt die Sache eigentlich auch heute noch immer beim Alten. Ich will daher, ohne mich für einen bestimmten Apparat auszusprechen, hier nur diejenigen Hilfsmittel flüchtig beschreiben, die in der technischen Praxis am meisten gebräuchlich sind.

**374.** Am meisten verbreitet ist die Biegeprobe unter dem Hammer. Das ist erklärlich. Hammer und Ambos sind überall vorhanden; die Probe

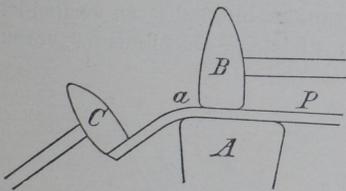


Fig. 250.

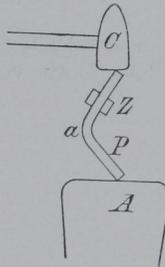


Fig. 251.

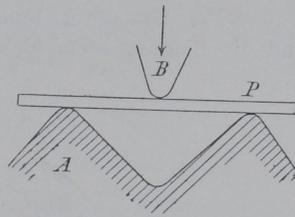


Fig. 252.

kann also überall kurzer Hand ausgeführt werden. Sie wurde in jeder Schmiede von altersher benutzt, und die Leute hatten grosse Uebung in der Beurtheilung des Probenausfalles.

Der Stab  $P$  wird Fig. 250 und 251 bei dieser Probe über die Amboskante geschoben, mit dem schweren Hammer  $B$  belastet und dann mit

leichten Schlägen durch den Hammer *C* gebogen. Später wird die Probe mit der Zange *Z*, Fig. 251, erfaßt, auf hochkant gestellt und dann mit dem Hammer *C* weiter zusammen geschlagen, bis bei *a* Querrisse entstehen, oder bis die beiden Probenschenkel ganz aufeinanderliegen.

**375.** Werden die Proben unter dem Dampfhammer oder unter der Presse vorgenommen, so pflegt man sie entweder in der beschriebenen Weise vorzubiegen und die Weiterbiegung über hochkant erst unter dem Dampfhammer oder in der Presse vorzunehmen, oder man biegt unter der Presse vor, indem man die Probe auf die Unterlage *A*, Fig. 252, legt und sie in der Mitte mit dem Aufsatz *B* durchdrückt.

Aus diesem zweiten Verfahren, das namentlich in den Eisenhüttenwerken viel im Gebrauch ist, entwickelte sich eine besondere Prüfungsmaschine, die gestattet, täglich viele hundert Proben vorzunehmen. In den Steelworks of Scotland benutzt man nämlich eine Presse mit auf- und abgehendem Stempel *B*, Fig. 253, deren Maul mit Stufen versehen

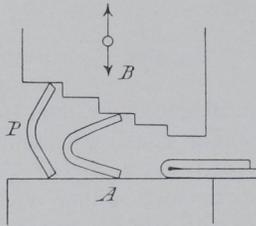


Fig. 253.

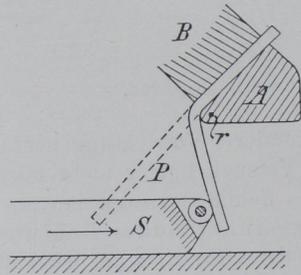


Fig. 254.

wurde. Die Presse biegt die Probe vor und diese wird dann stufenweise weitergebogen, bis die Schenkel auf einander liegen (L 48, 1886, S. 434).

**376.** Mohr und Federhaff in Mannheim bauen einen Biegeapparat nach folgendem Grundsatz, Fig. 254. Das Probestück wird zwischen zwei Backen *A B* eingeklemmt und dann durch den Schieber *S*, der vorn mit einer Rolle versehen ist, um die nach dem Halbmesser *r* abgerundete Vorderkante von *A* gebogen.

**377.** Um die Reibung an den Auflagern möglichst zu vermeiden und die Biegung stets über einen Dorn von gleichem Durchmesser vorzu-

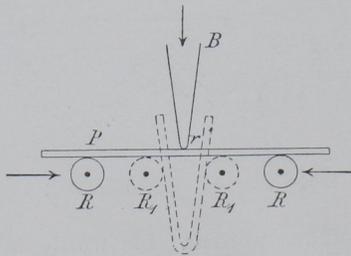


Fig. 255.

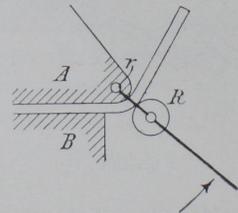


Fig. 256.

nehmen, hat man folgende Einrichtung getroffen, Fig. 255. Indem der Stempel *B* vorangehend die Biegung der Probe um seine nach dem Halb-

messer  $r$  abgerundete Kante einleitet, gehen zugleich auch die Auflagerrollen  $R$  nach  $R_1$  vor, so dass die Probe jedesmal um einen bestimmten Betrag zusammengebogen wird.

**378.** Bauschinger konstruirte einen Biegeapparat ( $L$  2), bei dem die Biegung von Anfang an um einen Dorn von bestimmtem Durchmesser vorgenommen wird. Das Stück wird zwischen die Backen  $A$  und  $B$ , Fig. 256, geklemmt und durch die an einem Hebel befestigte Rolle  $R$  um die nach dem Halbmesser  $r$  abgerundete Kante von  $A$  gebogen.

**379.** Die Frage, welchem der bei den besprochenen Einrichtungen befolgten Versuchsgrundsätzen man sich zuwenden soll, ist nicht kurzer Hand zu beantworten. Es kommt wesentlich darauf an, ob man die einfache Frage zu entscheiden hat, ob ein Material eine gewisse Biegung, ohne Querrisse zu bekommen, verträgt oder nicht, oder ob man die Biegefähigkeit des Materials bis zu diesem Punkt feststellen will. Im ersten Falle, dem in der Praxis meistens vorliegenden, kann das Material einfach bis auf das vorgeschriebene Maass zusammengebogen werden, und man hat nachher zu entscheiden, ob die Probe den Bedingungen genügt oder nicht. Im anderen Falle, der bei wissenschaftlichen Versuchen immer vorliegt, hat man den Bieungsgrad zu ermitteln, bei welchem das Material zuerst Risse zeigt.

Im ersten Fall hat der Lieferant ein Interesse daran, dass die Art der Probenausführung ihn nicht benachtheilige, indem durch den angewendeten Biegeapparat das Material ungünstig beeinflusst wird. Der Apparat kann eigentlich bei den jetzt gebräuchlichen Konstruktionen durch Erzeugung von Nebenspannungen das Ergebniss nur ungünstig beeinflussen; der Empfänger der Waare kann also durch die Art der Versuchsausführung kaum benachtheiligt werden. Die Versuchsausführung oder die zu benutzende Maschine muss aber von der Art sein, dass viele Versuche schnell und einfach durchführbar sind.

**380.** Grundsätzlich kann man die Versuchsverfahren eintheilen in:

- a) solche, bei denen die Biegung um einen Dorn, und in
- b) solche, bei denen die Biegung frei erfolgt.

Bei der Biegung um einen Dorn kann der Dorn:

1. für alle Probendicken gleichen Durchmesser haben, oder
2. der Durchmesser wechselt nach bestimmten Grundsätzen;
3. die Biegung erfolgt von Anfang an gezwungen um den Dorn, oder
4. der Stab kann sich um den Dorn frei herumlegen.

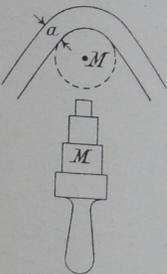


Fig. 257.

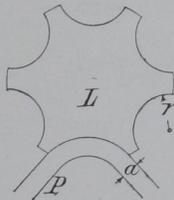


Fig. 258.

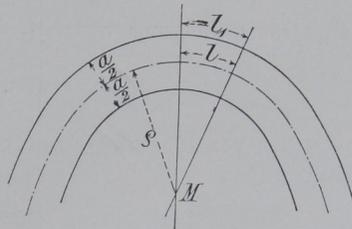


Fig. 259.

Bei Biegung um einen Dorn ist der kleinste Krümmungshalbmesser

der neutralen Faser durch den Dorn und die Probendicke gegeben; bei freier Biegung ist er am einfachsten aus dem mittelst eines Maassdornes *M*, Fig. 257, festgestellten Innenhalbmesser und der Blechdicke *a*, oder noch besser aus dem durch eine Lehre *L*, Fig. 258, ermittelten Aussenhalbmesser und der Blechdicke *a* zu bestimmen.

**381.** Für den Eintritt der Rissbildung ist die Dehnbarkeit der äussersten gezogenen Faser maassgebend. Die Dehnung dieser Faser ist aber für die Länge  $l=1$  der neutralen Faser, Fig. 259, aus dem Krümmungshalbmesser  $\varrho$  und der Probendicke *a* zu bestimmen aus:

$$l_1 : l = \varrho + \frac{a}{2} : \varrho \text{ oder } l_1 = \frac{\varrho + \frac{a}{2}}{\varrho}, \text{ also } \varepsilon = \frac{\varrho + \frac{a}{2}}{\varrho} - 1 = \frac{a}{2\varrho}.$$

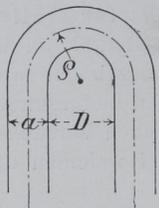


Fig. 260.

Die Grösse der Inanspruchnahme ist also abhängig von der Blechdicke und dem Krümmungshalbmesser, und das Verhältniss dieser beiden Grössen giebt daher einen geeigneten Maassstab für die Leistungsfähigkeit des Materiales.

Für die gebräuchliche Bezeichnung wird nach

Fig. 260

<i>D</i> =	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0 <i>a</i>
$\varrho$ =	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0 <i>a</i>
$\varepsilon$	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,28	0,25

Der Biegungswinkel *w* [der in der Praxis vielfach als Gütemaass benutzt wird] ist, wie man sah, nicht maassgebend für die Anstrengung des Materiales, sondern allein das Verhältniss zwischen Probendicke und Krümmungshalbmesser.

**382.** Als Gütemaassstab kann man auch, wie Tetmajer (*L* 3) vorschlug,  $100\varepsilon$  einführen. Denkt man sich die Krümmung bis auf den Halbkreis vollzogen und die Schenkel der Probe fest aufeinander liegend, so dass  $\varrho = \frac{a}{2}$  wird, so wird  $\varepsilon \text{ max.} = 100 \frac{a}{2 \frac{a}{2}} = 100$ , und wenn der Stab überhaupt keine Biegung verträgt, also für  $\varrho = \infty$

$$\varepsilon \text{ min.} = 100 \frac{a}{2 \infty} = 0$$

Der von Tetmajer vorgeschlagene Gütemaassstab, in der Folge als Biegegrösse

$$\text{Bg} = 50 \frac{a}{\varrho} \dots \dots \dots 33)$$

bezeichnet, schwankt demnach zwischen den Werthen 0 und 100 (vergl. Tabelle unter Abs. 381).

**383.** Den Krümmungsradius kann man aber auch indirekt be-

stimmen, indem man auf der Zugseite vor Beginn des Versuches eine Theilung Fig. 261 anbringt und nach beendetem Versuch, d. h. nach eingetretenem Querriss, die Verlängerung durch Ausmessen des Bogens z. B.  $1_1 5_1$  bestimmt. War  $15 = l$ , so ist  $l_1 = 1_1 5_1$  also

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l}{l}, \text{ und da } \varrho = 50 \frac{a}{\varepsilon}, \text{ so ist } \varrho = \frac{50 a l}{l_1 - l}.$$

Die erste Art der Krümmungsmessung erscheint praktisch einfacher. Die zweite ist thatsächlich nicht genauer als die erste, wenn die Krümmung nicht nach der Kreislinie erfolgt.

Es ist wohl zu beachten, dass die oben gegebene Ableitung von  $\mathfrak{B}g$  nicht vollkommen den thatsächlichen Vorgängen entspricht. Um zu zeigen, in welchem Maasse Abweichungen von den gemachten Voraussetzungen stattfinden, und um zugleich eine Andeutung über die Art der Vorgänge beim stark über die Elastizitätsgrenze hinaus getriebenen Biegeversuch zu geben, habe ich in Fig. 262

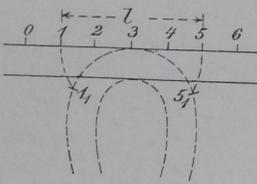


Fig. 261.

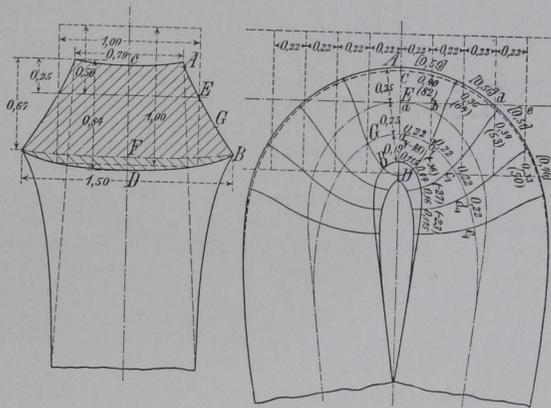


Fig. 262.

einen Gummistreifen von quadratischem Querschnitt dargestellt, der bis zum Aufeinanderliegen der Schenkelenden gebogen wurde. Der Streifen wurde vorher mit einer Theilung versehen, wie beim umgebogenen Streifen, in der Figur 262 rechts, punktirt angedeutet. Alle Maasse sind der Uebersichtlichkeit wegen auf die Quadratseite als Einheit bezogen worden. In der Figur links ist der Querschnitt des Stabes an der am stärksten gebogenen Stelle nach freilich nur rohen Messungen eingetragen. Der Querschnitt hat seine Höhe von 1,00 auf etwa 0,80 und seine Breite an der gezogenen Seite [Linie A] auf 0,79 vermindert, aber an der gedrückten Seite [Linie B] auf 1,50 verbreitert. Die obere Fläche an der Zugseite C ist hohl, die untere an der Druckseite D dagegen gewölbt. Betrachtet man aber den Verlauf der Formänderungen an letzterer Fläche während des Biegevorganges genauer, so findet man, dass diese Fläche an der in der Figur rechts mit D bezeichneten Stelle sich einkneift, so dass sich schliesslich von B bis D [rechts] die eigentliche Staboberfläche doppelt auf einander legt, den schraffirten sichelförmigen Theil zwischen den Linien FBD [links] bildend; der eigentliche Stabquerschnitt zwischen den Linien CAEBF ist in anderer Richtung schraffirt. Sucht man, durch Ausmessung mit dem Zirkel, am Probekörper diejenigen Stellen auf, an welchen die Stabquerschnitte nahezu ihre ursprüngliche Breite behielten, so findet man diese Stellen etwa auf der Linie E [rechts] liegend, während die Lage der Linie in den Stabseitenflächen, die bei der Biegung keine Längenänderung erfuhren, etwa durch den Linienzug G gegeben ist. Diese Linien fallen so weit auseinander, dass trotz der rohen Messung die Thatsächlichkeit dieses Verhältnisses anerkannt werden muss. Man ersieht aus diesem Um-

stande und aus dem Umstande, dass an der gedrückten Seite auch das eigentlich der Oberfläche angehörige sichelförmige Flächenstück an der Spannungsvertheilung theilnimmt, dass die Vorgänge bei einem so weit getriebenen Biegeversuch sehr viel verwickelter sind, als man gewöhnlich anzunehmen pflegt. Die Verschiebung der von Normalspannungen freien [neutralen] Faserschicht im Stabquerschnitt findet selbstverständlich schon viel früher statt; es ist aber hier nicht der Ort, diese Vorgänge weiter zu verfolgen. Auf die Dehnungsverhältnisse in den einzelnen Stabtheilen sei indessen noch in Kürze eingegangen. In der Linie  $G$  sind die Längenänderungen gleich Null. Die Dehnungen und Verkürzungen in den Linien  $C$  und  $B$  sind nach den rohen Messungen zwischen die Theilstriche  $a$  bis  $e$  an die betreffenden Linien geschrieben; in runder Klammer stehen die Längenänderungen  $\delta$  und  $-\delta$ , und in den eckigen Klammern sind die Verhältnisse  $\frac{-\delta}{+\delta}$  angegeben. Man erkennt auch aus diesen Messungen die That-

sächlichkeit der Verschiebung der neutralen Schicht mit dem Bieungsgrade. Ausserdem weisen noch die leichten Krümmungen der Theilstriche auf den beiden Seitenflächen darauf hin, dass die Querschnitte im stark gebogenen Stabe nicht mehr eben bleiben, wie es die Biegungstheorie voraussetzt. Praktisch beachtenswerth ist die Faltung der Fläche bei  $D$ , weil man zuweilen die Anschauung hört, dass hier ein Riss entstanden sei, was wohl selten wirklich der Fall ist.

Die Unzulänglichkeit der Ableitung für  $\mathfrak{B}g$  geht aus den in Fig. 262 gegebenen Messungen und übrigens auch aus der Ueberlegung hervor; denn während nach der Ableitung die Dehnung für  $g = a/2$  die Dehnung  $+\delta = 100\%$ , d. h.  $l = \varepsilon l$  sein müsste, müsste die Verkürzung  $-\delta = 100\%$ , d. h.  $l = 0$ , die Ausbauchung des Querschnittes bei  $B$ , Fig. 262, also sehr gross werden, was niemals der Fall ist.

Man fand die grössten Längenänderungen beim Gummi im vorbeschriebenen Versuch zu  $+\delta = 82$  und  $-\delta = 48\%$ , und ähnliche Verhältnisse wird man auch bei weichen Metallen, z. B. bei Flusseisen, erhalten (*L 105* S. 36 u. f.). Die Dehnbarkeit des Flusseisens wird beim Zerreißversuch selten über  $35\%$  gefunden; in der Einschnürung gemessen (*36* und *363*) kann sie freilich sehr viel grösser werden. Die durch den Biegeversuch gefundene grösste Dehnung wird die Bruchdehnung vom Zerreißversuch meistens erheblich überschreiten; sie kann aber  $100\%$  nicht erreichen (*L 137* § 52).

**384.** Obwohl nun, wie wir sahen, der Biegungswinkel  $w$  kein Maass für die wahre Inanspruchnahme des Materiales sein kann, so hat er immerhin eine gewisse Bedeutung für die Materialbeurtheilung, namentlich dann, wenn die Biegung von Anfang an um einen Dorn erfolgt. Je grösser nämlich der Biegungswinkel, eine um so grössere Länge  $l$  des Probestabes wird in Mitleidenschaft gezogen; um so grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb dieses Theiles eine Stelle des Stabes fällt, die Ursache zum Querriss geben könnte. Man darf aber wohl sagen, dass dies durchaus den Absichten der Probe entspricht, denn man will ja gerade prüfen, ob im Material solche Stellen vorhanden sind, die Ursache zu Querrissen geben, und der Erzeuger der Waare wird sich nicht über die Verschärfung der Probe beklagen dürfen, wenn man bei zweckmässiger Wahl von  $\mathfrak{B}g$  etwa verlangt, dass der Biegungswinkel in allen Fällen  $180^\circ$  betrage.

**385.** Die Biegeprobe wird entweder an glatten Streifen, an eingekerbten oder an gelochten Streifen vorgenommen. Die Streifen dürfen bei weichen Materialien mit der Blechscheere oder mit der Lochmaschine abgetrennt werden, müssen aber in diesen Fällen an den Schmalseiten mit schneidenden Werkzeugen in der Maschine oder aber mit der Feile bearbeitet werden. Die Kanten sind an den Stellen, die in die spätere Biegung fallen, mit einem Halbmesser von etwa  $1/4 a$  abzurunden, weil bei Belassung der Scheerenschnitte oder der Kanten

leicht Kantenrisse entstehen, deren Ursache nicht in schlechtem Material, sondern in der Art der Bearbeitung zu suchen ist.

**386.** Um für die Biegeprobe dem Gesetz der Aehnlichkeiten, das auch für diesen Fall Gültigkeit hat, gerecht zu werden, habe ich für die Versuche in der Charlottenburger Versuchsanstalt die Bestimmung getroffen, dass den Probestücken, wenn möglich, die folgenden bestimmten von der Dicke  $a$  abgeleiteten Abmessungen gegeben werden, nämlich:

Dicke  $= a$ ; Breite  $b = 3a$  und ganze Länge  $L = 18a$ .

Die Versuchsausführung geschieht auf einer Presse, nach Maassgabe von Fig. 252, bei Anwendung einer Stützweite  $l = 15a$ ; der Apparat ist so eingerichtet, dass diese Bedingung leicht erfüllt werden kann. Der Abdrungsradius für den Stempel wird  $r = a$ .

**387.** Soll der Versuch mit eingekerbten Stücken geschehen, so ist es zweckmässig, in den Versuchsbestimmungen zwischen Erzeuger und Käufer festzusetzen, wie die Kerben hergestellt werden sollen. Am einfachsten ist es, mit dem Schrotmeissel quer über die Probe einen Kerb von etwa 1 bis 2 mm [oder noch besser (0,1 bis 0,2)  $a$ ] Tiefe, Fig. 263, einzuhaue. Das Material wird aber weniger leicht beschädigt und die Einheitlichkeit ist leichter zu wahren, wenn man den Kerb einhobelt. Die Biegung erfolgt nun so, dass der Kerb in die stärkstgebogene Stelle der Zugseite fällt.

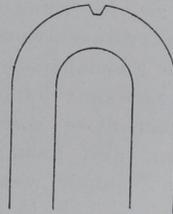


Fig. 263.

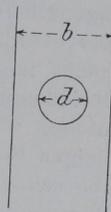


Fig. 264.

**388.** Bei der Biegeprobe mit Loch wird der Streifen in der Mitte mit einem Loch versehen, Fig. 264, und die Biegung so ausgeführt, dass das Loch in die stärkste Biegung fällt. Wenn das Loch mit der Bohrmaschine gebohrt wird, ist die Probe weniger streng, als wenn es mit der Lochmaschine gestanzt wird. Lochdurchmesser  $d$ , Probenbreite  $b$  und Dicke  $a$  sollten möglichst immer in gleichem Verhältniss stehen, etwa  $d = 2a$  und  $b = 5a$ . Wenn die Lochung vorgeschrieben ist, sollte man auch über die Herstellung des Loches Vorschriften machen, denn es ist nicht gleichgültig, ob der Streifen gelocht wird oder ob der Streifen erst nach dem Lochen aus dem Probestück herausgeschnitten wird.

**389.** Für sehr weiche Metalle, z. B. für Kupfer, pflegt man die Biegeprobe auch wohl in der Weise auszuführen, dass man auf einem runden Stab Schraubengewinde schneidet und dann die Biegeprobe macht. Das ist natürlich eine wesentliche Verschärfung der Probe.

**390.** Man pflegt die Biegeprobe in verschiedenen Materialzuständen vorzunehmen, um sich über die Eigenschaften ein möglichst umfassendes Urtheil zu verschaffen.

Biegeproben in kaltem Zustande stellt man entweder im luftwarmen Zustande an, oder nachdem man die Proben künstlich abkühlte. Man ist in neuester Zeit bei der Prüfung von Stahl und Eisen sogar bis auf unter  $-40\text{ C}^{\circ}$ . gegangen. Für die Erzeugung von  $0\text{ Grad}$  wird schmelzendes Eis benutzt;  $-20\text{ C}^{\circ}$ . erzielt man mit einer Mischung von Schnee oder gestossenem Eis mit Viehsalz; noch niedrigere Kältegrade mit fester Kohlensäure (296). Durch diese Versuche wollte man erweisen, ob die geprüften

Metalle in der Kälte spröder und brüchiger werden, ob sie frostbrüchig sind. In der Praxis bezeichnet man die Biegeprobe im luftwarmen Zustande kurz als Kaltbiegeprobe.

**391.** Die sogenannten Warmbiegeproben führt man im blauwarmen oder rothwarmen Zustande der Probe aus. Beide Wärmegrade sind namentlich für Eisen bedeutsam, indem es bei beiden Wärmegraden unter gewissen Umständen bedeutend brüchiger sein kann, als im kalten oder hellroth warmen Zustande. Die Blauwärme ist bei Eisen erreicht, wenn es aus dem Feuer genommen noch keine Gluth zeigt, und wenn dabei bei schnellem Anfeilen einer Kante die blanke Fläche blau anläuft und diese Farbe längere Zeit behält; dann muss schnell der Versuch ausgeführt werden. War die Probe zu heiss, so verschwindet die blaue Anlauffarbe wieder; war sie zu kalt, so kommt sie überhaupt nicht hervor. Die Erwärmung besorgt man zweckmässig in einem Bleibad oder im Glühofen. Wir wollen diese Probe kurz die Blauwarmprobe nennen.

Die Rothwarmprobe wird vorgenommen, sobald das Stück im Feuer so erhitzt ist, dass es im Schatten deutlich rothwarm erscheint. Durch einige Übung lernt man diesen Hitzegrad bald sehr gut abschätzen.

**392.** Für gewisse Materialien ist es wichtig festzustellen, welche Eigenschaften sie im ausgeglühten oder im abgeschreckten [gehärteten] Zustande entwickeln. Um die Proben zuverlässig auszuglühen, macht man sie gleichmässig so warm, als das Metall es ohne schädliche Beeinflussung vertragen kann, und steckt sie dann in trockene Kohlenlöschel, wie man diese vom Schmiedefeuere erhält. Hierin kühlen sie in einigen Stunden, also ganz langsam, ab. Die Proben für Versuche im abgeschreckten Zustande werden von dem für das Abschrecken wirksamsten Hitzegrade aus plötzlich in Wasser von etwa 15 bis 30 C<sup>0</sup>. getaucht und daher schnell abgekühlt; hierbei ist es zu beachten, dass die Proben im Wasser bewegt werden, und dass eine genügende Menge Wasser vorhanden ist, um wesentliche Erwärmung des letzteren auszuschliessen. Die Versuche werden mit den kalten Proben in der bereits beschriebenen Weise ausgeführt. Die Umstände, unter denen das Abschrecken erfolgt, spielen bei manchen Materialien eine wesentliche Rolle.

## b. Proben mit Drähten.

**393.** Für die Prüfung von Drähten hat sich im Laufe der Zeit ein besonderes Verfahren herausgebildet. Hierzu haben in Deutschland besonders die Postverwaltungen und die Bergbehörden Anlass gegeben. Für Telegraphen- und Förderseildrähte bestehen bestimmte Prüfungsvorschriften.

Ausser dem Zerreißversuch, der meistens von den Fabriken bei der Herstellung von Förderseilen an jedem Draht vorgenommen wird, werden noch Biegeproben und Verwindungsproben vorgenommen.

**394.** Die Biegeproben werden mit einem besonderen Apparat gemacht, dessen Konstruktionsgrundsatz folgender ist. Der Draht wird zwischen die Backen eines Schraubstockes, Fig. 265, geklemmt, deren innere Kanten bei  $r$  nach einem bestimmt vorgeschriebenen Halbmesser abgerundet sind. Der Draht  $D$  geht lose durch ein Führungsstück  $F$  hindurch, das an einem Hebel  $H$  befestigt ist, dessen Drehpunkt in  $M$

liegt. Mit dem Hebel kann nun der Draht mit mässiger Geschwindigkeit aus der Lage 1 nach Lage 2 und von dort über 1 nach 3 und wieder zurück gebogen werden. Die Biegung 1, 2, 1 oder 1, 3, 1 rechnet man als volle Biegung, und es wird die Zahl der Biegungen festgestellt, die der Draht vertragen kann, bevor er zu Bruche geht.

In der Regel wird in der Praxis für die Abrundung  $r$  der Backen und für die Länge des Hebels vom Drehpunkt  $M$  bis zur Führung  $F$  nur je ein bestimmtes Maass vorgeschrieben. Hierbei können, wie wir schon sahen, die Beanspruchungen des Materials in verschiedenen dicken Drähten nicht gleich sein. Da man mit verschiedenem Maasse misst, so muss man für verschiedene Drahtdicken verschiedene Biegezahl schreiben. Streng genommen müssten nach dem Gesetz der Aehnlichkeit die Halbmesser  $r$  und die Länge  $MF$  proportional dem Drahtdurchmesser gemacht werden. Dann würde für gleiches Material, auch bei verschiedenen Durchmessern gleiche Zahl der Biegungen vorzuschreiben sein.

**395.** Als technologische Probe pflegt man wohl noch vorzuschreiben, dass ein Telegraphendraht sich um sich selbst wickeln [und bei sehr weichem Material auch wieder aufwickeln] lassen muss. Das Gesetz der Aehnlichkeiten ist hier ohne weiteres erfüllt.

**396.** Für Kratzendraht [zu den Kardenbändern von Reisswölfen der Tuchfabrikation bestimmt] oder für Drähte zur Federfabrikation

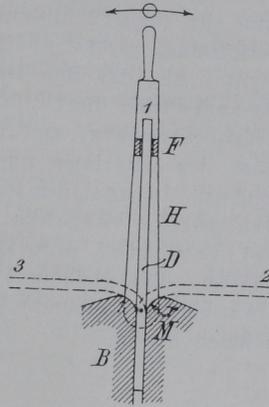


Fig. 265.

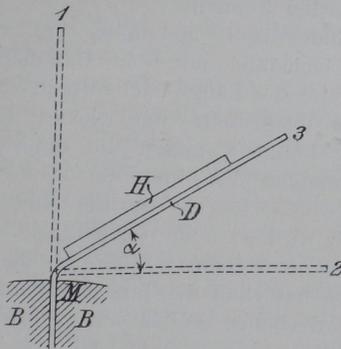


Fig. 266.

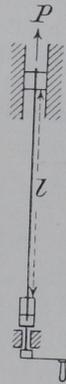


Fig. 267.

ist es von Wichtigkeit, sie auf die Gleichmässigkeit ihrer elastischen Eigenschaften zu prüfen. Hiermit verbindet man in der Regel zugleich den Biegeversuch, indem man den in den Schraubstock  $BB$ , Fig. 266, eingespannten Draht  $D$  mit dem Hebel  $H$  aus der Stellung 1 scharf um die etwas abgerundete Backenkante bis in die Lage 2 biegt und dann nach 3 frei zurückfedern lässt. Der Halbmesser der Backenabrundung im Verhältniss zur halben Drahtdicke giebt dann das Maass für die Biege-

grösse  $\mathfrak{B}_g$ , und der Winkel  $\alpha$  das Maass für die Federung des Drahtes. Sollen auch dickere Drähte geprüft werden, so wird es zweckmässig sein, den Apparat mit verschiedenen Backen für verschiedene Werthe von  $r$  zu versehen.

**397.** Von Telegraphendrähten wird vielfach verlangt, dass sie auf eine bestimmte Länge, in der Regel 15 cm, eine bestimmte Anzahl von Verdrehungen um ihre Axe aushalten können, ehe sie reissen. Man spannt den Draht an einem Ende in eine Kurbel Fig. 267 und am anderen Ende in einen Schlitten, der dem Drahte eine freie Verlängerung oder Verkürzung gestattet. Zuweilen bringt man auch wohl ein leichtes Gewicht  $P$  an, das den Draht anspannt. Die Zahl der Kurbelumdrehungen bis zum Bruch des Drahtes wird festgestellt. Auch hier gilt das Aehnlichkeitsgesetz, und man erhält einen vergleichbaren Maassstab für die Güte des Materiales nur dann, wenn man nicht eine bestimmte Länge, sondern ein bestimmtes Verhältniss  $l/a$  zwischen freier Länge und Drahtdicke vorschreibt. Nur dann kann man für gleiches Material bei verschiedenen Drahtdicken gleiche Umdrehungszahlen erhalten. Bei gleicher Länge für verschiedene Durchmesser muss man die etwa vorzuschreibende Verdrehungszahl mit wachsendem Durchmesser abnehmen lassen.

### c. Schmiedeproben.

**398.** Schmiede- oder Hämmerproben werden entweder im warmen oder im kalten Zustande, beim warmen im blau- und rothwarmen Zustande ausgeführt. Die Art der Probe muss dem jeweiligen Zweck des Materiales oder dem Gegenstande, der zu prüfen ist, angepasst werden. Die Schmiede- und Hämmerproben sind daher so mannigfaltig, dass sie hier unmöglich alle besprochen werden können.

**399.** Am meisten pflegt man die so genannte Ausbreiteprobe anzuwenden. Bei ihr werden Flachstäbe mit der Hammerfinne eines Schmiedehandhammers der Quere und der Länge nach ausgetrieben; hierbei

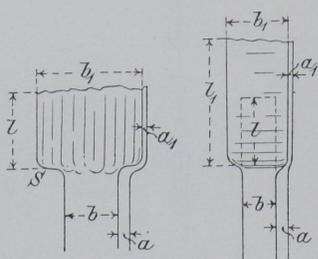


Fig. 268.

wird festgestellt, um wieviel die Breite  $b_1$  oder Länge  $l_1$  gegen die ursprüngliche zugenommen hat und die Dicke  $a_1$  kleiner geworden ist als  $a$ , Fig. 268. Der Versuch wird so lange fortgeführt, bis Kantenrisse entstehen. Während des Versuches muss natürlich der innezuhaltende Hitzegrad erforderlichen Falles immer wieder erzeugt werden.

Auch auf diese Versuche lässt sich das Aehnlichkeitsgesetz anwenden, und man wird gut thun, dies nicht ausser Acht zu lassen, wenn man Proben von sehr verschiedenen Abmessungen mit einander zu vergleichen hat. Für die Charlottenburger Anstalt ordnete ich daher an, dass zu den Ausbreiteproben, wenn möglich, die unverletzten Enden der der Biegeprobe unterworfenen Streifen, oder Stücke von ähnlichen Abmessungen benutzt werden. Bei Ausführung des Versuches ist darauf zu achten, dass immer eine Probenlänge  $l = 1,5$  bis  $2b$  ausgetrieben oder

gestreckt wird, und dass hierbei namentlich die Schultern S, Fig. 268 der Probe gehörig herausgeholt werden. Das gehämmerte Ende soll während des Versuches allenthalben möglichst gleiche Dicke behalten. Als Maassstab für die Materialbeurtheilung empfiehlt sich die Ausbreitung oder Streckung:

$$\mathcal{A}g = \frac{b_1}{b} \cdot 100 \quad \text{oder} \quad \mathcal{E}tr = \frac{l_1}{l} \cdot 100 \quad \dots \quad 34)$$

zu benutzen.

**400.** Bei der Stauchprobe, die namentlich für Nietmaterial und dann meistens im hellrothwarmen Zustande ausgeführt zu werden pflegt, wird gewöhnlich ein Cylinder von Länge  $l = 2d$  (Durchmesser) so viel in der Längenrichtung zusammengestaucht, bis Mantelrisse eintreten. Als Maassstab für die Materialbeurtheilung empfiehlt es sich, wie beim Stauchversuch (238) die Stauchung:

$$\delta_s = -\epsilon \cdot 100 \text{ einzuführen.}$$

**401.** Die Lochprobe wird in der Regel im hellrothwarmen Zustande ausgeführt, indem man mit dem Lochhammer auf dem Ambos die Probe lochen lässt, Fig. 269, und sie dann unter Erhaltung des Hitzegrades solange mit immer grösser werdenden kegelförmigen Dornen aufreibt, bis Kantenrisse eintreten. Die Materialbeurtheilung erfolgt zweckmässig nach dem Verhältniss der Lochweiten vor und nach dem Versuch, nach der Erweiterung:

$$\mathcal{E}g = \frac{d_1}{d} \cdot 100 \quad \dots \quad 35)$$

Selbstverständlich muss man auch hier dem Gesetz der Aehnlichkeiten Rechnung tragen, wenn es auf vergleichende Versuche ankommt; man wird dann, wie beim Lochbieveversuch (388),  $d = 2a$  und  $b = 5a$  machen. Zuweilen pflegt auch das Maass  $c$ , Fig. 269, vorgeschrieben zu werden.

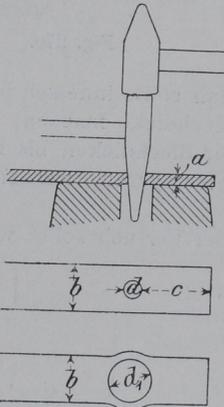


Fig. 269.

**402.** Um das Verhalten des Materiales beim Schmieden festzustellen, pflegt man, namentlich bei Eisen für Hufnagel- oder Nagelfabrikation, Nagelspitzen ausschmieden zu lassen, die dann bis in die Spitze hinein ganz bleiben müssen und nicht spalten dürfen.

**403.** Auch Schweissversuche pflegt man anzustellen, indem man einen Stab durchschrotet und ihn dann wieder zusammenschweisst. Um sich zu überzeugen, ob die Schweissung vollkommen war, unterwirft man den geschweissten Stab der vorhin besprochenen Kaltbieveprobe, indem man die Schweissstelle in die Biegestelle verlegt. Gelegentlich werden noch Zerreissversuche mit geschweissten Proben angestellt.

### d. Verschiedene Proben.

**404.** Walzeisen und andere ähnliche Metalle pflegt man auch im Ganzen an dem ausgewalzten Profil zu prüfen, und diese Proben sind

häufig Gegenstand der Lieferungsvorschriften. Die gebräuchlichsten seien daher hier besprochen.

Winkleisen für Schiffbauzwecke pflegen nach Fig. 270 *a* bis *d* der Biegung im kalten Zustande ausgesetzt zu werden. Die Schenkel werden eingeschnitten und dann flachgedrückt nach *a* und *b* oder aufgerollt nach *c* und *d*. Namentlich die Aufrollungen nach *d* verrathen etwaige unganze Stellen und Risse, die von fehlerhaften Blöcken und Packeten herstammen und beim Walzen nicht verschweisst wurden.

**405.** Bleche pflegt man je nach dem Verwendungszweck zu prüfen, ob sie beispielsweise das Ausschärfen der Ecken, oder das Bördeln vertragen, wie es die Kesselschmiede anwenden. Für Kupferbleche sind zuweilen Treibproben vorgeschrieben. Vorschriften dieser Art geben z. B. die französischen Behörden. Nach Baclé (*L 102 II. S. 209*) schreiben sie vor, aus einer Scheibe vom Halbmesser *R* und der Dicke *a* eine Kugelkalotte vom Halbmesser  $\varrho$  und der Tiefe *f*, Fig. 271, herzustellen, und zwar verlangt die Staatsbahn

- für  $a > 0,6$  cm:  $\varrho = 10,0$  cm
- für  $a > 0,3$  cm:  $f = 12,0$  cm
- für  $a < 0,3$  cm:  $f = 15,0$  cm.

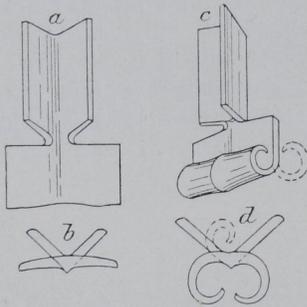


Fig. 270.

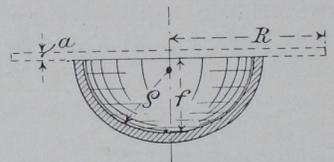


Fig. 271.

Man sollte indessen bei diesen Vorschriften die Abmessungen proportional der Blechdicke machen, um dem Gesetz der Aehnlichkeiten zu genügen; für Blechdicken bis zu  $a = 1$  cm würde nach den obigen Vorschriften vielleicht gesetzt werden können

$$\varrho = 20 a; f = 22 a.$$

Der Versuch sollte womöglich rein mechanisch ohne Hämmern durchgeführt werden, was vielleicht gelingt, wenn

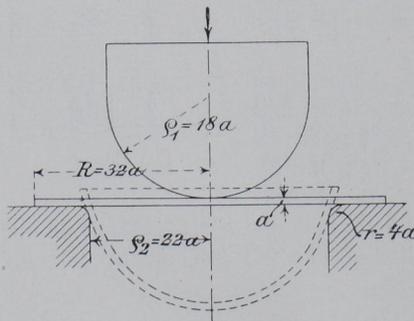


Fig. 272.

man nach Maassgabe von Fig. 272 vorgeht. Eine Platte  $R = 32 a$  wird mittelst eines halbkugelförmigen Stempels  $\varrho_1 = 18 a$  durch ein ringförmiges Auflager mit nach  $r = 4 a$  abgerundeter Innenkante und Lochdurchmesser  $\varrho_2 = 22 a$  gedrückt, bis Rissbildung oder volle Anlage am Stempel eintritt. Die Eindringtiefe bis zur Rissbildung, gemessen als Vielfaches von *a*, dient als Gütemaassstab. Benutzt man diese Maasse für Bleche von 0,3 bis 1,3 cm Dicke und variirt die

Abmessungen des Apparates für volle 2 Millimeter der Blechdicken, so kommt man mit fünf Ringen und Stempeln, roh aus Gusseisen hergestellt, aus.

Will man sehr dünne Bleche  $a < 0,2$  cm in ähnlicher Weise prüfen, so empfiehlt es sich vielleicht, Stempel mit halbkugelförmigen Enden von  $\varrho_1 = 18a$  zu benutzen und die Scheiben von  $R = 32a$  anstatt durch den Ring in eine dicke Bleiplatte einzudrücken.

Soll eine geringere oder stärkere Materialbeanspruchung benutzt werden, als sie bei den vorgeschlagenen Abmessungen auf Grund der französischen Angaben vorausgesetzt ist, so sind die Verhältnisse  $a/\varrho$  u. s. w. entsprechend zu vergrößern oder zu verkleinern.

In Schweden hat man ähnliche Versuche nach Fig. 271 unter dem Fallwerk (230) mit Eisenblechen ausgeführt.

**406.** Nach Baclé (*L 102* Bd. II) schreibt die französische Staatsbahn zur Erprobung von Kupferblech mit weniger als 0,6 cm Wanddicke vor, dass aus einer Scheibe Fig. 273 ein cylindrischer Stulp mit ebenem Rande getrieben werden soll. Man sollte aber auch für diese Probe bestimmte Verhältnisse der Abmessungen vorschreiben, da man sonst keinen Maassstab für die wirkliche Materialbeanspruchung gewinnen kann. Hierbei wären nach der Erfahrung die folgenden Maasse als Vielfache von  $a$  zu bestimmen:

$R, R_1, r$  und  $l$ .

Auch bei diesem Versuch sollte man sich aber möglichst von der Hand-

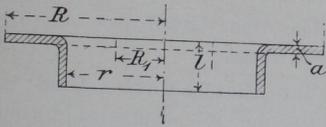


Fig. 273.

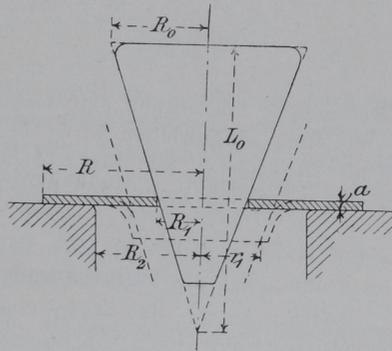


Fig. 274.

arbeit freimachen; das ist vielleicht dadurch möglich, dass man einen konischen Dorn in den auf ein ringförmiges Auflager gelegten Blechring eintreibt, Fig. 274. Auflager und Dorn müssten ebenfalls nach Vielfachen von  $a$  bemessen werden. Das Verhältniss  $r_1/R_1 \cdot 100$  beim Eintritt der ersten Risse könnte man als Vergleichsmaassstab benutzen. Der konische guss-eiserne Stempel ist möglichst glatt zu bearbeiten und vor dem Versuch gehörig mit Graphit abzureiben. Als Abmessungen für Probe und Apparat möchte ich einstweilen empfehlen

$$R_0 = 18a, L_0 = 50a, R_2 = 22a, R = 32a, R_1 = 10a.$$

Für den Apparat sind nur verschiedene Ringe erforderlich, der Stempel kann für alle Probendicken benutzt werden.

Dünne Bleche, bei denen  $a > 0,3$  cm, könnte man wie oben in Abs. 405 angegeben, durch Treiben der Ringe auf dem Bleiklotz probieren, wobei dann nur Stempel mit kegelförmigen Enden nach Fig. 274 erforderlich wären.

**407.** Eine Probe, die bei der Prüfung von Rohren und Rohrverbindungsstücken aus schmiedbaren Metallen angewendet zu werden pflegt, ist das Anhämmern eines Flansches nach Fig. 275. Auch hier sollte man den Vorschriften bestimmte Abmessungen zu Grunde legen, aber das ist

hier nicht so einfach, weil neben der Wandstärke  $a$  auch die Lichtweite  $d$  des Rohres veränderlich ist.

In der Charlottenburger Anstalt wurde mit ganz gutem Erfolg versucht sich von der Handarbeit frei zu machen; man benutzte neben der Flantschprobe das in Fig. 276 dargestellte Treibverfahren, bei welchem ein

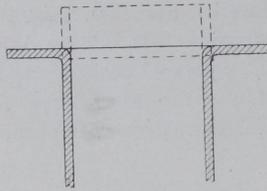


Fig. 275.

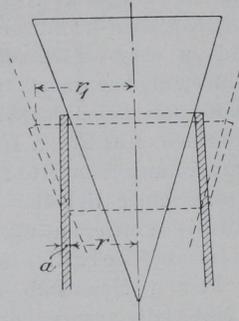


Fig. 276.

glattwandiger mit Graphit eingeriebener Kegel von bestimmten Abmessungen in das Rohr eingetrieben wird; es empfiehlt sich, für den Kegel ein Verhältniss  $R_0 : L_0 = 1 : 2,5$ , Fig. 274, allgemein zu Grunde zu legen. Als Maass für den Vergleich kann auch hier die Auftreibung

$$r_1 / r \cdot 100$$

benutzt werden; dabei ist aber zu bedenken, dass das Verhältniss von  $a/r$  von Einfluss auf die Formänderungsfähigkeit sein muss.

**408.** Ausser der Auftreibeprobe und der Flantschprobe wird in Charlottenburg noch die Stauch- oder Druckprobe mit Rohrabschnitten von der Länge gleich dem äusseren Durchmesser des Rohres zur Charak-

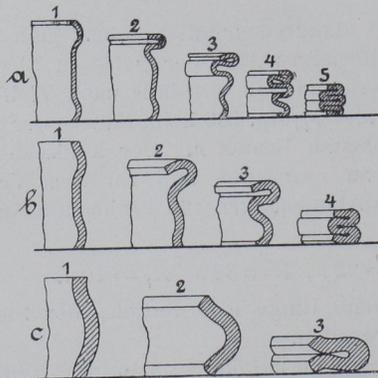


Fig. 277.

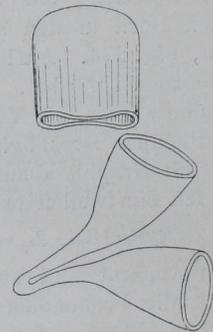


Fig. 278.

terisierung des Rohrmaterials benutzt. Fig. 277 zeigt die schon in Abs. 255 hervorgehobenen charakteristischen Erscheinungen von weichem Material für verschiedene Wandstärkenverhältnisse.

Man pflegt Rohre aus weichem Material auch wohl flach von der Seite her zusammen zu drücken und dann umzufalten, Fig. 278, und dabei zu

sehen, ob sich Rissbildungen zeigen. Bei geschweissten oder gelötheten Rohren soll die Naht in die stärkste Biegung fallen.

409. Zur vergleichenden Untersuchung über die Elasticität und Härte von Stahlkugeln für Kugellager u. s. w. wurde von E. Peitz in Berlin (DRP 89231) ein Apparat, Fig. 279, konstruirt, bei dem die Kugeln in einer Rinne in Abständen einander folgend, unter einem gewissen Winkel auf eine ebene harte Unterlage fallen. Von dieser Unter-

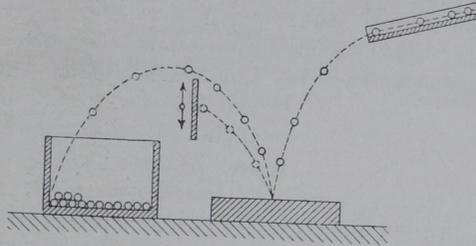


Fig. 279.

lage springen sie je nach ihrer Elasticität und Härte verschieden hoch auf und müssen ein in ihren Weg eingeschobenes auf entsprechende Höhe eingestelltes Hinderniss überspringen, wenn sie als brauchbar für ihren Bestimmungszweck gelten sollen. Die unbrauchbaren, ihrem Zweck nicht entsprechenden Kugeln werden also auf einfache Weise aussortirt.

### e. Wasserdruckproben.

410. Gefässe, Rohre u. s. w. werden als Ganzes oder in besonderen ausgewählten Probestücken auf inneren Druck probirt. Es kommt bei dieser Probe entweder darauf an, zu erweisen, ob der geprüfte Gegenstand einen gewissen vorgeschriebenen inneren Flüssigkeits- oder Gasdruck aushält, ohne undicht zu werden oder seine Gestalt bleibend zu ändern, oder man will durch die Probe die Festigkeit des Materiales in Form des Gefässes feststellen. Im letzteren Falle kommt es natürlich darauf an, zu ermitteln, in welchem Maasse die Festigkeit des Materiales, die es am einfachen Probestab zeigt, in der Konstruktion ausgenutzt werden kann. Es wäre also nöthig, hier die Theorie der Festigkeit der Gefässe zu behandeln, um eine volle Einsicht in die Vorgänge bei der Druckprobe zu gewinnen. Das würde aber in einem Werke, das nur das Materialprüfungswesen behandeln soll, zu weit führen. Indem ich wegen dieser Theorie auf die einschlägigen Werke über Festigkeitslehre, besonders auf das mehrfach angezogene und benutzte Werk von Bach (*L 137*) verweise, will ich mich lediglich auf die Fälle beschränken, die im Materialprüfungswesen eine Rolle spielen; das sind die Prüfungen, bei denen man es mit Gefässen [meistens Rohren] zu thun hat, die als dünnwandig bezeichnet werden können, für die also die Materialanstrengung kurzer Hand nach der Gleichung

$$\sigma = p \frac{d}{2a} \dots \dots \dots 36)$$

berechnet werden kann, wenn  $\sigma$  die im Material durch den Flüssigkeitsdruck  $p$  in einem Rohre vom inneren Durchmesser  $d$  und der Wandstärke  $a$

erzeugte Umfangsspannung ist. Die durch den Druck in der Längsrichtung des Gefäßes wirkende Spannung ist also als meistens klein vernachlässigt. Selbstverständlich hat man von Fall zu Fall zu überlegen, ob diese einfache Rechnung noch zulässig ist oder nicht.

**411.** Die Versuchsausführung geschieht in der Regel mit Wasserdruck, weil hierbei am wenigsten Gefahr vorhanden ist, da im Wesentlichen nur die Elasticität der Gefäßwandungen die treibende Kraft für das Umherschleudern etwaiger Gefäßbruchstücke abgibt. Bei der Prüfung mit gasförmigen Körpern muss man, wegen der dem gepressten Gase innewohnenden Energie, schon ganz ausserordentliche Sicherheitsmaassregeln treffen, wenn man den Versuch bis zum Bruch treiben will, oder wenn der Bruch bei der Probe auch nur möglich erscheint. Hier soll deswegen nur von der Wasserdruckprobe gesprochen werden.

Der Druck wird, so lange es sich nicht um sehr hohe Drucke handelt, meistens durch kleine Handpumpen, sogenannte Probirpumpen, erzeugt und durch Manometer, in der Regel durch Federmanometer gemessen. Stehen Hochdruckleitungen, die durch maschinell betriebene Pumpwerke gespeist werden, zur Verfügung, wie das in der Charlottenburger Anstalt der

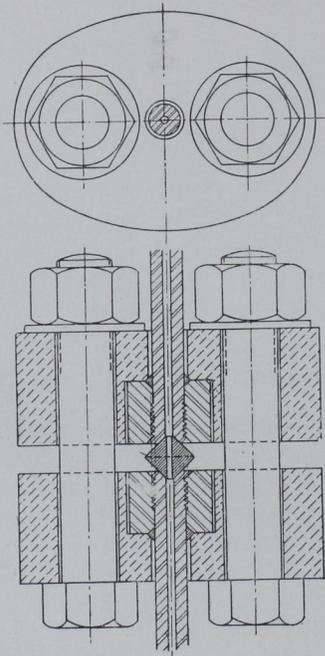


Fig. 280.

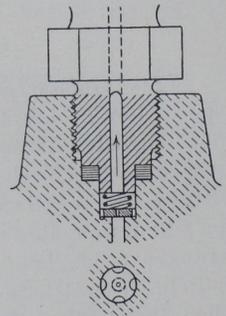


Fig. 281.

Fall ist, so ist die Prüfung eine sehr einfache und bequeme Sache. Hier werden die Probestücke vermittelst eines 15 bis 20 m langen, leicht biegbaren gezogenen Kupferrohres von 0,3 cm innerem und 1,0 cm äusserem Durchmesser, das mehr als 5000 at aushalten kann, an die Hochdruckleitung angeschlossen, die bis zu 420 at Druck liefert. Zwischen Probe und Druckleitung ist ein Ventilgehäuse eingeschaltet, das zugleich die Verbindung mit einem oder mehreren Manometern oder die Abzweigung nach anderen Stellen gestattet. Sollen mehrere Rohrleitungen mit einander verbunden werden, so wird in Charlottenburg mit bestem Erfolg die in Fig. 280 gezeichnete Verbindung mittelst eines doppelseitigen Stahlkegels benutzt, die selbst bei Drucken von über 5000 at tadellos dicht hielt.

**412.** Wenn die Federmanometer behutsam behandelt und vor Stößen, wie sie beim Bruch der Probe eintreten, sorgfältig geschützt werden,

so zeigen sie nur ganz geringe Veränderungen und man kann sie bis zu hohen Drucken benutzen. Die Charlottenburger Anstalt ist im Besitz von Manometern, die bis zu 2000 at reichen. Die Manometer werden häufig unter einander und mit einigen nur zu diesem Zweck benutzten Manometern verglichen, so dass etwaige Veränderungen leicht erkannt werden; ausserdem werden bei wichtigen Untersuchungen mehrere Manometer gleichzeitig benutzt. Um die Manometer an Probirmaschinen und bei den Wasserdruckproben vor den Rückschlägen zu bewahren, sind Rückschlagventile eingelegt, die, wie in Fig. 281 angedeutet, konstruiert sind. Eine fein durchbohrte Scheibe schliesst, durch eine Spiralfeder sanft angepresst, den Zugang zum Manometer. Das Druckwasser hebt das Scheibchen und kann dann fast ungehindert durch die Nuthen am Rande des Scheibchens zum Manometer strömen, während für den Rückgang des Wassers nur die feine Durchbohrung zur Verfügung steht.

**413.** Um Drucke von mehr als 400 at bis zu 900 at zu erzeugen, wird in Charlottenburg die in Fig. 281 gezeichnete Vorrichtung aus Stahlguss benutzt, die wie zum Druckversuch in eine Probirmaschine für

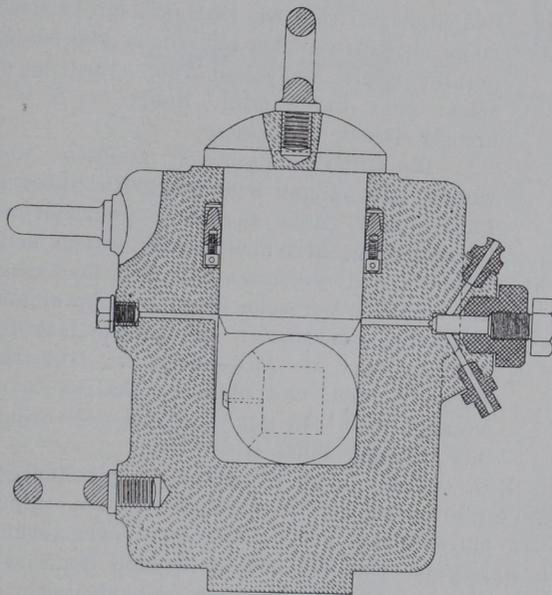


Fig. 282.

100000 kg Kraftleistung eingespannt wird; sie ist mit einem Lederstulp als Dichtung versehen, der sich selbst bei Drucken von 900 at gut bewährt, und hat eine Zuleitung mit Absperrventil, welche dazu dient, den Cylinderraum aus der Wasserleitung immer wieder zu füllen, ohne die Vorrichtung aus der Maschine herausnehmen zu müssen. Der Wasserleitungsdruck presst den Kolben nach Entlastung der Probirmaschine heraus. Der Wasserdruck kann hierbei auch zugleich aus der Kraftanzeige der Probirmaschine und dem Stempeldurchmesser [einschliesslich Manschettenreibung] berechnet werden und man hat daher eine recht gute angenäherte Kontrolle für die Mano-

meter. Die Vorrichtung ist gelegentlich auch in Verbindung mit den Kontrolmanometern zur Prüfung und zum Vergleich an Festigkeitsprobirmaschinen benutzt.

Für die Erzeugung von sehr hohen Drucken bis zu 10000 at wird in Charlottenburg eine, nach Art eines Geschützes, mit aufgezogenem Ring konstruirte Presse benutzt, die in gleicher Weise, wie die in Fig. 282 abgebildete Presse, in eine 100000 kg-Maschine eingebaut wird.

**414.** Mehrfach hat die Charlottenburger Anstalt auch Veranlassung genommen, Wasserdruckproben in der Probirmaschine ohne Anwendung von Presse und Manometer auszuführen, namentlich dann, wenn es sich um angenäherte Bestimmung der Festigkeit sehr hoher Zerstörungsdrucke handelt, z. B. um die Ermittlung der Festigkeit gezogener oder glatter Büchsenläufe. Die Prüfung erfolgte nach Maassgabe von Fig. 283. In das Rohr wurden zwei lose passende Bolzen geschoben, über deren kegelförmig abgesetzte Enden zwei kurze Abschnitte von schwarzem Gummischlauch gezogen waren. Diese Gummistücke dienten als Dichtungsmanschetten. Der eine Bolzen wurde durch eine Ueberfangmutter gehalten, und den anderen trieb die Festigkeitsprobirmaschine mit gemessener Kraft in das mit einem dickflüssigen Mineralöl gefüllte Rohr. Auf diese Weise würde es möglich sein, selbst ganz dickwandige Rohre, z. B. Geschütze, auf inneren Druck zu prüfen.

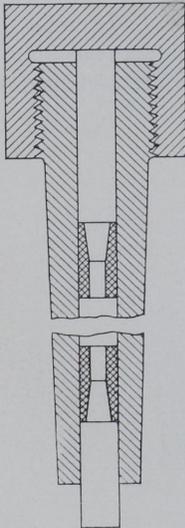


Fig. 283.

Die Gummimanschetten konnten, wenn auch zuweilen mit einiger Schwierigkeit, selbst in gezogenen Läufen zum guten Abdichten gebracht werden. Vielleicht gelingt dies noch besser, wenn man sie mit der weiter unten beschriebenen Gelatinelösung füllt. Man hat ähnliche Versuche sonst auch wohl mit sauber ausgedrehten Manschetten aus Hartgummi oder Metall ausgeführt, aber die Anwendung der Gummirohrabschnitte ist so bequem und einfach, dass sie in der Regel bevorzugt wird. In der Versuchsanstalt ging man hierbei bis auf über 3000 at.

**415.** Um Rohrstücke ohne Flantsch oder ähnliche Gegenstände, bei denen ein Verschluss schwer anzubringen ist, zu prüfen, hat man in Charlottenburg ein ähnliches Verfahren benutzt, wie vorhin beschrieben. Man hat nach Maassgabe von Fig. 284 die beiden Rohrenden mit Lederstulpen gedichtet, die, an den Rändern dünn geschabt, sich selbst an rauhe Wände gut anlegen. Hatten aber die Rohrwände gar zu grosse Unebenheiten, so glich man diese zuvor mit einem Kolophonium-Wachskitt aus, der in keiner Anstalt fehlen sollte. Diesen Kitt kann man durch Zusammenschmelzen beider Gemengetheile leicht von jeder Härte herstellen und zu vielen Zwecken benutzen. Um eine noch sicherere Anlage zu erzielen, kann man die Manschetten mit Leim ausgiessen, der mit etwas chromsaurem Kali versetzt ist, um ihn in Wasser unlöslich zu machen. Diese Leimgallerte wirkt wie ein Gummipolster und presst die Manschettenränder fest an die Rohrwandungen an. Die Manschetten werden mit lose passenden Stempeln hinterlegt, die den Druck der Prüfungsmaschine aufnehmen, wenn, wie bei den Büchsenläufen, Abs. 414, ohne Manometer gearbeitet

werden darf. Soll der Druck mit dem Manometer bestimmt werden, so muss ein Anschlussrohr in das zu prüfende Gefäss geleitet werden. Dies geschieht am zweckmässigsten durch einen der Stempel und durch die Manschette, die zu diesem Zwecke nach Fig. 285 *a* oder *b* hergerichtet ist. Der Stulp wird hiernach entweder in der Mitte mit einer kleinen Kuppe versehen, durch die das zugespitzte Rohrende hindurchgedrückt wird und dessen Ränder dann, als Manschette wirkend, das Rohr abdichten, oder man näht einen besonderen kleinen Stulp, wie bei *b*, auf den Boden der Manschette auf, wobei die Naht mit Pech oder Wachs gedichtet wird. Noch besser ist es, wie oben schon gesagt, die Manschette mit einer Leimschicht auszugliessen, wie in Fig. 285 *b* angedeutet. Bei starken Drucken muss natürlich das Zuführungsrohr

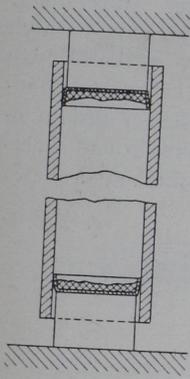


Fig. 284.

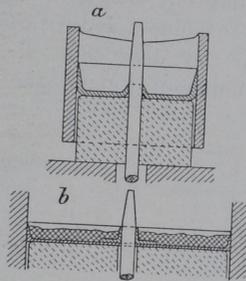


Fig. 285.

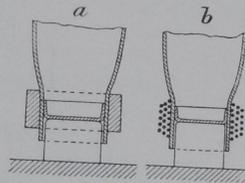


Fig. 286.

gegen das Herausdrücken in Folge der Reaktion gegen den Rohrquerschnitt gesichert werden.

**416.** Die in den Fig. 282 bis 284 gezeichneten Anordnungen genügen selbstverständlich nur in den Fällen, in denen das Rohrmaterial keine grossen Formänderungen erfährt, denn treten diese ein, so wird schliesslich der Lederstulp durch den zwischen den Stempeln und der Rohrwandung entstehenden Hohlraum ausgepresst. In Fällen, bei denen ein wesentliches Ausweichen des Materiales zu erwarten ist, muss dies verhindert werden. Dies geschieht in Charlottenburg entweder durch Ueberziehen eines Ringes über die Rohrenden oder durch Umwickeln der Enden mit gespanntem Draht nach Fig. 286 *a* und *b*. Unter diesen Umständen hat sich die Stulpdichtung bis zu den höchsten Drucken ganz gut bewährt; sie wird von den kleinsten Rohrdurchmessern an benutzt; bei sehr grossen Durchmessern [über 1 m] werden schliesslich U-förmige Manschetten angewendet.

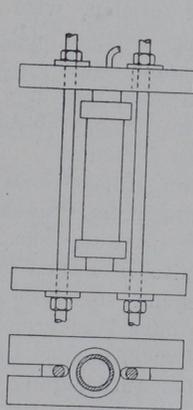


Fig. 287.

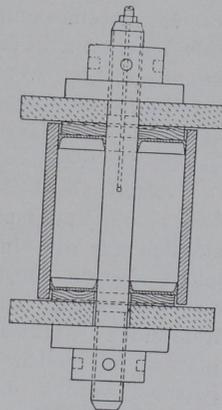


Fig. 288.

**417.** Ist die Zuhilfenahme der Probirmaschine zur Aufnahme des Stempeldruckes aus irgend einem Grunde un bequem, so kann durch seitlich

angebrachte Schrauben oder bei Anwendung einer Umhüllung um den Bolzen, der Stempeldruck unmittelbar von einem durch die Stempel gehende Schraubenbolzen aufgenommen werden. Derartige Anordnungen sind in den Fig. 287 und 288 gezeigt. Bei durchgehenden Bolzen kann man den auf die Endflächen der Dichtungen entfallenden Druck sehr erheblich verringern, in dem man zwischen Rohrwand und Umhüllung nur einen ganz engen Spielraum lässt und diesen mit U-förmigen Lederstulpen abdichtet.

**418.** Um bei sehr dehnbaren Materialien die aufgezogenen Ringe oder die Drahtumwicklung zu umgehen, kann man die Anwendung, Fig. 289 versuchen. Dabei ist die Abdichtung gegen die Zugstange durch einen U-Stulp und die Abdichtung am Rohrende durch eine winkelförmige Manschette aus weichem Gummi mit Leineneinlagen gedacht. Diese Manschette würde man vielleicht aus einem langen Stück mit scharf auslaufenden Enden herstellen können, so dass man sie für verschiedene Rohrdurchmesser passend zusammenlegen kann. Ihr Querschnitt müsste etwa

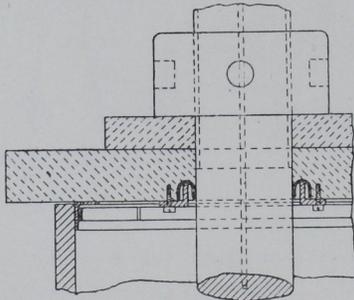


Fig. 289.

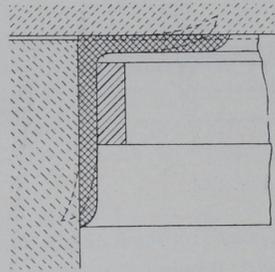


Fig. 290.

nach Fig. 290 geformt sein, so dass die scharfen Ränder nach aussen vorspringen und sich beim Einlegen in den Apparat leicht und sicher an die abzudichtenden Flächen anlegen. Um diese Dichtung an der Rohrwand von vornherein sicher zu erzielen, wird man, wie in Fig. 289 angedeutet, einen federnden Sprengring einlegen, der aus einem Messingstreifen u.s.w. zusammengebogen werden kann. Diese Gummidichtung dürfte der sich dehnen- den Rohrwand folgen. Leider war in der Versuchsanstalt noch keine Gelegenheit, diese Einrichtung auszuprobieren, sie würde immerhin die Versuchsausführung wesentlich vereinfachen.

**419.** Die bisher aufgeführten Einrichtungen dienten vorwiegend dem Zweck, die Längsspannungen im Probekörper zu vermeiden und soviel als möglich nur die Umfangsspannung zur Wirkung kommen zu lassen. Man pflegt aber in der technischen Praxis in sogenannten Rohrprobirmaschinen die Abdichtung vorwiegend sogar derart zu bewirken, dass die ebenen Rohrenden [Flantschen oder Muffenränder] einfach gegen dicke Gummiplatten, mit denen die Druckscheiben der Pressen belegt sind, so stark angedrückt werden, dass bei Aufbringung des Wasserdruckes die Dichtung von Bestand ist. Dieses Verfahren ist bei einfachen und oft auszuführenden Rohrprüfungen unzweifelhaft das einfachste und auch durchaus zulässig, wenn es sich um Metallrohre, z. B. gusseiserne Leitungsrohre, handelt, aber bei Thon- und Cementrohren, von denen besonders erstere gelegentlich auf inneren Druck geprüft werden, ist es wegen der zuweilen unebenen End-

flächen nicht ganz ohne Bedenken, weil durch den Druck des Gummis unkontrollierbare und unter Umständen schädliche Spannungen im Rohr hervorgerufen werden können.

**420.** Sollen neben den Umfangsspannungen auch die Längsspannungen in der Probe zur Wirkung kommen, so wird das Rohr mit den vorhandenen Flanschen oder Verschraubungen geschlossen. Wo dies nicht unmittelbar möglich ist, wie z. B. bei Rohrabschnitten [Metall], wurde in geeigneten Fällen von der Charlottenburger Anstalt das in Fig. 291 mitgetheilte Verfahren benutzt. Der Verschluss wird derart bewirkt, dass die Rohrenden mittelst der Säge mit mehreren Längsschnitten versehen werden. Alsdann werden die Lederstulpen, wie früher [Fig. 286], eingeschoben, und hinter diese kommt dann je ein schwach kegelförmiges Verschlussstück. Von aussen aufgepresste kegelförmige Hohlringe ziehen die Rohrenden zusammen. Diese Verschlussart hat sich selbst für sehr hohe Drucke ganz gut bewährt.

**421.** Die Messung der Formänderungen erstreckt sich in der Regel auf Feststellung der bleibenden Formänderungen nach der Entlastung.

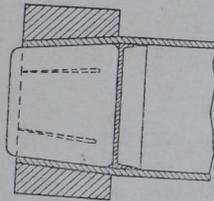


Fig. 291.

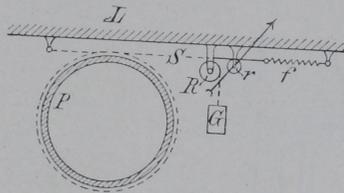


Fig. 292.

Sie wird am zweckmässigsten mit umgeschlungenen schmalen Metallbandmaassen ausgeführt. Für die Versuchsanstalt in Charlottenburg konstruirte ich zur Ausführung feinerer Messungen einen Apparat, dessen Grundsatz in Fig. 292 dargestellt ist. Das um die Probe *P* geschlungene, punktirt angedeutete feine Stahlband *S* ist mit einem Ende an der Latte *L* befestigt und am anderen Ende durch ein Gewicht *G* belastet. Mit dem Stahlband ist eine feine, um die Rolle *r* des Zeigerapparates geschlungene und durch die Feder *f* gespannte Schnur verbunden. Die Umfangsänderungen der Probe können auf diese Weise leicht 10- bis 20-fach vergrössert zur Anzeige gebracht werden. Vor jeder Ablesung muss die Reibung zwischen den berührenden Flächen der Probe und des Messbandes durch Erschütterung des Rohres mit einem leichten Holzhammer aufgehoben werden. Der Apparat hat sich recht gut bewährt.

**422.** Eine ganz bestimmte Aufgabe, die man auch als Materialprüfung auffassen kann und die daher an dieser Stelle besprochen werden soll, bildet die Prüfung von eisernen Behältern zur Aufbewahrung und zum Transport gepresster oder verflüssigter Gase.<sup>1)</sup>

Für diese Gefässe werden amtliche Wasserdruckproben vorgeschrieben, die in einzelnen Ländern von Zeit zu Zeit wiederholt werden müssen. Die Flaschen dürfen bei den vorgeschriebenen Probedrucken noch keine bleibende Formänderung erleiden. Die Feststellung der bleibenden

<sup>1)</sup> Die vollständige Prüfung der Materialien für Gasflaschen ist in meinen Abhandlungen (*L 185*) besprochen, und dort finden sich auch Angaben über die einschlägige Literatur.

Formänderung kann bei diesen Versuchen durch Ausmessen der Flaschenumfänge oder durch Bestimmung des Inhaltes der mit Wasser gefüllten Flasche vor und nach der Prüfung mittelst der Waage geschehen. Der Gewichtsunterschied giebt unmittelbar das Maass für die Erweiterung.

**423.** Sollen die Messungen während des Versuches geschehen, so hat man die Gefahr des Platzens zu beachten und muss die Messungen dementsprechend einrichten. Das kann unter anderem geschehen, wie in Fig. 293 angedeutet; es giebt bereits mehrfach ähnliche Einrichtungen (L 48, 1895 I, S. 553). Die Flasche *F* wird mit einem Deckel *D* verbunden, der in irgend einer Weise, z. B. durch einen Gummiring *R*, gegen die Flasche abgedichtet ist. Flasche und Deckel werden auf ein Wassergefäss *G* gesetzt, so dass auch dessen Inhalt abgeschlossen ist. Wird nun von der Pumpe oder einem Akkumulator aus durch das Rohr *P* Druck in die Flasche gelassen, so wird wegen ihrer elastischen Ausdehnung das Wasser im Rohr *M* steigen und die Raumvergrößerung in einem Maassstabe angeben, der dem Querschnitt des Manometerrohres entspricht. Die Anzeige

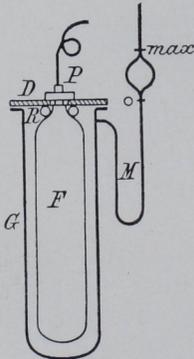


Fig. 293.

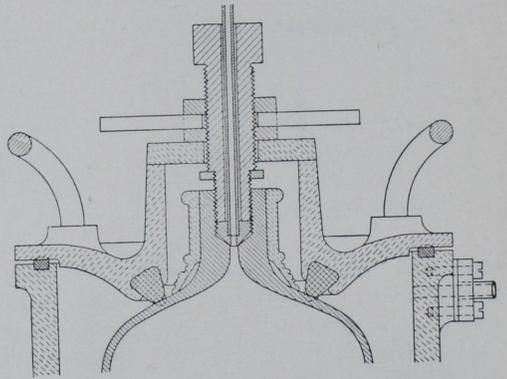


Fig. 294.

in *M* nach der Entlastung entspricht der bleibenden Ausdehnung des Gefässes *F*. Selbstverständlich ist, dass der Wärmezustand des Apparates sich während der Messung nicht ändern darf. Undichtigkeiten von *F* können das Ergebniss trüben, und ebenso hat man zu beachten, dass genaue Messungen nur dann erzielt werden können, wenn man die elastischen Ausdehnungen in Folge der Standänderungen in *M* [Änderung des Druckes im Aussengefäss] berücksichtigt oder sie vermeidet. Letzteres geschieht am leichtesten, indem man die Hauptmasse des verdrängten Wassers in eine Erweiterung von *M* fließen lässt und nur die Differenzen, z. B. für die Belastung Null oder Maximum am engen Theil des Rohres *M* abliest. Diese Rohrtheile kann man dann leicht waagrecht liegend anordnen, so dass wesentliche Druckänderungen im Aussengefäss ausgeschlossen sind.

Da die Flaschenprüfungen in der Regel in grosser Zahl vorgenommen werden müssen, so ist es von Werth, den Apparat so einzurichten, dass die Prüfungen schnell und mit Flaschen jeder Grösse geschehen können. Eine solche Einrichtung habe ich für die Charlottenburger Anstalt konstruirt. Der Deckel dieser Vorrichtung, auf den es hier in erster Linie ankommt, ist in Fig. 294 abgebildet. Er ist so eingerichtet, dass er mit

der Druckrohrverbindung zugleich an dem Gefäss verschraubt werden kann. Die Verschraubung trägt oben an dem stärkeren Gewinde eine lose Scheibe, die mit Hülfe einer mit Stiften versehenen Mutter gegen den Deckelrand gepresst werden kann. Hierdurch wird die Flasche fest gegen den in den Deckel eingelassenen Gummiring gedrückt. Alsdann kann das Ganze mit Hülfe zweier Handhaben in das Aussengefäss eingesetzt werden, dessen Wasserspiegel, hierbei steigend, alle Luft verdrängt, bis schliesslich der Deckel sich auf den in den oberen Rand des Aussengefässes eingelegten Gummiring auflegt und den genügenden Abschluss bewirkt. Der Deckel liegt hierbei nur durch das Eigengewicht auf, so dass er bei einem etwaigen Bruch der Flasche zugleich als Sicherheitsventil wirkt. Der ganze Apparat ist in eine Grube versenkt, so dass Unglücksfälle möglichst ausgeschlossen sind. Die kleine, auf die Verschlusschraube aufgeschraubte Scheibe dient nur zum Festhalten der losen Scheibe.