

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-

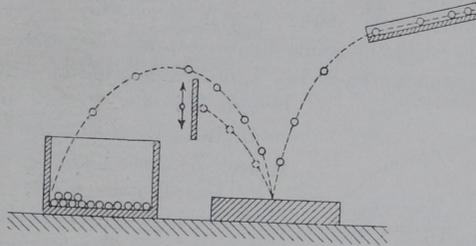


Fig. 279.

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

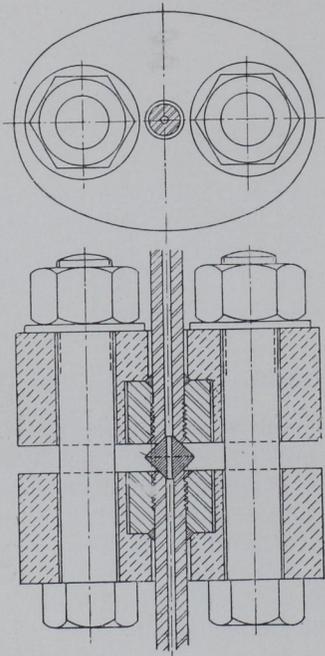


Fig. 280.

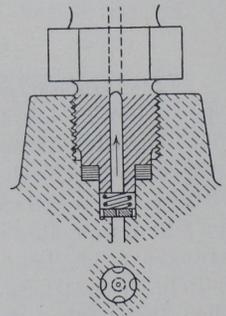


Fig. 281.

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

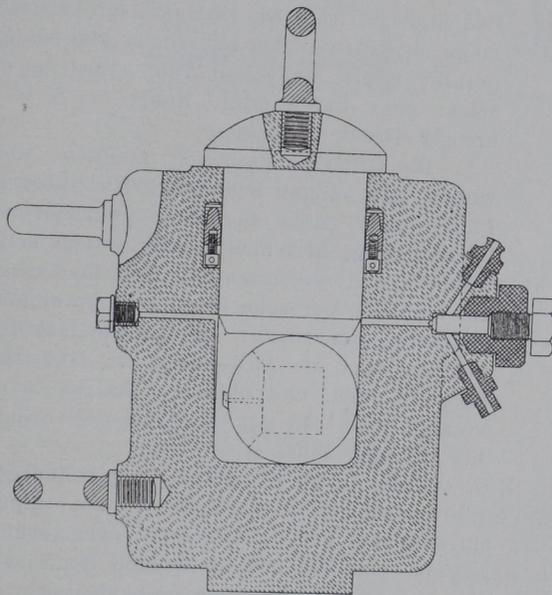


Fig. 282.

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.

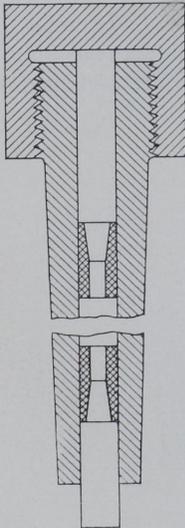


Fig. 283.

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 Gummrohrabschnitte 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

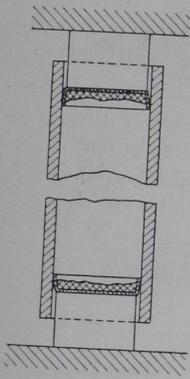


Fig. 284.

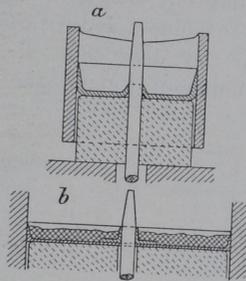


Fig. 285.

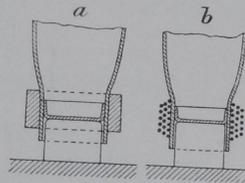


Fig. 286.

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.

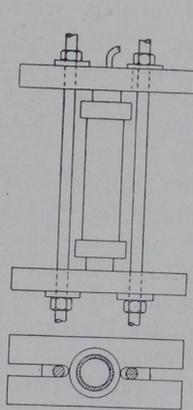


Fig. 287.

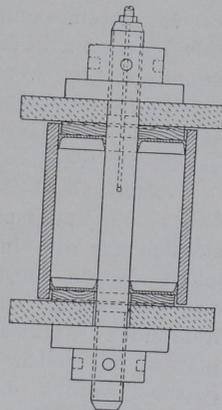


Fig. 288.

**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

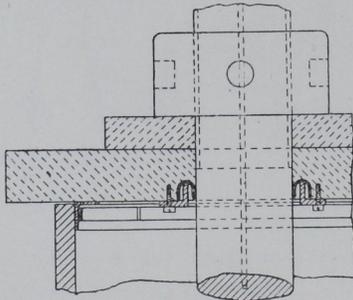


Fig. 289.

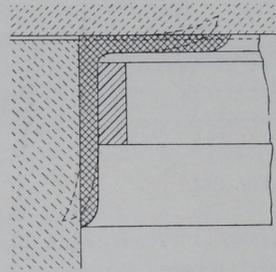


Fig. 290.

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.

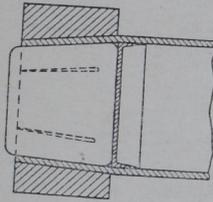


Fig. 291.

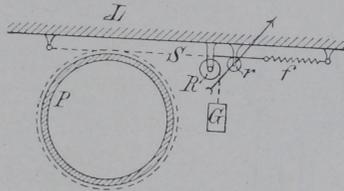


Fig. 292.

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

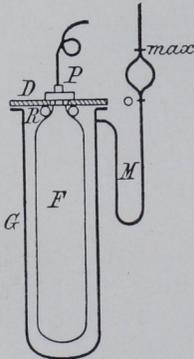


Fig. 293.

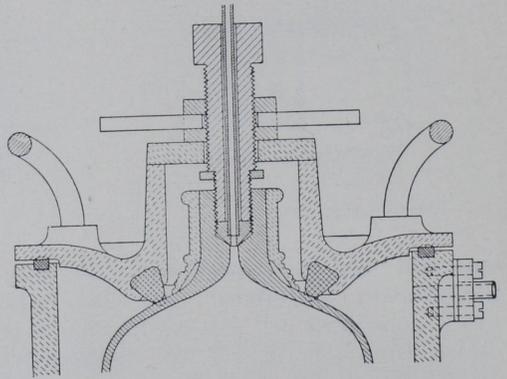


Fig. 294.

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.