

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Theoretische Maschinenlehre

in 4 Bänden

Theorie der Getriebe und der mechanischen Messinstrumente

Grashof, Franz

Leipzig, 1883

V. Instrumente zur Messung von Kräften

[urn:nbn:de:bsz:31-282938](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282938)

derselben die Wägung unabhängig zu machen. Insbesondere eignet sich auch hier der Brückenwaagentypus Fig. 198, der z. B. bei einer zusammengesetzten Federwaage von Gebr. Dopp in Berlin zur Wägung von Passagiergepäck, nur mit der Modification benutzt ist, dass die beiden die Brücke tragenden Dreieckshebel und der Querhebel OA zweiarmig statt einarmig gemacht sind, wobei nach wie vor ein Niedergang der Brücke auch ein Niedergang der Stange AB_0 entspricht. Letztere ist, durch eine hohle Säule geschützt, mit der eigentlichen Federwaage verbunden, hier insbesondere mit dem Verbindungsanker der unteren Enden von zwei gleichen neben einander hängenden Schraubenfedern.

Zu leichter Justirung einer Schraubenfeder ist eine patentirte einfache Vorrichtung von Reimann bemerkenswerth, bei welcher ihr Angriff durch eine entsprechend geformte Platte vermittelt wird, die als eine von innen in die Windungen der Schraubenfeder eingreifende Mutter längs derselben hin und her geschraubt werden kann, um so die wirksame Länge der Feder, nämlich die wirksame Zahl ihrer Windungen zu corrigiren; ihre Erhaltung ist dadurch zu sichern, dass die von jener Mutterplatte ausgehende axiale Angriffstange durch Prismenführung an der Drehung verhindert wird.

V. Instrumente zur Messung von Kräften.

Dieselben pflegen im engeren Sinne Dynamometer genannt zu werden, wenn sie zur Messung beliebiger Kräfte dienen, welche als Zugkräfte durch entsprechende Organe (Ketten, Seile etc.) oder als Druckkräfte durch feste Körper ausgeübt bzw. übertragen werden. Zur Messung des specifischen Druckes von Flüssigkeiten im weiteren Sinne des Wortes dienen sogenannte Manometer, welche als Flüssigkeits-, Ventil- oder Federmanometer unterschieden werden können, jenachdem die Messung vermittelt wird durch das Gleichgewicht des zu messenden Druckes mit dem durch ihre Schwere bedingten hydrostatischen Drucke einer gewissen tropfbaren Flüssigkeit (insbesondere Quecksilber oder Wasser), oder mit der Belastung eines Ventils, welches einseitig dem zu messenden Flüssigkeitsdrucke ausgesetzt ist, oder mit der Elasticität eines federnden Körpers, der durch den zu messenden Druck belastet und entsprechend deformirt wird.

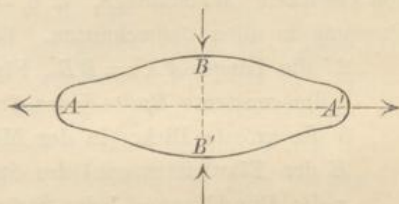
§. 182. Dynamometer.

Zuweilen lässt sich zur Messung einer Kraft irgend eine Waage, selbst eine Hebelwaage benutzen, indem man an ihr die fragliche Kraft ebenso wie die Schwerkraft einer zu wägenden Last mit einem Gegengewichte in Gleichgewicht bringt. Gewöhnlich aber und zwar jedenfalls dann, wenn das Instrument während der Messung in Bewegung begriffen sein muss, bedient man sich analog den Federwaagen eines elastischen Körpers, um aus dessen Deformation unter der Einwirkung fraglicher Kraft auf die Grösse derselben zu schliessen. Dabei wird, ebenso wie es bezüglich der Federwaage in den vorhergehenden Paragraphen bemerkt wurde, die Deformation entweder unmittelbar in wahrer Grösse oder vermittels eines geeigneten Mechanismus vergrössert durch einen Zeiger auf einer meistens empirisch getheilten Skala angezeigt. Mit diesem zwangläufigen Zeiger ist hier häufig ein loser, nur mit einiger Reibung beweglicher sogenannter Maximumzeiger verbunden, welcher durch jenen geschoben und an der dem Maximum der Kraft entsprechenden Stelle liegen gelassen wird, sofern dieselbe variabel ist und ausser ihrer augenblicklichen Grösse auch diejenige sichtbar gemacht werden soll, welche sie in einer gewissen Zeit höchstens erreicht hatte.

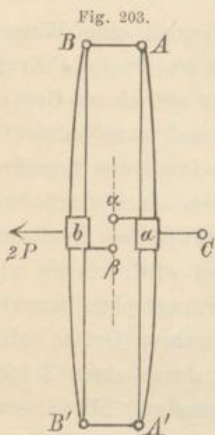
Der elastische Körper von Stahl erhält gewöhnlich die Form eines geschlossenen länglichen Ringes nach Art von Fig. 202, auf welchen man grössere zu messende Kräfte, z. B. Zugkräfte zur Fortbewegung landwirthschaftlicher Maschinen und Geräte auf dem Felde, im Sinne der grossen

Axe AA' ziehend oder kleinere Kräfte im Sinne der kleinen Axe BB' drückend wirken lässt. Im einen wie im anderen Falle wird die Verkürzung von BB' , die bei gleicher Kraftgrösse im ersten Falle kleiner, als im zweiten, jedenfalls aber grösser, als die gleichzeitige Verlängerung von AA' ist, als Maass der Kraft benutzt, indem sie durch einen Hebel- oder Zahnradmechanismus vergrössert von einem Zeiger auf einer empirisch getheilten Kreisskala angezeigt wird. Ist dasselbe Instrument für die eine und andere Krafrichtung zugleich bestimmt, erhält es natürlich zwei verschiedene Skalen.

Fig. 202.



Die empirische Theilung der letzteren schliesst jede Theorie aus. Indessen sind ebenso, wie bei Federwaagen (§. 180), so auch bei Federdynamometern im Allgemeinen solche Formen und Belastungsweisen der Stahlfedern vorzuziehen, welche gleichförmigen und im Voraus berechenbaren Theilungen der Skalen entsprechen. Diese Forderung erfüllt das Zugdynamometer von Morin, Fig. 203, welches ausserdem eine unmittelbare Ablesung der verhältnissmässig grossen Deformation ohne vergrössernden Zwischenmechanismus gestattet. Es besteht aus zwei gleichen, unbelastet geraden Stahlstäben AA' , BB' , an den Enden gelenkartig durch gleiche kürzere Stangen AB , $A'B'$ verbunden und in den Mitten mit Fassungen a , b versehen, vermittlest welcher der eine Stab AA' an einen festen Bolzen C ange-



geschlossen, der andere BB' von der zu messenden Zugkraft $= 2P$ angegriffen werden kann. Diese Stahlstäbe haben rechteckige Querschnitte von constanter Breite, wogegen die Dicke (die mit der Zugkraft $2P$ parallele Rechteckseite) von der Mitte nach den Enden jedes Stabes so abnimmt, dass sein Längenprofil einerseits geradlinig, andererseits parabolisch begrenzt ist, angenähert entsprechend der Form eines Körpers von gleichem Widerstande, d. h. von gleicher Maximalspannung und Pressung in allen Querschnitten. Bezeichnet

$2l$ die Länge $AA' = BB'$, Fig. 203,

b die constante Breite jedes Stahlstabes,

h die grösste Dicke (in der Mitte),

E den Elasticitätsmodul des Stahls,

x die Durchbiegung jedes Stabes, also $2x$ die Summe ihrer Durchbiegungen unter dem Einflusse der Zugkraft $2P$, so ist:*

$$x = \frac{8Pl^3}{Ebh^3} \dots \dots \dots (1).$$

Z. B. bei einem Exemplar der polytechnischen Schule in Hannover** ist:

$$l = 375 \text{ mm}, \quad b = 40 \text{ mm}, \quad h = 16 \text{ mm}$$

und entspricht je einer Zugkraft $2P = 9^k$ eine Durchbiegung $2x = 1 \text{ mm}$.

* Siehe des Verfassers „Theorie der Elasticität und Festigkeit“, S. 117, Gleichung 186.

** Rühlmann's „Allgemeine Maschinenlehre“, Bd. I, §. 44.

Damit ergibt sich aus (1):

$$E = 23170^k \text{ pro Quadratmillim.}$$

Als grösste zulässige Zugkraft wird in diesem Falle angegeben:

$$2P = 400^k, \text{ entsprechend } 2x = \frac{400}{9} = 44,4^{\text{mm}}$$

und einer grössten specifischen Spannung oder Pressung:

$$k = \frac{6Pl}{bh^2} \dots \dots \dots (2)$$

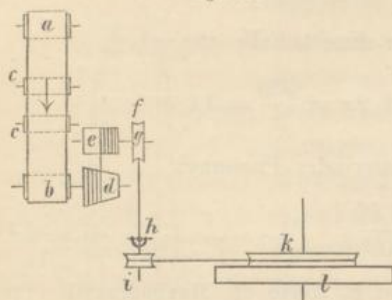
= 44^k pro Quadratmillim. Sind k und E , sowie die Maximalwerthe von P und x gegeben, so sind (1) und (2) Bedingungsgleichungen, welchen die Dimensionen l, b, h der Stahlstäbe zu entsprechen haben. Bei constanter Dicke = h wäre unter sonst gleichen Umständen ihre Durchbiegung nur halb so gross.

In den meisten Fällen der Anwendung solcher Dynamometer ist die zu messende Kraft $2P$ mehr oder weniger veränderlich, und kommt es dann nicht sowohl darauf an, ihren Werth in einem gewissen Augenblicke oder ihr Maximum während einer gewissen Zeit zu finden, sondern ihren Mittelwerth für eine Zeit, während welcher der Angriffspunkt der Kraft und somit das Instrument einen gewissen Weg durchläuft. Dazu dient die Verbindung des Instrumentes mit einem Registrirapparate. Bei dem Morin'schen Dynamometer z. B. sind die Fassungen a, b der Federn (Fig. 203) mit Bleistifthaltern verbunden, die an den Enden vermittels entsprechender Hülsen passend beschwerte Bleistifte α, β tragen, unter welchen in der Richtung $\alpha\beta$ oder $\beta\alpha$ parallel den Federn ein Papierstreifen fortgezogen wird. Dabei zeichnet α eine gerade Linie, β eine Curve, deren mittlere Ordinate in Bezug auf jene Gerade als Abscissenaxe dem Mittelwerthe von $2P$ nach einem bekannten Verhältnisse proportional ist. Dieser Mittelwerth ist auf die Zeit bezogen, wenn man den Papierstreifen mit constanter Geschwindigkeit sich bewegen lässt; er ist dagegen auf den Weg der Zugkraft $2P$ bezogen, wenn man diesem für jedes Zeitelement den Weg des Papierstreifens proportional macht. Im letzteren Falle ist die Fläche zwischen den Spuren der Punkte α, β und zwei Ordinaten unmittelbar ein Maass für die Arbeit der Kraft $2P$, leistet also der Kraftmesser zugleich die Funktion eines Arbeitsmessers.

Dieser letztere Fall ist besonders wichtig für die Bestimmung des Arbeitsaufwandes zur Fortbewegung landwirthschaftlicher Maschinen über

das dadurch zu bearbeitende Feld. Dabei wird das Dynamometer nebst

Fig. 204.



Registrierapparat von einem Wagen getragen, der in die Zugkette der fraglichen Maschine eingeschaltet ist, und es empfängt der Papierstreifen seine Bewegung von einem der Räder dieses Wagens, etwa gemäss der durch Fig. 204 im Grundrisse angedeuteten Anordnung des erwähnten Instrumentes der polytechnischen Schule in Hannover. Hier ist

a die (mit regulirbarer Reibung um ihre Axe drehbare) Walze, von welcher der Papierstreifen sich abwickelt,

b die Walze, auf welche er aufgewickelt wird;

c, c sind Rollen, welche den Papierstreifen dicht ausserhalb der Bleistifte α, β (Fig. 203) unterstützen,

d ist eine auf der Welle von *b* feste, etwas conische Walze, in Umdrehung gesetzt durch eine Schnur infolge ihrer Abwicklung von *d* bei Aufwicklung auf die cylindrische Walze *e*. Die Conicität von *d* ist so bemessen, dass der Durchmesser der gerade in Abwicklung begriffenen Schnurwindung = dem Durchmesser der mit Papier umwickelten Walze *b*, dass also die Differenz der Radien von je zwei benachbarten Schnurwindungen = der Papierdicke ist.

f ist ein Schraubenrad auf der Welle von *e*,

g die zugehörige, in der Figur nicht sichtbare, weil unterhalb *f* eingreifende Schraube,

h ein in die Schraubenwelle eingeschaltetes Universalgelenk,

i eine kleine Kettenrolle auf der Fortsetzung dieser Welle,

k eine grössere Kettenrolle auf der Axe des Triebrades *l*.

Die drei übrigen Räder des das Instrument tragenden Wagens sind Laufäder. Die correcte Wirksamkeit dieses Registrierwerkes setzt eine rein rollende Bewegung des Triebrades *l* auf dem Boden voraus; dem Uebelstande, dass es in der That freilich auf feuchten Feldern oder bei sehr unregelmässiger Oberfläche derselben zeitweilig gleiten oder gar ausser Berührung mit dem Boden kommen kann, wird durch eine rauhe Umfläche des Radkranzes und durch eine elastische regulirbare Verbindung der Radwelle mit dem passend beschwerten Wagen zu begegnen gesucht.

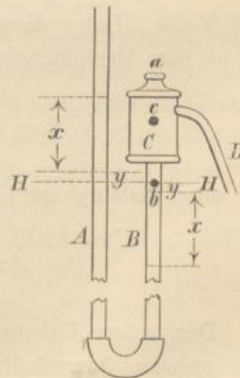
§. 183. Flüssigkeitsmanometer.

Sofern es sich nicht um die Messung sehr kleiner specifischer Pressungen handelt, pflegt Quecksilber als manometrische Flüssigkeit benutzt zu werden; ausser durch seine specifische Schwere empfiehlt es sich besonders durch seine geringe Verdunstung bei gewöhnlicher Temperatur. Die einfachste Form eines solchen Quecksilbermanometers ist das sogenannte Hebermanometer, bestehend aus einer U-förmigen Röhre mit vertical aufwärts gerichteten Schenkeln, bezw. zwei geraden solchen Röhren, die unten durch ein Verbindungsstück communiciren und von welchen die eine *A* oben offen ist, die andere *B* mit dem Raume communicirt, dessen specifischer Druck gemessen werden soll. Haben *A* und *B* gleiche Querschnitte, so wird, wenn die Quecksilberoberfläche in *B* um die Strecke *x* herunter gedrückt wird, dieselbe in *A* um ebenso viel gehoben, so dass der betreffende specifische Ueberdruck (Ueberschuss über den äusseren Druck) durch die Quecksilbersäulenhöhe $h = 2x$ gemessen wird. Die Hälfte derselben $= x$ pflegt im offenen Schenkel *A* an einer Skala abgelesen zu werden, entweder unmittelbar im Falle einer Röhre von Glas, oder häufiger im Falle einer eisernen (überhaupt undurchsichtigen) Röhre vermittels eines Schwimmers, der einen Draht mit oben daran befestigtem Zeiger trägt oder auch mit einer Schnur verbunden ist, welche, über eine Leitrolle geführt, am herabhängenden Ende den Zeiger trägt. Sofern eine Atmosphäre einer Quecksilbersäule von $Ah = 760\text{mm}$ entspricht, entspricht sie auf der Skala einer Länge von

$$Ax = \frac{760}{2} = 380\text{mm} \dots \dots \dots (1).$$

Uebelstände dieses Hebermanometers sind die stets nur angenähert erfüllbare Voraussetzung gleicher und gleichförmiger Weite beider Röhrenschenkel und für den Fall des zu messenden Ueberdruckes von Wasserdampf die Ansammlung condensirten Wassers über dem Quecksilber im Schenkel *B*. Letzterer Umstand kann durch die in Fig. 205 skizzirte Anordnung für praktische Zwecke unschädlich gemacht werden, nämlich dadurch, dass zwischen dem Rohrschenkel *B* und der zum Dampf-raume führenden Röhre *D* ein Gefäss *C* eingeschaltet wird, welches so mit Wasser gefüllt

Fig. 205.



ist, dass dessen Niveau nur geringen Schwankungen unterliegt. Dieses Gefäss ist oben und an der Seite mit verschliessbaren Oeffnungen a, c versehen, der Rohrschenkel B mit einer Oeffnung b in der Horizontalebene HH , bis zu welcher bei beiderseits gleichem Drucke das Quecksilber in A und B emporreichen soll. Während das Dampfrohr D abgesperret ist und die Löcher a, b geöffnet sind, wird durch a Quecksilber eingefüllt bis es aus b auszufließen beginnt, dann b geschlossen, c geöffnet und durch a Wasser eingefüllt, bis es aus c abzufließen beginnt, endlich a sowohl wie c geschlossen. Das Instrument ist jetzt zum Gebrauche vorgerichtet, und muss in diesem Zustande der Zeiger auf den Nullpunkt der Skala weisen.

Durch das Einfüllen von Wasser hatte sich das Quecksilber in B um die Strecke y gesenkt, in A um ebenso viel gehoben, und es ist, wenn c die Höhe der Oeffnung c über HH , also über der Oeffnung b , und weil die Dichtigkeit des Quecksilbers in Vergleich mit Wasser $= 13,6$ zu setzen ist, y bestimmt durch die Gleichung:

$$2y = \frac{y + c}{13,6}; \quad y = \frac{c}{2 \cdot 13,6 - 1} = \frac{c}{26,2}.$$

Wenn nun der Dampfdruck einwirkt und das Quecksilber in A um die Strecke x weiter hebt, in B ebenso tief herunterdrückt, so sinkt zwar auch die Wasseroberfläche im Gefässe C , jedoch seines grösseren Querschnittes wegen verhältnissmässig wenig. Zudem findet durch Condensation von Dampf eine allmähliche Vermehrung des Wassers statt, und wenn man das Dampfrohr D in aufsteigender Richtung dicht oberhalb c in das Gefäss C einmünden lässt, kann ohne wesentlichen Fehler angenommen werden, dass das Wasserniveau beständig in der Höhe c über HH bleibt. Unter dieser Voraussetzung ist die Quecksilbersäulenhöhe, welche dem Dampfdrucke Gleichgewicht hält:

$$h = 2x - \frac{x}{13,6} = \frac{26,2}{13,6}x = \frac{131}{68}x,$$

und einer Atmosphäre Ueberdruck entspricht die Skalenlänge:

$$\Delta x = \frac{68}{131} 760 = 394,5^{\text{mm}} \dots \dots \dots (2).$$

Der andere Uebelstand des Hebermanometers, dass es gleichförmige und gleiche Querschnitte der Röhrenschenkel A, B oder wenigstens gleiche Grössen von je zwei correspondirenden Querschnitten derselben

voraussetzt, fällt fort bei dem Gefässmanometer: Fig. 206. Wenn hier F den Ueberschuss des inneren Querschnittes des Gefässes B über den äusseren Querschnitt des Rohres A , f den inneren Querschnitt des letzteren bedeutet, so entspricht einer Hebung $= x$ des Quecksilbers in A eine Senkung desselben in B um den Betrag $\frac{f}{F}x$. Die den Ueberdruck messende Quecksilbersäulenhöhe ist also

$$h = x + \frac{f}{F}x = \frac{F+f}{F}x,$$

so dass eine Atmosphäre der Skalenlänge

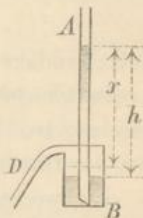
$$Ax = \frac{F}{F+f} 760^{\text{mm}} \dots \dots \dots (3)$$

entspricht. Die gleichförmige Theilung der Skala trotz der meistens etwas ungleichförmigen Grösse von f benachtheiligt hier die Messung um so weniger, je kleiner f in Vergleich mit F ist; auch ist es ein Vortheil, dass die grössere Quecksilbermasse weniger leicht in Schwingungen gerathen und dadurch die Ablesung unsicher machen kann. Die Ansammlung von Condensationswasser bei der Messung des Ueberdrucks von Wasserdampf ist dadurch unschädlich zu machen, dass das Gefäss B über dem Quecksilber bis zur Mündung des von B aus abfallenden Dampfrohres D beständig mit Wasser gefüllt erhalten und dadurch nur der Nullpunkt der Skala ein für allemal etwas verschoben wird. Dagegen hat bei grossen zu messenden Pressungen das Gefässmanometer den Uebelstand, dass die Skala, die schon bei Hebermanometern sehr unbequem lang werden kann, bei ihm fast doppelt so lang ist.

Die Verkürzung der Skala in beliebigem Verhältnisse ist freilich dadurch leicht zu erreichen, dass beim Gefässmanometer der Quecksilberstand nicht in der Röhre A , sondern in dem möglichst genau cylindrisch hergestellten Gefässe B abgelesen, nämlich mit demselben ein Glasrohr verbunden wird, welches unter und über der Quecksilberoberfläche mit B communicirt. Da mit den vorigen Bedeutungen von F und f der Senkung $= y$ dieser Quecksilberoberfläche eine Erhebung in A um die Strecke $x = \frac{F}{f}y$ entspricht, ist

$$h = y + \frac{F}{f}y = \frac{F+f}{f}y$$

Fig. 206.



und entspricht jeder Atmosphäre die Skalenlänge:

$$\Delta y = \frac{f}{F+f} 760 \text{ mm} \dots \dots \dots (4).$$

Gleichförmigkeit der Grössen von f und F ist jetzt wesentliches Erforderniss gleichförmiger Theilung der Skala. Die Anwendung bei Dampfkesseln wäre indessen voraussichtlich mit dem Uebelstande verbunden, dass das Glasrohr besonders da, wo die Ablesung zu geschehen hätte und wo es abwechselnd mit Quecksilber und mit Condensationswasser in Berührung käme, bald blind werden würde.

Empfehlenswerther zu solchem Zwecke, obschon weniger einfach, erscheint das Manometer von Desbordes: Fig. 207 mit der Verbesserung von Schäffer & Budenberg, etwa herausgeschleudertes Quecksilber leicht und ohne Verlust in die Messröhre zurückbringen zu können. Hier ist

a das vom Kessel kommende Dampfrohr,

b ein Verbindungsstutzen zwischen zwei gusseisernen Flaschen c, d mit einem Hahn von solcher Bohrung, dass dadurch entweder zwischen a und c oder zwischen d und c die Communication hergestellt werden kann, während jedesmal der dritte Theil von den zwei verbundenen abgesperrt ist;

e und f sind schmiedeiserne Röhren, unten durch ein Verbindungsstück zusammenhängend,

g ist ein Glasrohr von grösserer Weite, als e und f , zwischen den Fassungen h, i befestigt,

k ein Verbindungsrohr zwischen g und d ,

o eine Oeffnung, durch welche die Flasche d und somit der obere Theil der Glasröhre g mit der äusseren Luft communicirt.

Gewöhnlich communicirt das Dampfrohr a mit der Flasche c , welche bis oben bei b mit Wasser gefüllt wird, so dass bei beiderseits gleichem Drucke das Quecksilber in e bis zu solchem Niveau α , in g bis zu solchem Niveau β reicht, dass die Höhen von b und β über α sich wie 13,6:1 verhalten; das Niveau β entspricht dann dem Nullpunkte der Skala. Würde das Quecksilber durch einen Zufall (durch plötzliche Zulassung des Kesseldampfes) aus g herausgeschleudert, so würde es sich in d sammeln und könnte bei entsprechender Stellung des Hahns b durch c hindurch nach e zurückfliessen.

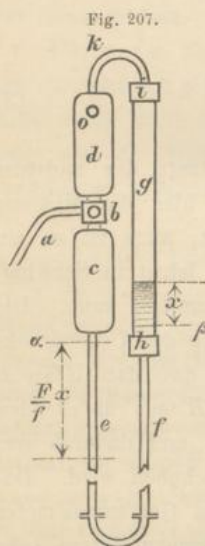


Fig. 207.

Was die Theilung der Skala betrifft, so ist zu bedenken, dass, wenn F und f beziehungsweise die Querschnitte der Röhren g und e sind, die Hebung $= x$ des Quecksilbers in g über das Niveau β von einer Senkung desselben $= \frac{F}{f}x$ in e unter das Niveau α begleitet wird, ohne in Betracht kommende Senkung der Wasseroberfläche in der Flasche e , sofern diese das Rohr e erheblich an Weite übertrifft und weil auch bei frei werdendem Raume in e allmählig neues Condensationswasser darin sich ansammelt. Indem aber die Summe $= x + \frac{F}{f}x$ jener Quecksilbersäulen zum Theil von der im Rohre e hinzugekommenen Wassersäule von der Höhe $\frac{F}{f}x$, die einer Quecksilbersäule von der Höhe $\frac{1}{13,6} \frac{F}{f}x$ äquivalent ist, getragen wird, ist die den Dampfüberdruck messende Quecksilbersäulenhöhe in der That nur:

$$h = x + \frac{F}{f}x \left(1 - \frac{1}{13,6}\right) = \left(1 + \frac{63}{68} \frac{F}{f}\right)x.$$

Einer Atmosphäre entspricht also die Skalenlänge:

$$Ax = \frac{760}{1 + \frac{63}{68} \frac{F}{f}} \text{ Millim.} \dots \dots \dots (5).$$

Im Falle $F=f$ wäre dieses Manometer mit dem durch Fig. 205 dargestellten identisch; in der That ist dann nach Gl. (5):

$$Ax = \frac{68}{131} 760 = 394,5^{\text{mm}}$$

übereinstimmend mit Gl. (2). Wäre aber z. B. $\frac{F}{f} = 5$, so würde

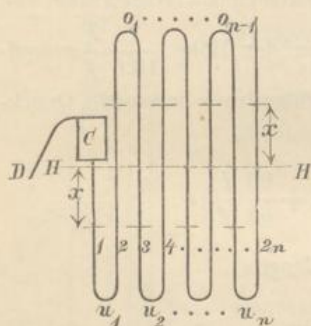
$Ax = 135^{\text{mm}}$, so dass, um 6 Atm. Ueberdruck zu umfassen, die Skala und die Glasröhre g nur etwa die Länge eines Barometerrohres $= 6 \cdot 135 = 810^{\text{mm}}$ zu erhalten brauchten. —

Wenn nun aber auch der Skala in jedem Falle eine passende Länge gegeben werden kann, so bleibt doch bei allen bisher besprochenen Instrumenten, falls sie zur Messung grosser spezifischer Pressungen bestimmt sind, ihre beträchtliche Länge und somit die Höhe des zu ihrer Aufstellung nöthigen Raumes ein misslicher Umstand, abgesehen von der Kostspieligkeit der in den langen Röhren befindlichen Quecksilbermasse. Z. B. bei obiger Ausführung des Manometers von Desbordes (Fig. 207)

mit einer 6 Atmosphären umfassenden Skala von 810 Millim. Länge müssten die Röhren *e* und *f* je 5.810 Millim. = 4,05 Mtr. lang sein.

Den Zweck einer möglichst compendiösen Form erfüllt das sogenannte Differenzialmanometer oder besser Divisionsmanometer, indem dabei die manometrische Quecksilbersäule in neben einander liegende Theile getheilt, der Umstand dagegen nur von untergeordneter Bedeutung ist, dass es eigentlich nicht nur Quecksilbersäulen, sondern Differenzen von Quecksilber- und Wassersäulen sind, deren Gesammtheit als Maass des betreffenden specifischen Ueberdruckes erscheint. Dieses

Fig. 208.



Manometer besteht in der mit einfachen Linien durch Fig. 208 angedeuteten Art aus einer geraden Zahl = $2n$ von neben einander befindlichen, gleich weiten eisernen Röhren, die oben und unten durch Verbindungsstücke $o_1 \dots o_{n-1}$, bezw. $u_1, u_2 \dots u_{2n}$ communiciren. Um es zum Gebrauche herzurichten, wird durch verschliessbare Oeffnungen bei $o_1 \dots o_{n-1}$ Quecksilber eingefüllt, bis dasselbe aus kleinen Löchern der Röhren im Niveau *HH* auszufließen beginnt, alsdann nach Verschluss dieser Löcher Wasser nachgefüllt bis die verbliebenen Räume der 2^{ten} bis $(2n - 1)$ ^{ten} Röhre ganz damit angefüllt sind; endlich werden die Füllöffnungen geschlossen. Durch das Einfüllen des Wassers wurde, sobald es die Röhren ganz anfüllte, das Gleichgewicht des Quecksilbers nicht gestört; wenn aber letzteres jetzt durch den zu messenden Ueberdruck in der ersten Röhre um die Strecke *x* unter *HH* herabgedrückt wird, so muss es wegen des continuirlichen Zusammenhanges der Flüssigkeit auch in der 3^{ten}, 5^{ten} ... $(2n - 1)$ ^{ten} Röhre um *x* gesenkt, in der 2^{ten}, 4^{ten} ... $2n$ ^{ten} Röhre aber um *x* gehoben werden, und ist dann die den Ueberdruck messende Quecksilbersäule:

$$h = (n - 1) \cdot 2x \left(1 - \frac{1}{13,6} \right) + 2x$$

$$= \left[\frac{63}{68} (n - 1) + 1 \right] 2x = \frac{63n + 5}{34} x.$$

Die Länge *x* wird angezeigt auf einer Skala durch einen Zeiger, der mit einem Schwimmer im $2n$ ^{ten} Rohre verbunden ist.

Wenn zur Messung des Druckes von Wasserdampf, um die Ansammlung von Condensationswasser unschädlich zu machen, die erste Röhre wieder oben mit einem weiteren Gefässe *C* versehen und dieses bis zur Einmündungsstelle des Dampfrohres *D* mit Wasser angefüllt erhalten wird, so wird durch die von dieser Stelle bis zum Niveau *III* reichende Wassersäule nur der (empirisch zu bestimmende) Anfangspunkt der Skala etwas hinaufgerückt, dagegen kommt wegen der unterhalb *III* im ersten Rohre befindlichen Wassersäule = *x* im Ausdrucke von *h* das Glied

$$-\frac{1}{13,6}x = -\frac{5}{68}x = -\frac{2,5}{34}x$$

hinzu, wird also

$$h = \frac{63n + 2,5}{34}x.$$

Im einen oder andern Falle ist folglich die einer Atmosphäre entsprechende Skalenlänge:

$$Ax = \frac{34.760}{63n + 5} \text{ bzw. } = \frac{34.760}{63n + 2,5} \text{ Millim. } \dots \dots (6)$$

z. B. für $n = \begin{matrix} 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix}$

$$Ax = \left\{ \begin{matrix} 197,2 & 133,2 & 100,5 & 80,8 \\ 201,1 & 135,0 & 101,6 & 81,4 \end{matrix} \right\} \text{ Millim.}$$

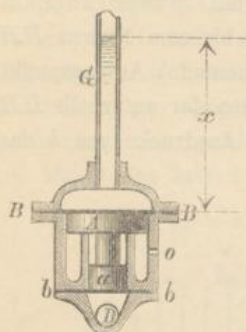
Uebrigens hat dieses Instrument eine weite Verbreitung nicht gefunden; seine vielen Verbindungen und verschliessbaren Oeffnungen erschweren und vertheuern die Herstellung und geben zu Undichtigkeiten Anlass. Auch ist die compendiösere Form nicht mit Verkleinerung der ganzen Rohrlänge und der zur Füllung nöthigen Quecksilbermasse verbunden.

Mit Vermeidung dieser Mängel ist das vorgesezte Ziel auch dadurch erstrebt worden, dass ein grösserer und ein kleinerer Kolben, beide in coaxialen Hohlcylindern anschliessend beweglich, unter sich fest verbunden sind, und dass der kleinere Kolben durch den zu messenden specifischen Druck, der grössere durch die demselben Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule belastet wird, welche dann im Verhältnisse der grösseren zur kleineren Kolbenfläche kleiner ist, als sie bei dem gewöhnlichen Quecksilbermanometer sein müsste. Zur Vermeidung der Reibung, welche bei ganz dichtem Anschlusse der Kolben in den Hohlcylindern sich störend geltend machen würde, sind von Galy-Cazalat (1846) leicht biegsame

Kautschukmembranen empfohlen worden, die den Doppelkolben berührend

zwischen sich fassen und so die Dichtung bewirken. Fig. 209 zeigt dieses Manometer nach einer Ausführung von C. Kayser;* A und a sind die fest verbundenen Kolben zwischen den Kautschukmembranen BB und bb , D ist die Mündung des Rohrs, welches nach dem Dampfraum oder überhaupt nach dem Raum führt, in welchem der zu messende spezifische Druck stattfindet, G das verticale Glasrohr, in welches sich das im Gehäuse über BB befindliche Quecksilber hinauf erstreckt.

Fig. 209.



Auf a wirkt von unten vermittelst der Membran bb der zu messende Druck $= n$ Atm. Ueberdruck, auf A von oben vermittelst der Membran BB die Quecksilbersäule $= x$ Millim. Der äussere Druck kommt, weil von allen Seiten wirkend, nicht in Betracht, sofern er durch Vermittlung der kleinen Oeffnung o auch im Inneren des Gehäuses zwischen BB und bb stattfindet. Sind also F und f die Flächen der Kolben A und a in Quadratmillimetern, und ist K Gramm das Gewicht des Doppelkolbens, p Gramm der Atmosphärendruck pro Quadratmillimeter, so ist der Gleichgewichtszustand des frei spielenden (auf dem ringförmigen Stege im Inneren des Gehäuses nicht aufliegenden) Doppelkolbens abgesehen vom Biegungswiderstande der Membranen bestimmt durch die Gleichung:

$$fnp = K + F \frac{x}{760} p$$

$$x = 760 n \frac{f}{F} - \frac{760 K}{Fp}$$

$$An = 1 \text{ entspricht } \Delta x = 760 \frac{f}{F} \text{ Millim. } \dots \dots (7).$$

Der Nullpunkt der Skala, welcher um $\frac{760 K}{Fp}$ Millimeter unter BB liegen muss, ist dadurch zu bestimmen, dass für einen bekannten Werth von n der betreffende Theilstrich der Skala zur Coincidenz mit der Quecksilberkuppe in G gebracht wird.

* Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1859, S. 170.

Für Pressungen, die nur wenig höher sind, als der Atmosphären-
druck, kann das Instrument nicht gebraucht werden; denn der Kolben
 A erhebt sich erst dann von seinem Sitz, biegt die Membran und treibt
das verdrängte Quecksilber in G empor, wenn n grösser wird, als die-
jenige Atmosphärenzahl, mit deren entsprechendem Theilstriche bei auf-
liegendem Kolben A die Quecksilberkuppe an der Skala zusammenfällt.
Soll also das Instrument überhaupt nur für höhere Drucke in einem
gegebenen Falle gebraucht werden, so kann man durch entsprechendes
Zufüllen von Quecksilber machen, dass erst bei etwas kleinerem, als dem
kleinsten zu messenden Druck der Kolben und die Quecksilberkuppe sich
zu heben anfangen, und man erreicht dadurch den Vortheil, dass die
Membranen stets nur sehr wenig gebogen sind, dass also der dazu er-
forderliche, bei obiger Rechnung vernachlässigte Druckaufwand sehr
gering ist. Streng genommen wird nämlich, weil der Widerstand der
Membranen einem Theile des in D herrschenden Druckes Gleichgewicht
hält, x etwas zu klein gefunden, ein Fehler, welcher indessen zum Theil
dadurch compensirt wird, dass eigentlich die Skala mit dem aufsteigenden
Kolben ebenso viel in die Höhe gerückt werden sollte, dass also, weil
dies thatsächlich nicht geschieht, dadurch x umgekehrt zu gross abge-
lesen wird.

Sind z. B. die Durchmesser von A , a , G

bezw. = 32, 8, 4 Millim.,

so wird $Ax = \frac{760}{16} = 47,5$ Millim., und wenn man die Quecksilbermenge

so justirt, dass erst bei n_0 Atm. Ueberdruck im Rohre D das freie
Spiel des Doppelkolbens beginnt (zugleich die Skala so feststellt, dass in
diesem Augenblicke ihr betreffender Theilstrich n_0 mit der Quecksilber-
kuppe in gleicher Höhe liegt), so ist bei einer Atmosphäre mehr die
Erhebung des Kolbens nur

$$= \frac{1}{64} Ax = \frac{47,5}{64} \text{ nahe } = \frac{3}{4} \text{ Millim.,}$$

so dass das Instrument für $n = n_0$ bis $n = n_0 + 4$ Atm. Ueberdruck
gebraucht werden könnte ohne höhere Erhebung des Doppelkolbens, als
um den kleinen Betrag von 3^{mm} , während die benutzte Länge der Skala
 $= 4 \cdot 47,5 = 190^{\text{mm}}$ wäre.

Obschon dieses Manometer mit gutem Erfolge mehrfach ausgeführt
worden ist, hat es doch auch allgemeineren Eingang nicht gefunden,

hauptsächlich wohl aus Furcht vor ungenügender Dauerhaftigkeit der Kautschukmembranen. —

Handelt es sich um die Messung sehr kleiner specifischer Druckdifferenzen, so hat man mit der entgegengesetzten Schwierigkeit zu kämpfen, dass die Skala zu kurz werden kann, als dass sie eine hinlänglich genaue Ablesung so kleiner Abstufungen gestattete. Als Hilfsmittel für diesen Fall sind hervorzuheben: die Anwendung mechanischer Vorrichtungen behufs Verfeinerung der Ablesung, die Benutzung leichterer manometrischer Flüssigkeiten, die umgekehrte Anwendung des dem Divisionsmanometer (Fig. 209) zu Grunde liegenden Principis, und die Neigung der Messröhre gegen den Horizont.

Als ein Hilfsmittel der erstgenannten Art kann insbesondere eine zugespitzte Schraube von kleiner Ganghöhe dienen, welche von oben her allmählig bis zur Berührung ihrer Spitze mit der Flüssigkeitsoberfläche vorgeschraubt wird, um so die Höhenlage dieser Oberfläche bis auf kleine Bruchtheile der Ganghöhe (erkennbar aus den Drehungswinkeln der Schraube) bestimmen zu können. Indessen sind solche Einrichtungen weniger zu praktischen, als zu wissenschaftlichen Beobachtungszwecken geeignet.

Allgemein ist die Benutzung einer leichteren manometrischen Flüssigkeit, als Quecksilber, zu den hier in Rede stehenden Zwecken, insbesondere von Wasser (eventuell gefärbt zu besserer Sichtbarkeit), Alkohol, Petroleum, Benzol etc., und zwar mit directer Ablesung des Flüssigkeitsstandes in einer graduirten oder auf einer Skala befestigten Glasröhre. Ist eine grosse Genauigkeit nicht erforderlich, wie z. B. zur Bestimmung des Ueberdruckes von Leuchtgas an irgend einer Stelle seiner Leitung, so ist das einfachste Hebermanometer ausreichend und gebräuchlich. Eine Vergrößerung der Skala gestattet indessen das Gefässmanometer und zwar eine Verdoppelung, wenn das Gefäss (die weitere der beiden communicirenden Röhren) so weit gemacht wird, dass von der darin stattfindenden Aenderung des Flüssigkeitsniveaus abgesehen werden kann; die Rücksicht auf das Gewicht und den Preis der manometrischen Flüssigkeit kommt bei solcher Querschnittsvergrößerung hier weniger hinderlich in Betracht, als bei Quecksilbermanometern.

Ein Multiplicationsmanometer, entsprechend der Umkehrung des dem Divisionsmanometer, Fig. 209, zu Grunde liegenden Principis, kann am einfachsten so hergestellt werden, dass zwei weite vertical stehende cylindrische Röhren A, B , deren Querschnitte $= F$ seien, unterhalb durch ein enges Rohr C vom Querschnitte f communiciren,

während sie entweder zwei verschiedene sich nicht mischende Flüssigkeiten enthalten, die innerhalb C sichtbar sich berühren, oder auch gleiche Flüssigkeiten, die nur innerhalb C durch einen kurzen Faden einer anderen, mit jener nicht mischbaren Flüssigkeit, z. B. durch einen Quecksilberfaden getrennt sind. Jede Aenderung des Flüssigkeitsniveaus in A und B hat dann eine im Verhältnisse $F:f$ grössere Verschiebung der Trennungsfläche bezw. des trennenden Flüssigkeitsfadens in C zur Folge. Ein Uebelstand ist hier namentlich der Einfluss geringfügiger Unreinigkeiten der engen Röhre C , wodurch die Adhäsion der Flüssigkeiten, ihre Mischung und die Verwischung der Trennungsfläche, die Vermehrung des Bewegungswiderstandes bewirkt und überhaupt die Function des Apparates gestört werden kann.

Besser bewährt ist die Neigung der Messröhre gegen den Horizont, z. B. bei dem Zugmesser von Scheurer-Kestner zur Bestimmung der Druckdifferenz innerhalb und ausserhalb eines Schornsteins. Bei einer von Herrn Tomson in Stolberg angegebenen und ausgeführten Construction dieses Zugmessers* hat das Gefäss eine flach-cylindrische Dosenform und kann in der Mitte seines Deckels durch einen Zweiweghahn mit dem Inneren des Schornsteins oder mit der äusseren Luft in Verbindung gebracht werden. Die mit der Theilung versehene Glasröhre als engerer Schenkel communicirt mit dem Gefässe durch eine unter demselben befindliche hohle Axe, um welche die Röhre mit geeigneter Metallfassung drehbar ist; ihr Neigungswinkel α gegen den Horizont wird durch eine Libelle geregelt, deren Lage gegen die Glasröhre durch eine Stellschraube regulirt werden kann. Als manometrische Flüssigkeit wird Alkohol oder Petroleum verwendet. Zu deutlicher Ablesung des Flüssigkeitsstandes in der schwach geneigten Glasröhre muss diese sehr eng sein, und ist dann wegen der viel grösseren Weite des Gefässes eine Druckdifferenz, welche eine Verkürzung oder Verlängerung $=x$ der Flüssigkeitssäule in der Röhre bewirkt, ohne weitere Correction durch $x \sin \alpha$ als Höhe dieser Säule zu messen.

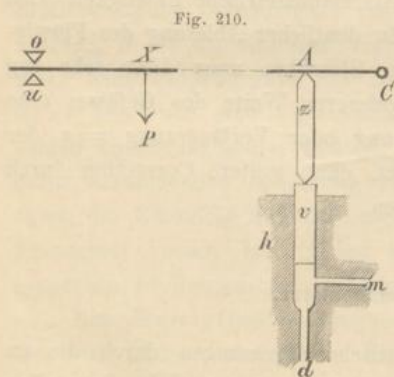
§. 184. Ventilmanometer.

Der Messung grösserer hydrostatischer Pressungen durch die im vorigen §. besprochenen Flüssigkeitsmanometer ist meistens ihre allzu grosse Höhe hinderlich, und wenn auch dieser Uebelstand durch besondere

* Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1880, S. 406.

Einrichtungen nach Art der durch die Figuren 208 und 209 angedeuteten Divisionsmanometer vermieden werden kann, so versagen doch selbst diese Hilfsmittel, abgesehen von ihren bereits besprochenen Unvollkommenheiten, vollständig dann, wenn es sich um sehr grosse Pressungen handelt, welche, wie z. B. bei hydraulischen Pressen, mehrere hundert Atmosphären betragen können. In solchen Fällen ist man besonders für den praktischen Gebrauch fast ausschliesslich auf die im folgenden Paragraph zu besprechenden Federmanometer angewiesen, die auch für Drucke von mittlerer Grösse, wie sie z. B. in Dampfkesseln vorkommen, weitaus am compendiösesten, bequemsten und am meisten gebräuchlich sind. Indem dieselben aber im Allgemeinen empirisch durch Vergleichung mit anderen Manometern zu theilende Skalen erhalten müssen, entsteht das Bedürfniss geeigneter solcher für alle Fälle brauchbarer Normalmanometer, welche, da Flüssigkeitsmanometer selbst hierzu nur bei Pressungen von mässiger Grösse mit Vortheil anwendbar sind und Federmanometer höchstens als Controlmanometer zu gelegentlicher Prüfung von Gebrauchsmanometern auf ihre noch ausreichende Richtigkeit genügende Zuverlässigkeit besitzen, am besten als Ventilmanometer hergestellt werden.

Ein gewöhnliches Ventil nach Art eines Sicherheitsventils ist hierzu deshalb nicht brauchbar, weil im geschlossenen Zustande desselben der hydrostatische Druck an der Sitzfläche, im gehobenen Zustande die Beziehung zwischen dem hydraulischen Drucke an den verschiedenen Stellen der ganzen Ventilfläche und dem hydrostatischen Drucke im Inneren des



betreffenden Flüssigkeitsbehälters zu grosse Unsicherheit darbietet. Geeignet zu diesem Zwecke erscheint vielmehr nur ein längerer Volleylinder v , Fig. 210, welcher, in ein hohlcylindrisches Gehäuse h passend, dadurch im Gleichgewicht erhalten wird, dass dem Flüssigkeitsdrucke auf seine Unterfläche ein bekannter Druck auf seine obere Fläche entgegen wirkt. Wenn letzterer durch einen Hebel ausgeübt wird, welcher um die

(als Keilschneide auszuführende) horizontale Axe C drehbar ist und mit dem unveränderlichen Hebelarme $CA = a$ den Ventilylinder vom Quer-

schnitte F axial drückt, während er selbst bei abbalancirtem Eigengewichte an dem veränderlichen Hebelarme $CX = x$ durch ein Laufgewicht P belastet ist, so ergibt sich der specifische Druck auf die Unterfläche von v , bezw. in dem Gehäuse h :

$$p = \frac{Px}{Fa}.$$

Um dann den Theilstrich der Skala eines Manometers zu markiren, der dem specifischen Drucke p entspricht, braucht nur das Laufgewicht in der dieser Gleichung entsprechenden Entfernung x von C aufgehängt, das zu prüfende Manometer mit der vom Gehäuse h auslaufenden Röhre m in Verbindung gebracht und durch das Rohr d vermittels einer Druckpumpe so lange eine tropfbare Flüssigkeit (Wasser) eingepresst zu werden, bis der Belastungshebel zwischen den Anschlägen o und u frei spielt.

Eine Fehlerquelle, auf deren Vermeidung es hierbei vor Allem ankommt, ist die Reibung an der Umfläche des Ventilcylinders, die unvermeidlich wäre, wenn der Cylinder ganz dicht anschliesse. Ein gewisser, wenn auch noch so kleiner Spielraum ist also unerlässlich, somit auch das Entweichen einer gewissen Wassermenge beim Gebrauch des Instrumentes. Hierdurch hauptsächlich wird dieser Gebrauch auf die Herstellung der Skala oder auf die Controle der vorhandenen Skala eines anderen, zu praktischem Gebrauche bestimmten Manometers beschränkt. Andererseits darf dieser Spielraum und somit die Geschwindigkeit des ihm zufließenden Wassers nicht so gross sein, dass dadurch die sichere Führung des Vollcylinders v im Hohlcylinder h verloren geht und die Differenz zwischen dem hydraulischen Drucke auf die Unterfläche von v und dem hydrostatischen Drucke, der unter übrigens gleichen Umständen bei dicht anschliessendem Cylinder stattfände, von merklicher Grösse wird. Bei einem solchen Ventilmanometer von Georges Marié* ist der Ventilcylinder so bearbeitet und eingepasst, dass er bei einem inneren Ueberdrucke von 200 Atm. nur 1 Cubikcentimeter Wasser pro Secunde entweichen lässt.

Zu thunlichster Vermeidung von Reibung am Ventilcylinder ist es ferner erforderlich, denselben aus einem Metall herzustellen, welches hart, politurfähig und kaum oxydirbar ist, ihm ein nur sehr kleines Spiel in axialer Richtung zu gestatten und den Druck des Belastungshebels beständig möglichst genau in der Axe wirken zu lassen; selbstverständlich ist die Vermeidung aller Verunreinigungen des Wassers durch Staub und

* Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrg. 1881, S. 721.

sonstige feste Theile. Bei dem erwähnten Instrument von Georges Marié ist der Ventilylinder aus einer Legirung von 10% Aluminium und 90% Kupfer hergestellt, und hat der Belastungshebel zwischen den Anschlägen o, u nur ein Spiel von 2^{mm}, entsprechend 0,2^{mm} Spielraum des Angriffspunktes A . Um dann die Richtung des Druckes gegen den Ventilylinder noch mehr unveränderlich axial zu erhalten, wird er nicht unmittelbar, sondern vermittels eines beiderseits zugespitzten Zwischengliedes z ausgeübt; dasselbe wird dadurch in sicherer Berührung einerseits mit dem Belastungshebel, andererseits mit dem Ventilylinder erhalten, dass letzterer am obern Ende mit einem Querstück verbunden und durch dieses mit zwei das Zwischenglied z zwischen sich fassenden Spiralfedern am Belastungshebel aufgehängt ist.

Trotz aller Vorsicht können die störenden Einflüsse natürlich nicht vollständig vermieden werden, wie z. B. der Messungsfehler von F und die Reibung des Wassers, welches durch den engen ringförmigen Canal zwischen v und dem Hohlylinder h mit einer Geschwindigkeit entweicht, die nahe proportional \sqrt{p} ist. Die Unsicherheit des gemessenen Werthes von p , welche der Gesamtheit solcher übrig bleibenden Fehler entspricht, wird auf $\frac{3}{4}\%$ des wahren Werthes von p geschätzt.

§. 185. Federmanometer.

Die zu praktischen Zwecken vorzugsweise benutzten Federmanometer haben zwar insofern nicht dieselbe Zuverlässigkeit wie gute Flüssigkeitsmanometer, als der elastische Körper, dessen Federkraft mit dem zu messenden hydrostatischen Druck in Gleichgewicht gesetzt wird, um aus seiner entsprechenden Deformation auf die Grösse dieses Druckes zu schliessen, aus verschiedenen Ursachen theils bleibenden, theils vorübergehenden Aenderungen, letzteren besonders in Folge wechselnder Temperatur unterworfen sein kann, welche irrthümlich als elastische Deformationen erscheinen. Indessen sind sie bei guter Ausführung und öfterer Controle doch völlig genügend, häufig auch kaum entbehrlich, besonders zur Messung sehr hoher und solcher Drucke, welche in bewegten Gefässen, z. B. in Locomotiv- und Schiffsdampfkesseln, stattfinden.

Als einen Körper von sehr grosser und vollkommener Elasticität lag es vor Allem nahe, atmosphärische Luft zu dem hier in Rede stehenden Zwecke zu benutzen. Dieselbe ist bei der einfachsten Form

eines solchen Luftmanometers, Fig. 211, in einer verticalen cylindrischen, oben geschlossenen Glasröhre *R* abgesperrt, welche mit ihrem offenen unteren Ende in das Quecksilber eines cylindrischen Gefässes *G* hineinreicht, und zwar so tief, dass das Quecksilber innen und aussen gleich hoch steht, wenn der äussere Druck an seiner Oberfläche = dem durch eine Quecksilbersäule von *b* Millimeter Höhe gemessenen normalen Atmosphärendrucke ist. In diesem Zustande sei *HH* das Quecksilberniveau und die von ihm aus gemessene Länge der Luftsäule = *l* Millimeter. Ist dann *f* der innere Querschnitt von *R*, *F* der Ueberschuss des inneren Querschnittes von *G* über den äusseren Querschnitt von *R*, so hat ein äusserer Ueberdruck von *n* Atmosphären, entsprechend *nb* Millim. Quecksilbersäulenhöhe, eine Erhebung des Quecksilbers in *R* über *HH* von *x* Millim., begleitet von einer Senkung in *G* unter *HH* um $\frac{f}{F}x$ Millim. zur Folge, gemäss der Gleichung:

$$(n + 1)b = \frac{l}{l - x} b + \left(1 + \frac{f}{F}\right) x,$$

vorausgesetzt, dass die Temperatur der abgesperrten Luft unverändert geblieben ist. Daraus folgt:

$$n + 1 = \frac{l}{l - x} + \frac{F + f}{F} \frac{x}{b} \dots \dots \dots (1).$$

Um den Uebelstand zu vermindern, dass die Aenderungen von *x*, welche gegebenen Aenderungen von *n* entsprechen, bei grossen Werthen von *n* allzu klein werden können, falls nicht *l* übermässig gross gemacht wird, kann man die Glasröhre unten und oben mit Erweiterungen versehen und diese nebst der Röhrenlänge so bemessen, dass sich vom kleinsten bis zum grössten Ueberdrucke, bezw. = *n*₁ und *n*₂ Atmosphären, zu dessen Messung das Instrument bestimmt ist, die Quecksilberoberfläche in *R* zwischen den Erweiterungen vom Niveau *H*₁ bis zum Niveau *H*₂, Fig. 212, bewegt. Haben dann wieder *F* und *f* die früheren Bedeutungen und ist *HH* das Quecksilberniveau innen und aussen für *n* = 0,

Fig. 211.

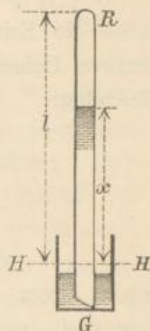
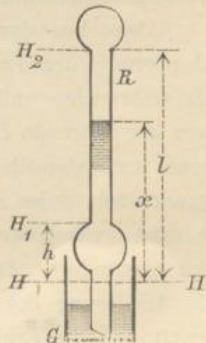


Fig. 212.



h die Höhe von H_1 , l die Höhe von H_2 über HH ,

$(h + l_1)f$ der innere Röhrenraum von HH bis H_1 ,

$(l + l_1 + l_2)f$ der ganze innere Röhrenraum über HH ,

so ist die Erhebung des Quecksilbers in R über HH , welche einem äusseren Ueberdrucke $= n$ Atmosphären entspricht, bestimmt durch die Gleichung:

$$(n + 1)b = \frac{l + l_1 + l_2}{l - x + l_2} b + x + \frac{(l_1 + x)f}{F}$$

$$n + 1 = \frac{l + l_1 + l_2}{l - x + l_2} + \frac{f l_1}{F b} + \frac{F + f x}{F b} \dots \dots \dots (2).$$

Indem dieser Gleichung, welche für $l_1 = l_2 = 0$ mit Gl. (1) übereinstimmt, die zusammengehörigen Werthe

$$n = n_1, \quad x = h \quad \text{und} \quad n = n_2, \quad x = l$$

entsprechen müssen, sind dadurch zwei der Grössen h, l, l_1, l_2 bestimmt, wenn ausser F und f die zwei anderen gegeben sind, bezw. passend angenommen werden. Durch Differentiation folgt aus ihr:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{l + l_1 + l_2}{(l - x + l_2)^2} + \frac{F + f}{F} \frac{1}{b}$$

und ist daraus ersichtlich, dass das Maximum von $\frac{dn}{dx}$, nämlich mit $x = l$:

$$\max \frac{dn}{dx} = \frac{l + l_1 + l_2}{l_2^2} + \frac{F + f}{F} \frac{1}{b}$$

um so kleiner, also das Minimum von $\frac{dx}{dn}$ um so grösser ist, je grösser l_2 .

Dass die Vergrösserung von l_1 die Zulässigkeit der Verkleinerung von l und somit der ganzen Höhe des Instrumentes zur Folge hat, ist ohne Weiteres einleuchtend.

Abgesehen davon, dass durch die Benutzung von Quecksilber zur Absperrung der Luft diesen Luftmanometern ähnliche Beschränkungen des Gebrauches auferlegt werden, wie Flüssigkeitsmanometern, ist besonders der störende Einfluss der Temperatur bei ihnen sehr erheblich, und wenn auch derselbe durch rechnermässige Correctur des beobachteten Quecksilberstandes x , Fig. 211 und Fig. 212, berücksichtigt werden kann, so wird doch dadurch die Leichtigkeit der praktischen Benutzung erheblich vermindert. Auch scheint die Oxydation des Quecksilbers und damit die Aenderung der abgesperrten Luftmenge, die Aenderung der Capillarität und die Erblindung des Glases durch Verdichtung der Luft beför-

dert zu werden. Aus diesen Gründen sind dergleichen Luftmanometer fast ganz ausser Gebrauch gekommen und durch Metallmanometer ersetzt worden.

Bei denselben ist der elastische Körper ein dünnes Metallblech, meistens Stahlblech, in Platten- oder Röhrenform, und pflegt die Deformation desselben unter dem Einflusse des an der einen Wandfläche stattfindenden Ueberdruckes vergrössert auf eine Zeigerspitze übertragen zu werden, die auf einer Kreisskala spielt. Als vergrössernder Uebertragungsmechanismus kann am einfachsten (nach einem Patent von J. D. Möller) eine steilgängige Schraube von so kleinem Durchmesser benutzt werden, dass eine geringe Axialverschiebung derselben eine beträchtliche Drehung der mit dem Zeiger verbundenen unverschieblichen Mutter zur Folge hat. Ueblicher ist ein Schubkurbelmechanismus, von welchem ein um eine feste Axe drehbares Glied einen Zahnbogen trägt, der in ein kleines Zahnrad auf der Zeigerwelle eingreift. Dadurch, dass der Zeiger (nach einem Patent von L. Burmeister) geschlitzt und durch den Schlitz mit seiner Welle prismatisch gepaart, nämlich rechtwinklig gegen dieselbe beweglich gemacht ist, kann seine Spitze auch längs einer spiralförmigen Skala mit mehreren Windungen geführt werden zu beliebiger Vergrösserung der Skalenlänge bei mässiger Grösse des betreffenden Zifferblattes. Zur Vermeidung von todtem Gange ist es dabei in allen Fällen rathsam, die Bewegung des Zeigers nur im einen Sinne durch das manometrische Metallblech, im anderen durch eine die Kraftschlüssigkeit des Mechanismus vermittelnde Hilfsfeder (Spiralfeder) zu bewirken.

Besonders verbreitet sind die Metallmanometer von Schäffer & Budenberg, sowie von Bourdon. Bei ersteren ist das manometrische Metallblech eine kreisförmige dünne Stahlscheibe, nach concentrischen Wellen gebogen und zwischen den Flantschen eines flachen Gehäuses als Scheidewand der beiden Theile dieses Gehäuses festgeklemmt. An der Seite, wo die Stahlplatte mit dem Dampf oder der sonstigen Flüssigkeit, deren Druck zu messen ist, in Berührung kommt, ist sie zum Schutz gegen Oxydation verzinkt oder versilbert; auf der andern Seite ist in der Mitte ein kleines Metallstück aufgelöthet, von welchem aus die Durchbiegung der Platte vergrössert auf die Zeigerspitze übertragen wird.

Die Bourdon'schen Federmanometer beruhen darauf, dass, wenn eine elastische Röhre von ovalem Querschnitte und so gekrümmter Mittellinie, dass die Krümmungsebene die kleinen Axen der ovalen Querschnitte enthält, einem inneren Ueberdrucke ausgesetzt wird, die Quer-

schnitte weniger oval werden und die Krümmung der Mittellinie abnimmt. Erstere Wirkung ist ohne Weiteres einleuchtend, da für jedes Längenelement der Röhre der Gesamtdruck im Sinne der kleinen Axe grösser, als im Sinne der grossen Axe ist, jene also vergrössert und diese verkleinert wird. Blicke dabei die Mittellinie der Röhre unverändert, so müsste in Folge der Vergrösserung der kleinen Querschnittsaxen von den zwei Durchschnittslinien der Krümmungsebene mit der Mittelfläche der Röhrenwand die äussere verlängert, die innere verkürzt werden, längs jener folglich eine Zugspannung, längs dieser eine Pressung stattfinden, wodurch thatsächlich eine Krümmungsänderung der Mittellinie, und zwar eine Abnahme ihrer Krümmung bewirkt wird. Ist also die Röhre mit dem für den Eintritt des Dampfes oder der sonstigen gespannten Flüssigkeit offenen Ende befestigt, so ist bei übrigens freier Beweglichkeit die Bahn des geschlossenen anderen Endes, bezw. des betreffenden Endpunktes B der Mittellinie = der geometrischen Summe der Producte $r \Delta d\varphi$ aus den Aenderungen $\Delta d\varphi$ der Contingenzwinkel $d\varphi$ ihrer Bogenelemente $AA' = ds$ und der Abstände $AB = r$.

Bei der einfachsten Ausführung des auf diesem Princip beruhenden Manometers ist jeder Hilfsmechanismus zu vergrösserter Darstellung der Deformation vermeiden. Die Röhre ist so gekrümmt, dass ihre Mittellinie ungefähr $1\frac{1}{2}$ Windungen einer flachen Schraubenlinie bildet, und läuft das geschlossene bewegliche Ende unmittelbar in die Zeigerspitze aus. Die vollständig empirisch zu bestimmende Bahn der letzteren ist indessen ziemlich klein. Um sie grösser zu erhalten, sind bei einer anderen Art Bourdon'scher Manometer zwei nach Kreisbögen von etwas weniger, als 180° , gekrümmte Röhren von ovalem Querschnitte angewendet, die einerseits in einer gemeinschaftlichen Fassung, durch welche die gespannte Flüssigkeit eintritt, festgehalten werden, während die geschlossenen anderen Enden durch Zugstangen gelenkartig mit den Enden eines doppel- und gleicharmigen Hebels verbunden sind. Die demselben dadurch ertheilte Drehung wird durch einen fest mit ihm verbundenen Zahnbogen einem auf der Zeigerwelle sitzenden Zahnradchen und dadurch vergrössert dem Zeiger mitgetheilt.

Während die Eintheilung der Skala eines Metallmanometers von irgend welcher Art am besten durch Vergleichung mit einem Ventilmanometer (§. 184) oder für kleinere Drucke mit einem Flüssigkeitsmanometer (§. 183) geschehen kann, ist zur Controle nach zeitweiligem Gebrauche auch die bequemere Vergleichung mit einem anderen Metallmanometer ausreichend, welches als sogenanntes Controlmanometer

nur von Zeit zu Zeit zu solcher Vergleichung benutzt wird und deshalb den störenden und ändernden Einflüssen weniger, als ein in beständigem Dienste befindliches Gebrauchsmanometer unterworfen ist. Um die Zuverlässigkeit des Controlmanometers noch mehr zu erhöhen, pflegt es in demselben Gehäuse aus zwei gleichartigen Metallmanometern mit von einander unabhängigen Zeigern und Skalen combinirt zu werden. So lange dann unter dem Einflusse desselben Druckes die Angaben beider übereinstimmen, können dieselben mit um so grösserer Wahrscheinlichkeit als unverändert richtig gelten, je unwahrscheinlicher es sein würde, dass beide sich auf gleiche Weise in gleichem Maasse geändert haben sollten. —

Während bei allen bisher besprochenen Manometern nur die Möglichkeit augenblicklicher Ablesungen berücksichtigt war, kann es unter Umständen erwünscht sein, den von Zeit zu Zeit vorhandenen Manometerstand selbstthätig durch ein Registrirwerk dauernd zu beliebig späterer Ablesung markiren zu lassen. Wenn z. B. der Zeiger eines Metallmanometers leicht biegsam hergestellt und an der Spitze rechtwinklig gegen die Skala hin umgebogen ist, so lässt sich bei mässiger Grösse des Zeigerausschlagwinkels, entsprechend einer mässig langen flach bogenförmigen Bahn b seiner Spitze B , leicht eine Einrichtung treffen, vermittels welcher durch ein Uhrwerk in gleichen Zeitintervallen Δt der Zeiger durch eine Schiene stossweise so gebogen wird, dass seine umgebogene Spitze gegen die Skala angedrückt und gleich darauf durch Federkraft wieder zurückbewegt wird. Ist dann ferner die Bahn b als eine Folge congruenter und paralleler Curven $b_1, b_2, b_3 \dots$ in gleichen Abständen auf einem Papierstreifen verzeichnet, der durch dasselbe Uhrwerk gleichförmig so bewegt wird, dass je nach den Zeitintervallen Δt eine nach der anderen dieser Curven der Zeigerspitze B gegenüberliegt, so ist einleuchtend, wie dadurch eine beliebige Reihe von zusammengehörigen Zeiten und Manometerständen registriert werden kann. Bezügliche Einzelheiten sind Sache der constructiven Ausführung.