

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Hand- und Hülfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen

**Ostwald, Wilhelm
Luther, Robert**

Leipzig, 1902

Siebentes Kapitel: Druckmessungen

Zum vorübergehenden Kitten kann häufig Klebwachs verwendet werden.

Siebentes Kapitel.

Druckmessungen.

Manometer. Drucke in Gasen oder Flüssigkeiten werden gewöhnlich bei geringeren Beträgen durch den hydrostatischen Gegendruck hd einer geeigneten Flüssigkeit gemessen, wodurch das Verfahren auf die Bestimmung einer Länge, der Höhe h , und des spezifischen Gewichts d der Flüssigkeit zurückgeführt ist. Die Bestimmung von d fällt fort, wenn man eine Flüssigkeit von bekannter Dichte, wie Wasser oder Quecksilber, anwendet. Die erforderlichen Apparate, welche allgemein die Gestalt einer Röhre nebst kommunizierendem Gefäss haben (welche eine parallele Röhre sein kann), heissen Manometer.

Um kleine Drucke zu messen, benutzt man Flüssigkeiten von geringem spezifischem Gewicht. Wasser ist zur Manometerflüssigkeit schlecht geeignet, da es eine hohe und gegen Spuren von Verunreinigungen äusserst empfindliche Oberflächenspannung hat; man wird es nur benutzen, wo es auf weniger genaue Messungen ankommt, und andere Gründe dafür sprechen. Viel geeigneter ist Olivenöl¹⁾, welches keinen messbaren Dampfdruck und eine kleine, konstante Oberflächenspannung besitzt; etwas unbequem ist seine starke Wärmeausdehnung²⁾, die man berücksichtigen muss. In Fällen, wo die innere Reibung des Olivenöls zu gross ist, insbesondere bei der Anwendung enger Röhren, dient das viel leichter bewegliche Petroleum.

Die Empfindlichkeit der Manometer in Bezug auf die Längenablesung lässt sich steigern, wenn man die Röhre statt senkrecht in schräger Lage anordnet³⁾. Ist α der Winkel, welchen die Röhre mit dem Horizont bildet, so ist der Druck $p = hd \sin \alpha$. Solche Manometer wird man immer, der guten Ablesung wegen, aus ziemlich engen Röhren von 1 bis 2 mm Weite herstellen; als Flüssigkeit eignet sich in diesem Falle für etwas schnellere Bewegungen

1) $d = 0.92$.

2) 0.0007.

3) Über sehr empfindliche Manometer nach diesem Prinzip vergl. Toepler. Wied. Ann. 56,609 (1895). Siehe auch Van't Hoff. Vorles. 2, 41.

Petroleum. Ändern sich die Drucke sehr langsam, so kann auch Öl dienen.

Die gebräuchlichste und theoretisch einfachste Form des Manometers ist die eines zweischenkligen Rohres mit möglichst nahe neben einander liegenden Schenkeln. Wo es sich nur um relative Bestimmungen handelt, dient oft bequemer das Gefässmanometer mit einem engen und einem weiten Schenkel. Letztere Form kommt namentlich bei den schräg liegenden Manometern in Anwendung.

Quecksilber hat als Manometerflüssigkeit den sehr grossen Vorteil, dass es Gase nicht in messbaren Mengen absorbiert. Da es rund 15mal so schwer ist wie Öl oder Petroleum, so dient es für grössere Drucke, bis zu einigen Atmosphären. Die Oberflächenspannung ist sehr bedeutend, und von Verunreinigungen sehr abhängig, so dass man für genauere Messungen die Manometerröhren nicht wohl enger als 6 oder 7 mm nehmen darf. Die Höhe des Meniskus ist veränderlich, so dass man für genauere Korrektion diese neben dem Durchmesser der Röhre bestimmen muss. Die nachstehende Tabelle für diese Korrektion ist Kohlrauschs Leitfaden entnommen.

Kapillardepression des Quecksilbers.

Interpoliert nach Mendelejeff und Gutkowsky.

Durch- messer	Höhe des Meniscus in mm							
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
4	0,83	1,22	1,54	1,98	2,37			
5	0,47	0,65	0,86	1,19	1,45	1,80		
6	0,27	0,41	0,56	0,78	0,98	1,21	1,43	
7	0,18	0,28	0,40	0,53	0,67	0,82	0,97	1,13
8		0,20	0,29	0,38	0,46	0,56	0,65	0,77
9		0,15	0,21	0,28	0,33	0,40	0,46	0,52
10			0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37
11			0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27
12			0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,19
13			0,04	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14

Ablezen von Quecksilberhöhen. Die gebräuchliche Methode, Höhenunterschiede von Quecksilbersäulen mittelst des Kathetometers abzulesen, ist sehr unzweckmässig, da durch die weite Trennung des Objektes und des Massstabes ein übermässig grosser Einfluss der parallaktischen Fehler entsteht; dieser muss durch eine

besondere Sorgfalt im Bau und in der Behandlung des Instrumentes ausgeglichen werden. Sehr viel zweckmässiger ist die namentlich von Bunsen eingeführte Methode, die Röhren, welche das Quecksilber enthalten, selbst mit einer aufgeätzten Millimeterteilung zu versehen; es genügt dann eine ganz rohe Horizontalstellung des Ablesefernrohres, um den parallaktischen Fehler auf einen unmerklich kleinen Wert zu bringen. Die Teilung wird am besten mit einem Gemenge von Zinnober, Alkohol und etwas Schellackfirnis eingerieben.

Noch bequemer ist in vielen Fällen die nachstehende Methode, welche bei Gelegenheit von Dampfdruckmessungen in mehreren nebeneinander stehenden verbundenen Röhren angewandt worden ist. Man stellt sich eine Millimeterteilung auf einem genügend langen Streifen von starkem Spiegelglas her, und hängt diesen vor der Röhre mit der Quecksilbersäule derart senkrecht auf, dass die Teilung nach der Röhre zu gerichtet ist, und dieselbe beinahe berührt. Handelt es sich um mehrere Röhren nebeneinander, so kann man den Spiegelglasstreifen hinlänglich breit, und die Teilstriche hinlänglich lang nehmen, um alle Ablesungen an demselben machen zu können; besser aber ist es, für jede Röhre einen besonderen Massstab zu benutzen. Um diese erforderlichenfalls aufeinander zu beziehen, stellt man in den Röhren gleichen Druck her (z. B. indem man sie alle oben öffnet) und macht entsprechende Ablesungen.

Wird mit blossem Auge oder einer Handlupe abgelesen, so versieht man das Rohr hinten mit einem Spiegelstreifen und visiert so, dass die Quecksilberkuppe mit dem Bilde des Auges zusammenfällt; auch kann man die Teilung auf den Spiegelstreifen ätzen.

In manchen Fällen ist die Höhe einer Quecksilbersäule über der Oberfläche desselben in einem grösseren Gefäss (einer Quecksilberwanne) zu ermitteln. Meist werden die Wannen für solche Zwecke mit Spiegelscheiben versehen, und man visiert durch diese nach der Teilung auf der Röhre, eine Operation, deren Unbequemlichkeit jeder empfunden hat, welcher sie auszuführen versucht hat.

Gay-Lussac hat die Messung dadurch erleichtert, dass er eine beiderseits zugespitzte Schraube von genau bekannter Länge in ihrer an der Quecksilberwanne befestigten Mutter so lange heben oder senken lässt, bis ihre untere Spitze das Quecksilber der Wanne eben berührt, was an der Vereinigung dieser Spitze mit ihrem Spiegelbilde sehr scharf zu erkennen ist. Man misst dann mit dem Kathetometer (für dessen Anwendung dieses Verfahren erfunden wurde) den Höhenunterschied zwischen der Quecksilbersäule und

der oberen Schraubenspitze, und hat zu diesem nur noch die bekannte Länge der Schraube zu addieren, um die Gesamthöhe der Quecksilbersäule über dem Spiegel in der Wanne zu erhalten.

Dieses Verfahren kann man dadurch bequemer gestalten, dass man die Schraube durch einen Schwimmer ersetzt, wodurch die Einstellung wegfällt. Eine passend (etwa flach hufeisenförmig) gestaltete Platte aus beliebigem Material, welches keinen Einfluss auf das Quecksilber hat und keinen Formänderungen an der Luft unterworfen ist, trägt ein senkrechtes dünnes Glasplättchen, welches in passender Höhe (2—3 cm) mit einem horizontalen Strich versehen ist. Man bestimmt ein für allemal die Höhe des Striches über dem Spiegel des Quecksilbers, auf welchem der Schwimmer sich befindet. Hat die Röhre eine Teilung, so ist später nur der Schwimmer so an die Rohrteilung zu bringen, dass der horizontale Strich desselben mit dieser in unmittelbare Berührung kommt, um eine bequeme und genaue Ablesung ausführen zu können.

Benutzt man die oben beschriebene Methode mit dem geteilten Glasstreifen, so kann man denselben in der Verlängerung seiner Mittellinie unten mit einer abwärts gerichteten Spitze versehen, und ihn so befestigen, dass er eine feine Verschiebung in der Vertikalen gestattet. Im übrigen wird wie bei der Gay-Lussac'schen Schraube verfahren. Die Entfernung zwischen der Spitze und dem Anfangspunkt der Teilung wird auf der Teilmaschine bestimmt.

Es liegt nahe, das vorher angegebene Verfahren mit dem Schwimmer auch auf diesen Fall auszudehnen, d. h. eine gläserne Skala auf einen Schwimmer zu setzen. Doch dürfte diese Anordnung nur bei geringen Höhen, vielleicht bis zu 10 cm, gute Dienste leisten, da längere Skalen sehr breite Schwimmer erfordern würden, um genügend stabil zu sein.

Befindet sich auf der Röhre eine eingezätzte Teilung, so ist bei sehr genauen Ablesungen auch zu beachten, dass in unmittelbarer Nähe der geätzten

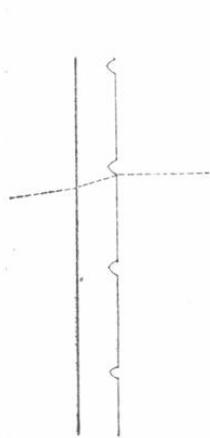


Fig. 70.

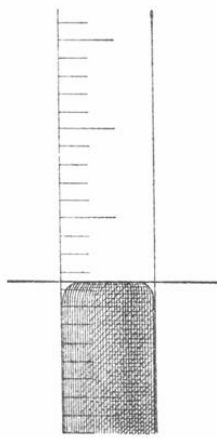


Fig. 71.

Striche, deren vergrößerter Querschnitt beistehend (Fig. 70)

gezeichnet ist, eine Ablenkung des Lichtes durch Brechung stattfindet, welche die Ablesung fälscht. In solchen Fällen stellt man die Röhre so, dass die Teilstriche nur über das halbe Gesichtsfeld reichen, sodass man durch die unverändert gebliebenen Gebiete des Glases die Einstellung des Okularfadens im Fernrohr vornehmen kann (Fig. 71). Der entsprechende Fehler kann einige Zehntel-Millimeter betragen. Der gleiche Umstand ist bei Anwendung einer vorgehängten Glasskala zu beachten.

Vakuum-Manometer. Ein Manometer, welches an die freie Luft mündet, ist den Schwankungen des Luftdruckes ausgesetzt, welche unter Umständen bedenklich ins Gewicht fallen können. Quecksilbermanometer können hiervon unabhängig gemacht werden, wenn man über der drückenden Quecksilbersäule einen luftleeren Raum schafft, nur müssen sie entsprechend länger gemacht werden. Da das Auskochen solcher Röhren mit Quecksilber eine ziemlich schwierige Arbeit ist, so kann man es umgehen, indem man am oberen Ende einen Hahn anbringt, durch den man Luftblasen hinausdrängen kann. Unter dem Hahn schliesst man eine Kammer von 3 bis 5 ccm Inhalt gegen die übrige Röhre durch eine ziemlich enge, am besten ∞ -förmige Kapillare, in die nötigenfalls noch ein Glassplitter gesteckt wird, ab, und sorgt dafür, dass, nachdem bei geöffnetem Hahn die Luft durch nachdrängendes Quecksilber ausgetrieben ist, beim Senken des Quecksilbers dieses in der Kapillare abreisst, sodass in der Kammer noch genügend Quecksilber verbleibt, um einen Verschluss des Manometers gegen den Hahn zu bilden (Fig. 72). Wenn dann wegen Undichtigkeit des letzteren Luft nachdringt, so schützt das Quecksilber in der Kammer das Manometer gegen das Eindringen derselben. Ist schliesslich der Überdruck so gross geworden, dass das Quecksilber durch die Kapillare gedrückt wird, so ist sein Verschwinden aus der Schutzkammer ein Zeichen, dass das Manometer von neuem in der angegebenen Weise luftfrei gemacht werden muss. An Stelle des Hahnes, dessen Fett das Quecksilber leicht verschmiert, kann auch

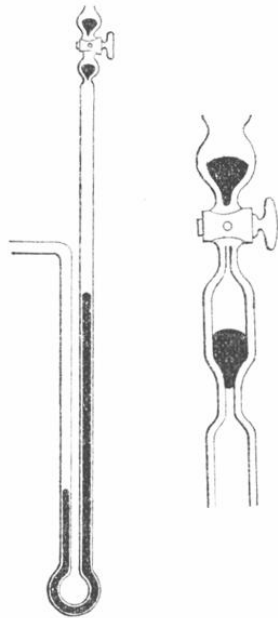


Fig. 72.

ein nach unten gebogenes unter Quecksilber mündendes, barometerlanges Kapillarrohr dienen, ähnlich wie bei der Töpler'schen Luftpumpe (s. w. u.).

Die gleiche Einrichtung kann natürlich auch für Barometer benutzt werden.

Eine sehr bequeme Einrichtung bei Quecksilbermanometern ist die bewegliche Verbindung beider Schenkel durch einen Gummischlauch, welche das Gebiet der Anwendbarkeit sehr erweitert. Es ist für die meisten Fälle zweckmässig, den Schlauch recht eng, nur einige Millimeter weit zu nehmen; er bedarf dann, wenn man ihn etwas starkwandig nimmt, bis fast zu einer Atmosphäre inneren Druckes keiner Umhüllung. Ist eine solche nötig, so dient ein Schlauch aus der Länge nach zusammengeinähtem Leinenband, oder bei weiteren Röhren wohl auch ein schlauchförmiger Lampendocht. Die Röhre muss aus schwarzem oder rotem, schwefelfreien Kautschuk gewählt werden, da sonst das Quecksilber verschmiert wird. Nötigenfalls kann der Schlauch durch Auskochen mit Kali- oder Natronlauge schwefelfrei gemacht werden. Bei der Herstellung des Apparates hat man Sorge zu tragen, dass das Schlauchstück abwärts angebracht wird, nicht horizontal, wodurch schädliche Zerrungen entstehen. Die Befestigung des übergestreiften Schlauches nebst Hülle geschieht am bequemsten mit besponnenem Kupferdraht. Gegen Zusammendrückung von aussen schützt ein in den Schlauch geschobener, schraubenförmig aufgewickelter Draht. Bei engen Schläuchen reicht man einfacher mit zwei nebeneinander eingeschobenen geraden Drähten aus, welche allenfalls umeinander gewunden sein mögen. Wo Quecksilber hinkommt, nimmt man weich geglühten Eisendraht, anderenfalls, etwaigen Rostens wegen, Kupferdraht. Unnötig werden diese Hilfsmittel, wenn man die Schläuche hinlänglich dickwandig wählt.

Barometer. Eine besondere Art von Vakuum-Manometern stellen die Barometer dar, welche zur Messung des allgemeinen Luftdruckes dienen. Auf ihre Herstellung und Ablesung finden die vorstehend auseinandergesetzten Punkte gleichfalls Anwendung. Im Laboratorium werden gewöhnlich Barometer verwendet, welche eine Teilung in Millimeter auf Glas tragen. Sehr häufig ist diese von der Mitte aus nach beiden Seiten hin beziffert, sodass man die untere Ablesung von oben nach unten zählen muss, während die obere von unten nach oben gerechnet wird; der Barometerstand ist dann gleich der Summe beider Ablesungen.

Zur Vermeidung der Parallaxe wird man mit einem kleinen,

verschiebbaren Fernrohr ablesen und dabei die Zehntel-Millimeter schätzen. Die Ablesung muss für die Änderungen im spezifischen Gewicht des Quecksilbers, sowie für die der Skalenlänge durch die Temperatur korrigiert werden. Für die im Zimmer vorkommenden Temperaturen ist der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers gleich 0.0001817 zu setzen; ist β der Ausdehnungskoeffizient des Massstabes, und ist dieser bei 0° richtig, so ist der auf 0° reduzierte Barometerstand B_0 gleich

$$B_0 = B (1 - (0.0001817 - \beta) t)$$

wo B der bei t^0 abgelesene Barometerstand ist. Der Ausdehnungskoeffizient β ist für gewöhnliches Glas gleich 0.000009 bis 0.000010 zu setzen, für Messing gleich 0.00002, für Stahl gleich 0.000012.

Mit einem Fehler von ± 0.1 mm kann die abziehende Korrektur in mm für Zimmertemperaturen der folgenden Tabelle entnommen werden, unter der Voraussetzung, dass die Skala (aus beliebigem Material) bei Zimmertemperatur richtig ist.

Temperatur in Celsiusgraden.

		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Abgelesene Quecksilberhöhe in mm.	100	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
	200	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
	300	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4
	400	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8
	500	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3
	600	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
	700	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.2
	750	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4
	800	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6

In vielen Fällen erscheint der zu messende Druck als der Unterschied des (mit dem Barometer zu bestimmenden) äusseren Luftdruckes und des Druckes einer Quecksilbersäule, welche den Raum, in welchem der Druck zu messen ist, abschliesst. Alsdann gehen in das Resultat die Fehler von vier Ablesungen, je zwei an jeder der beiden Quecksilberhöhen, ein. Man kann diese Zahl auf die Hälfte einschränken, wenn man das Barometer in dasselbe Quecksilbergefäss bringt, in welchem die andere Quecksilbersäule steht. Alsdann erhält man wieder ein Vakuum-Manometer (S. 119), über welches das Erforderliche bereits gesagt ist.

Höhere Drucke. Quecksilbermanometer lassen sich ohne besondere Umständlichkeit nur bis zu einigen Atmosphären benutzen, da weiterhin die zu messenden Quecksilbersäulen eine unbequeme Höhe annehmen. Um stärkere Drucke zu messen, bedient man sich entweder der Volumänderung der Gase, oder der Formänderung elastischer Hohlkörper.

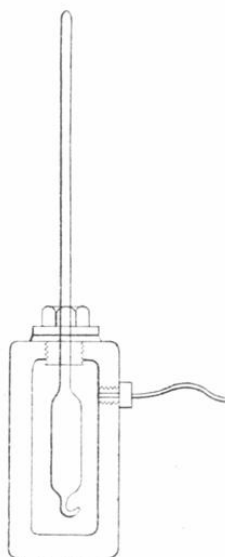


Fig. 73.

Luftmanometer für höhere Drucke haben im allgemeinen die in Fig. 73 angegebene Form. Das Manometer besteht aus einer geteilten, starkwandigen Glasröhre, an welche ein weiteres Gefäß angeschlossen ist, das unten in ein gekrümmtes Ansatzstück ausläuft. Der untere Teil dieses Glasapparates wird mittelst einer übergekitteten Schraube in einen eisernen, mit Quecksilber gefüllten Cylinder gesetzt, von dem eine stählerne Kapillare zu den Apparaten weiter führt, deren Druck gemessen werden soll.

Um das Manometer in Stand zu setzen, kalibriert man zunächst die Röhre, bestimmt dann durch Auswägen mit Quecksilber das Volum des weiten Gefäßes im Verhältnis zu dem eines Skalenteiles und füllt das Manometer mit trockenem Wasserstoff. Bei allen diesen Arbeiten ist das oben zu einer Spitze ausgezogene Manometer offen. Es wird dann zugeschmolzen und gleichzeitig mit seinem unteren Teil in das Quecksilber des eisernen Gefäßes gesetzt, wobei man den Barometer- und Thermometerstand notiert. Nach dem sorgfältigen Verschrauben ist das Manometer gebrauchsfertig.

Je nach dem Druckgebiet, in welchem Messungen gemacht werden sollen, hat man das Verhältnis zwischen dem Volum der Röhre und dem des Gefäßes zu wählen. Auch ist es zweckmässig, die Röhre an ihrem oberen Ende etwas zu erweitern, sodass bei den höchsten zu messenden Drucken das Quecksilber eben in die Nähe der Erweiterung gelangt; man kann dadurch das Manometer viel kürzer gestalten.

Als Füllung des Manometers dient trockener Wasserstoff, dessen Volumverhältnisse von Regnault, Amagat u. a. genau untersucht worden sind. Man berechnet aus der Ablesung des Quecksilbers im Manometer das Volum v , auf welches das Gesamtvolum V des Wasserstoffs zusammengepresst ist; das Verhältnis beider gäbe

den Druck in Einheiten des beim Zuschmelzen des Manometers herrschenden Druckes B , falls das Boylesche Gesetz gültig wäre.

Wir hätten demnach $p = \frac{VB}{v}$ wo p in gleichem Masse (z. B. cm Quecksilber) erscheint, wie B gemessen ist.

Wegen der Abweichung der Gase vom Boyle'schen Gesetz ist noch eine Korrektur anzubringen, welche beim Wasserstoff eine besonders einfache Gestalt annimmt. Für dieses Gas gilt nämlich in grosser Annäherung die Gleichung $p(v-b) = BV$, wo b eine von der Temperatur wesentlich unabhängige Konstante ist. Reduziert man das Anfangsvolum V auf den Druck von 76 cm Quecksilber und nennt dieses Volum V_0 , so gilt, wenn der Druck in Atmosphären (gleich 76 cm Quecksilber) gemessen wird, für die Berechnung des Druckes p aus dem gemessenen Volum v die Formel

$$p = \frac{1}{\frac{v}{V_0} - 0.00069} \text{ Atmosphären.}$$

Vorausgesetzt ist, dass die Messung bei derselben Temperatur geschieht, wie die Bestimmungen von V_0 .

Was den Einfluss der Temperatur anlangt, so ist er ziemlich verwickelt und es ist daher am besten, immer bei derselben Temperatur (z. B. 20°) zu arbeiten, bei welcher das Manometer hergestellt worden ist. Es ist dies um so leichter zu erreichen, als man jedenfalls für einigermassen genaue Messungen das Manometer mit einem Wassermantel umgeben wird, um seine Temperatur konstant zu halten und sicher bestimmen zu können. Ein solcher Mantel, am bequemsten in der Form eines Liebig'schen Kühlers, durch welchen man Wasser von der gewünschten Temperatur fließen lässt, ist auch bei der Herstellung anzuwenden.

Bei der Berechnung des durch die Kapillarröhre übertragenen Druckes hat man darauf Rücksicht zu nehmen, dass in dem Manometer das Quecksilber höher steht, als im eisernen Cylinder und dessen hydrostatischen Druck hinzuzufügen.

Federmanometer. Viel bequemer im Gebrauch, aber auch weniger genau als die Gasmanometer sind die auf elastischer Formänderung beruhenden Federmanometer. Es sind dies ring- oder halbkreisförmig gestaltete Hohlkörper aus elastischem Metall; a aus Neusilber für geringere, b aus Stahl für starke Drucke (Fig. 74 a. f. S.). Wird auf das Innere solcher Körper (das am besten mit Paraffinöl gefüllt ist, damit der Eintritt ätzender Gase vermieden wird) ein Druck

ausgeübt, so strecken sie sich und das freie Ende macht eine Bewegung, welche dem Druck annähernd proportional ist¹⁾. Gewöhnlich wird diese

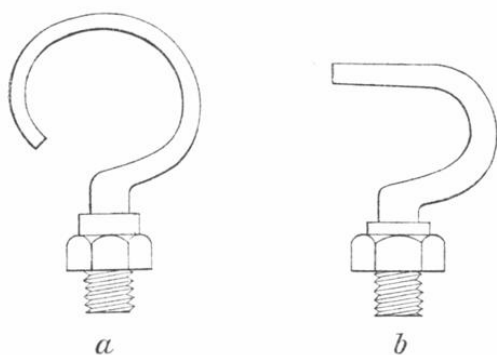


Fig. 74.

Bewegung durch Zahn und Trieb auf einen Zeiger übertragen, dessen toter Gang durch eine kleine Gegenfeder aufgehoben wird. Diese zwar bequeme aber ziemlich grobe Ablesung kann im Laboratorium durch einen längeren Zeiger ersetzt werden, dessen Stellung zu einer festen Skala mit beliebiger Genauigkeit mittelst Lupe

oder Mikroskop bestimmt werden kann. Oder man befestigt am Zeiger eine kleine Skala und liest deren Lage zum Kreuzfaden im Okular des Mikroskops ab; wird an Stelle des Kreuzfadens ein Mikrometer im Okular verwendet, so kann die Genauigkeit noch weiter gesteigert werden.

Weniger bequem wegen der Notwendigkeit eines sehr festen Aufbaues, aber wohl noch empfindlicher ist die Ablesung mit Fernrohr und Skala, indem man am freien Ende des Manometers einen Spiegel befestigt und dessen Lagenänderungen in der Weise abliest, dass man das Spiegelbild einer entfernt aufgestellten Skala mit dem Fernrohr beobachtet. Zur Kontrolle der gegenseitigen Lage von Spiegel und Skala befestigt man am Körper des Instruments einen festen Spiegel neben dem beweglichen.

Im allgemeinen ist es nicht zweckmässig, die Genauigkeit in der Ablesung der Federmanometer zu weit zu treiben. Infolge der elastischen Nachwirkung kommt die Feder, nachdem sie einen Druck erfahren hat, nach der Aufhebung des Druckes nur sehr langsam auf ihren Anfangspunkt zurück. Hierdurch wird in die Ablesungen eine Unsicherheit gebracht, welche eine weitergehende Genauigkeit illusorisch macht. Für jedes Federmanometer muss die Beziehung zwischen Ablesung und Druck experimentell ermittelt werden. Man benutzt dazu hydrostatische oder Gasmanometer und bestimmt eine

¹⁾ Über die Messung kleiner Drucke nach diesem Prinzip unter Verwendung von elastischen Metallblechen vergl. Dieterici Wied. Ann. **68**, 858 (1899), wo sich auch Hinweise auf ältere Arbeiten von Kohlrausch, Kirchhoff, Röntgen und Wien finden.

hinreichend grosse Anzahl Punkte, um die zwischen ihnen liegenden Werte graphisch oder rechnerisch interpolieren zu können. Bei dieser Gelegenheit erfährt man auch, indem man die Bestimmungen einmal bei steigenden, das andere Mal bei abnehmenden Drucken ausführt, den Betrag der elastischen Nachwirkung.

Kolbenmanometer. Nach dem Prinzip der hydraulischen Presse kann man für hohe Drücke sehr brauchbare Manometer herstellen, welche den Druck in Ge-

wichtseinheiten zu bestimmen gestatten. Ein solches Manometer besteht aus einem sorgfältig abgedrehten Cylinder, welcher gut passend in die Bohrung eines Hohlkörpers eingeschliffen ist, der auf einem Dreifuss mit Stellschrauben angebracht ist. Der Cylinder trägt an seinem oberen Ende eine kreisförmige Platte, auf welche die Gewichte gelegt werden. Man füllt den Hohlkörper mit schwer flüssigem Öl (flüssigem Paraffin

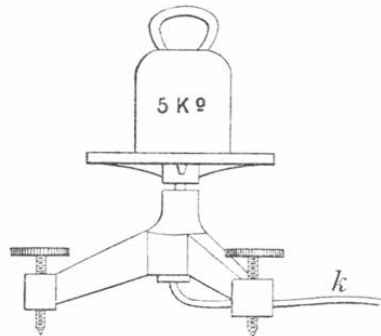


Fig. 75.

oder schwerem Maschinen-Schmieröl), setzt den Cylinder mit seiner Platte ein und belastet letztere bis zu dem beabsichtigten Betrage. Die Belastung muss sorgfältig centriert werden, sodass ihr Schwerpunkt in die senkrecht stehende Achse des Cylinders fällt. Um dies zu erleichtern, ist zweckmässig die Platte mit eingedrehten Kreisen zu versehen. Die richtige Lage der Belastung erkennt man daran, dass der Cylinder um seine Achse frei drehbar wird und in keiner Weise klemmt. Dann führt man den Druck mittelst der kupfernen oder stählernen Kapillare k zu, wobei man den Stempel von Zeit zu Zeit ein wenig um seine Achse hin und her dreht, um etwaige Reibungswiderstände zu überwinden. In dem Augenblick, wo der dem Gewicht entsprechende Druck erreicht ist, wird der Cylinder gehoben und führt gewöhnlich eine kleine Drehbewegung aus.

Der Druck p wird in Atmosphären nach der Formel

$$p = \frac{g}{1033 q}$$

berechnet, wo g das Gewicht (Cylinder, Platte und Auflagegewicht) in Grammen, q der Querschnitt πr^2 (r = der Halbmesser des Cylinders) in Centimeter ist und 1033 das Gewicht in g darstellt, welches auf 1 cm² wirkend den Druck einer Atmosphäre ergibt.

Auf die Änderung dieser Grösse mit der Schwerekonstante wird in den seltensten Fällen Rücksicht zu nehmen sein.

Man wird das Kolbenmanometer in erster Linie zum Aichen von Federmanometern benutzen. Bei sehr hohen Drucken (bis 3000 Atm.) ist das Kolbenmanometer nur schwierig dicht und gleichzeitig leicht beweglich zu erhalten. Man wendet dann Aichmethoden an, die auf der bekannten Kompressibilität von Flüssigkeiten z. B. Wasser beruhen. Vergl. darüber z. B. A magat, Journ. phys. chim. (6) 29, 77 u. 505 (1893) u. Tammann, Wied. Ann. 68,553 (1899).

Achstes Kapitel.

Volum und Dichte.

Allgemeines. Bestimmungen des Volums werden zu mancherlei Zwecken ausgeführt. In manchen Fällen, wie bei der Herstellung und Benutzung von Titrierflüssigkeiten kommt es unmittelbar auf diese Grösse an; in anderen dient die Kenntnis des Volums zur Ableitung anderer Grössen, unter denen das spezifische Volum oder die Räumigkeit, d. h. das Volum in ccm eines g und die spezifische Masse oder die Dichte, d. h. die Masse in g eines ccm oben an stehen. Denn da von allen Eigenschaften der Materie die Masse (relativ) am unveränderlichsten ist, lässt sich der Betrag anderer Eigenschaften (soweit diese der Stoffmenge proportional sind) am vorteilhaftesten in Bezug auf die Einheit der Masse oder, was hier praktisch dasselbe ist, die Einheit des Gewichtes definieren, da für einen gegebenen Ort Masse und Gewicht streng proportional sind. Aus diesem Grunde wird die spezifische Masse auch spezifisches Gewicht genannt.

Als theoretische Volumeinheit gilt das Kubikcentimeter, ccm, der Raum eines Würfels, dessen Seite 1 cm lang ist. Es war bei dem Entwurf des metrischen Systems beabsichtigt, die Masseneinheit als die Masse von einem Kubikcentimeter Wasser bei 4° C. zu definieren und das Urkilogramm in Paris ist seinerzeit dieser Absicht gemäss hergestellt worden. Nachdem sich aber erwiesen hatte, dass der Vergleich zweier Kilogramm Massen oder zweier Volumina sich sehr viel genauer bewerkstelligen lässt, als die Ermittlung der definitionsgemässen Masse von einem Kubikdecimeter Wasser im Zustande der grössten Dichte, hat man sich entschlossen, das vorhandene