II. Allgemeine Theorie der Wagemanometer.

Von Dr. **Paul Schreiber.**

Mit Tafel I.

In den nachstehenden Zeilen handelt es sich nur darum, in möglichst kurzer Form eine Darstellung der Wirkungsweise der von mir als „Wagemanometer" bezeichneten Vorrichtung zu geben. Vor 20 bis 30 Jahren habe ich mehrere Arbeiten hierüber — namentlich in „Carls Repertorium der Experimentalphysik usw." — veröffentlicht. Auch vor und mit mir haben sich andere Forscher mit der Frage beschäftigt, es würde aber nicht möglich sein, hier eine auch nur kurze geschichtliche Darlegung zu geben und dabei auf die Leistungen der einzelnen Forscher — wie Sprung, Wild, Radau, Secchi usw. — einzugehen.

Auf Tafel I habe ich eine Vorrichtung dargestellt, in der eine grofse Zahl der verschiedenen Formen, welche das Wagemanometer annehmen kann, als Spezialfälle enthalten sind. Bei der Zeichnung wurden alle Gröfsenverhältnisse unberücksichtigt gelassen, sie wurde so angelegt, dafs man aus ihr die folgenden Formeln sofort ablesen kann.

Man denke sich links eine Glasröhre, welche oben aus einem weiten Zylinder (Kammer), unten aus einem engeren Rohr (das am unteren Ende aufsen gut zylindrisch ist) besteht, an einem Wagebalken aufgehängt. Es ist dies die Manometerröhre. Die Drehachse des Wagebalkens liegt um ζ_0 über der Nullebene; nach der Zeichnung zeigt der Wagebalken den Ausschlag ζ (positiv nach oben). Die Manometerröhre ragt in den Trog hinein, welcher aus Eisen hergestellt ist und oben aus einem sehr weiten Zylinder besteht, während der untere Teil eben nur so weit zu sein braucht, als zur freien Bewegung der Manometerröhre nötig ist.

Der Trog hängt ebenfalls an einem Wagebalken und zwar soll die Schneide im Niveau des oberen Trograndes liegen, während die Drehachse des Wagebalkens um ξ_0 über der Nullebene sich befindet. Nach der Zeichnung ist der Ausschlag $+\xi$. Durch den Trogboden ragt eine Röhre (Glas oder Eisen) in die Manometerröhre hinauf. Die Fortsetzung dieser Zuleitungsröhre nach unten mufs man sich sehr biegsam und so gestaltet vorstellen, dafs sie als konstanter Teil des Troggewichtes betrachtet werden darf und der Bewegung des Troges kein merkliches Hindernis entgegenstellt.

Der Trog und der untere Teil der Manometerröhre (bis zur Höhe y) enthalten Quecksilber. Darüber befindet sich in der letzteren die „Zwischenflüssigkeit" (Petroleum oder Luft), welche durch die Zuleitungsröhre sich nach dem oberen Teil der „Taucherglocke" fortsetzt. Die Taucherglocke steht im Wasser. Die äufsere Oberfläche des Wassers befindet sich in der Höhe $H_0 + H$, die innere Oberfläche (in der Glocke also die Grenzschicht zwischen Wasser und Zwischenflüssigkeit) in der Höhe y'.

Zuerst wird es sich darum handeln, die Bedingungen des Gleichgewichtes des ganzen Systems aufzusuchen.

Dann wird die Frage entstehen, welche Bewegungen die an den Wagebalken aufgehängten Teile des Wagemanometers ausführen, wenn man in das Bassin rechts Wasser eingiefst oder wenn Änderungen im Luftdruck und der Temperatur eintreten. Man wird also zu fragen haben, ob es möglich ist, die Änderung in Stand H der Wasseroberfläche durch die Beobachtung der Ausschläge der beiden Wagebalken zu bestimmen. Dabei mufs aber unterschieden werden, ob als Zwischenflüssigkeit eine inkompressibele Flüssigkeit (welche leichter als Wasser sein mufs, sich mit diesem nicht mischen kann, keine chemische Wirkung auf Wasser und Quecksilber ausüben darf usw.) oder atmosphärische Luft Verwendung findet. Eine Flüssigkeit, welche den gestellten Anforderungen entspricht, eine geringe Dampfspannung und niederen Erstarrungspunkt — leider aber starke thermische Ausdehnung — hat, ist das Petroleum. Es soll deshalb weiterhin kurz nur von Petroleum oder Luft gesprochen werden, um das lange Wort „Zwischenflüssigkeit" zu vermeiden.

Zunächst sollen die Bezeichnungen für die in den Formeln auftretenden Gröfsen festgestellt werden.

Da wir gewöhnt sind, den Barometerstand in Millimetern Quecksilbersäule, Gewichte aber in Grammen zu messen, sollen als Längeneinheit das Millimeter, als Gewichts- oder Mafseneinheit das Gramm betrachtet werden. Es sollen also bedeuten

$\gamma = 13{,}6 \times 10^{-3}$ das Gewicht von 1 cbmm Quecksilber in Grammen,
$\varphi = 10^3 \times 0{,}0735$ das Volumen von 1 gr Quecksilber in cbmm,
$\gamma' = 0{,}8 \times 10^{-3}$ das Gewicht von 1 cbmm Petroleum in Grammen,
$\gamma'' =$ das Gewicht von 1 cbmm Luft in Grammen,
$\sigma = \gamma'/\gamma =$ Dichte des Petroleums bezogen auf Quecksilber,
$\sigma'' = \gamma''/\gamma =$ Dichte der Luft bezogen auf Quecksilber.

Die Gröfsen s bedeuten Spannungen im Innern des Manometers und der Glocke in Millimetern Quecksilbersäule. Die Gröfsen A, B, C, D, E, F, q und Q sind die Gewichte Quecksilber in Grammen, welche die betreffenden Röhren auf 1 mm Länge enthalten können.

Man kann nun die Beziehungen zwischen den aus Tafel I ersichtlichen Längen aufstellen. Dieselben sind

$$\text{I.}\quad \begin{array}{lll} \xi + \xi_0 = l_2 + l_1 + x & y = w_1 + l_3 + \lambda & \lambda = \vartheta_1 + x \\ \zeta + \zeta_0 = l_6 + l_4 + l_3 + \lambda & h = y - z & \lambda' = l_5 + x \\ \zeta + \zeta_0 = l_6 + w_2 + y & z = u + l_1 + x & \\ \zeta + \zeta_0 = l_6 + \vartheta_2 + \lambda' & z = \eta + \lambda & \end{array}$$
$$y = h' + y'.$$

Es sind dies 11 Gleichungen mit 16 Variabeln, man kann also durch ζ, ξ, y, z und y' sämtliche Hilfsgröfsen ausdrücken.

Die Spannungen s haben den nachstehenden Zusammenhang, wenn als Zwischenflüssigkeit Petroleum angewendet wird,

$$s_1 = s + w_2\sigma \qquad s'' = s' + (y' - H_0 - H)\varphi \qquad s_3 = b_1 + \eta$$
$$s_2 = s_1 + h \qquad s''' = s'' + H\varphi \qquad s''' = b_2 + H\varphi$$
$$s_3 = s_2 + \eta \qquad s' = s_1 + h'\sigma \qquad b_2 = b_1 + h'\sigma'',\text{*)}$$

hieraus folgt weiter

$$s_2 = b_1 \qquad s'' = b_2,$$

wie dies direkt hätte abgeleitet werden können.

Tritt nun Luft an Stelle des Petroleums, so hat man in den vorstehenden Formeln überall σ'' statt σ zu setzen. Das reicht aber eigentlich nicht aus, man müfste streng noch die Spannung des Wasserdampfes berücksichtigen. Hat die Vorrichtung überall gleiche Temperatur und treten alle Änderungen in dem Zustand der eingeschlossenen Luft sehr langsam auf, so bietet dies keine besonderen Schwierigkeiten, wird aber sehr umständlich bei raschen Zustandänderungen und starken Temperaturverschiedenheiten in den einzelnen Teilen der Vorrichtung.

Läfst man also der Einfachheit wegen die Wirkung des Wasserdampfes unberücksichtigt, so kann man auch $\sigma'' = 0$ setzen und bekommt

$$b_1 = b_2 = b.$$

Somit erhält man als Druckgleichungen:

II.

A. Petroleum.

$$s_1 = s + w_2\sigma \qquad s'' = s' + (y' - H_0 - H)\varphi = b \qquad s' = s_1 + h'\sigma.$$
$$s_2 = s_1 + h = b \qquad s''' = b + H\varphi$$
$$s_3 = b + \eta$$

B. Luft.

$$s_1 = s$$
$$s_2 = s + h = b \qquad s'' = s' + (y' - H_0 - H)\varphi = b \qquad s' = s.$$
$$s_3 = b + \eta \qquad s''' = b + H\varphi$$

Das Wagemanometer.

Wenn man mit P_1 und P_2 die Zugkräfte bezeichnet, welche die Manometerröhre und der Trog auf ihre Befestigungspunkte ausüben und wenn G_1 und G_2 die Gewichte der Röhre und des Troges allein bedeuten, so erhält man die folgenden Gewichtsgleichungen:

$$P_1 = G_1 + Bb - Cs + (C - A)(s_1 + w_1) - (B - A)\,s_3$$
$$P_2 = G_2 + (E - D)\,u + (D - B)\,(u + l_1) + (B - F)\,(s_3 + \vartheta_1) + F(s + \vartheta_2\sigma) - Bb.$$

Hierzu ist folgendes erläuternd zu bemerken. Die horizontale Wirkung der den ganzen Apparat umgebenden Luft ist überall ausgeglichen. Bezüglich der vertikalen Wirkungen des Luftdruckes ist dies bei allen den Teilen sofort zu ersehen, welche aufserhalb des Zylinders vom Querschnitt B sich befinden. In den Formeln erscheint daher als $+Bb$ der Druck auf die obere Fläche der Röhre (nach unten gerichtet) und als $-Bb$ der nach oben wirkende Druck auf die untere Fläche des Troges. Die Bedeutung aller anderen Glieder der Gewichtsgleichungen läfst sich aus der Zeichnung mit leichter Mühe erkennen.

Zur vollständigen Feststellung des Zustandes der Vorrichtung hat man nun noch die Mafsengleichung für das Quecksilber nötig.

---

*) Angenähert.

Mit M_1 soll das Gewicht des Quecksilbers bezeichnet werden, welches von der Manometerröhre umgeben ist, während M_2 den sich im Trog befindlichen Teil und M das Gesamtgewicht bedeuten sollen.

Man erhält nach der Zeichnung

$$M_1 = (C - F)w_1 + (A - F)l_3$$
$$M_2 = (E - D)u + (D - B)\eta + (D - F)\vartheta_1$$
$$M = M_1 + M_2 = Eu + Dl_1 + (C - F)w_1 + (A - F)(h - w_1) - (B - A)\eta - F(u + l_1).$$

Die Kombination der zwei Gewichtsgleichungen mit diesen Masfsengleichungen ergibt die nachstehenden interessanten Gleichungen:

$$P_1 = G_1 + M_1 + F(l_3 + w_1) + Cw_2\sigma - B\eta$$
$$P_2 = G_2 + M_2 - F(l_3 + w_1) - F(w_2 - \vartheta_2)\sigma + B\eta$$
$$P_1 + P_2 = G_1 + G_2 + M + (C - F)w_2\sigma + F\vartheta_2\sigma.$$

Der Ausdruck $M_1 + F(l_3 + w_1)$ bedeutet das Quecksilbergewicht, welches die Manometerröhre vom offenen Ende an bis zum Stand w_1 in der Kammer aufnehmen kann, also einen Wert, der durch Auswägen mit Quecksilber gefunden werden kann. Wächst F, so wird M_1 um $\triangle M_1$ kleiner derart, dafs $(F + \triangle F)(l_3 + w_1) = M_1 - \triangle M_1$ sein mufs. $Cw_2\sigma$ ist das Gewicht Petroleum, welches die Kammer auf die Länge w_2 aufnehmen kann.

Ob die Zuleitungsröhre in diesen Raum hineinragt oder nicht, wie weit dies geschieht und wie grofs F ist, das ist auf den Zug P_1 sonach ohne jeden Einflufs.

Man kann also die Gleichung für P_1 folgendermafsen durch Worte ausdrücken:

„Die Zugkraft P_1 des Manometerrohres am Aufhängungspunkt ist gleich dem Gewicht der Röhre mit Zubehör vermehrt um das Gewicht der Flüssigkeit, welches die Röhre bei $F =$ Null fassen könnte, und vermindert um den Auftrieb, den das eingetauchte massiv gedachte Rohrstück im Quecksilber erfährt."

Was den Zug P_2 des Troges anlangt, so stellt $G_2 + M_2 + B\eta$ den Zug dar, den der Trog ausüben würde, wenn die Röhre nicht vorhanden, der Trog aber bis zur Höhe u mit Quecksilber gefüllt wäre. Taucht aber die Manometerröhre ein und geht in derselben das Zuleitungsrohr bis zur Höhe $l_3 + w_1 + (w_2 - \vartheta_2)$ in die Höhe, so ist P_2 um das Gewicht der von dem Zuleitungsrohr innerhalb der Manometerröhre verdrängten Flüssigkeit (Quecksilber und Petroleum) kleiner.

Die Summe $P_1 + P_2$ der Zugkräfte ist — wie dies zu erwarten war — gleich der gesamten Mafse des ganzen beweglichen Systems.

Fehlt das Zuleitungsrohr und ist der obere Teil der Kammer luftleer (oder auch nur mit sehr verdünnter Luft gefüllt), so wird aus dem Wagemanometer ein Wagebarometer; es ist

$$F = 0 \quad \sigma = 0 \text{ und}$$
$$P_1 = G_1 + M_1 - B\eta$$
$$P_2 = G_2 + M_2 + B\eta$$
$$P_1 + P_2 = G_1 + G_2 + M.$$

Da für Messungen am Instrument die Variabelen ζ, ξ, y, z und y' in erster Linie geeignet sind und alle anderen in der Zeichnung eingeführten Hilfsvariabelen durch diese ausgedrückt werden können, müssen die bisher gewonnenen Gleichungen noch weiter umgearbeitet werden. Man erhält als Hauptgleichungen für das Wagemanometer zunächst

$$\text{III A.}\quad \begin{aligned} P_1 &= G_1-(C-A)\,l_3+C(l_4+l_3)\sigma-[C(1-\sigma)-B]\lambda+C(1-\sigma)y-Bz \\ P_2 &= G_2-(E-D)l_1-Fl_5\sigma \qquad -[E-F(1-\sigma)]\,x-F(1-\sigma)y+Ez \\ P_1+P_2 &= G_1+G_2+M+[C(l_4+l_3)-Fl_5]\sigma+C\sigma\lambda-F\sigma x-(C-F)\sigma y. \end{aligned}$$

Hierin erscheinen statt ζ und ξ noch λ und x, die aber nur durch (bei konstanter Temperatur) konstante Werte verschieden sind, wie dies sich aus dem Gleichungssystem I ergibt. Hierzu kommen nun noch die auf die Wirkungsweise der Wagebalken bezüglichen Gleichungen. In der Figur sind dieselben als gerade Hebel mit je zwei gleichlangen Armen dargestellt, wie sie — wenigstens in gleichwirkender Weise — vielfach praktisch Verwendung finden.

Die Gegengewichte Π_1 und Π_2 müssen dann P_1 resp. P_2 gleich sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll.

Man kann aber die Wagebalken auch so einrichten, dafs Π_1 und Π_2 Funktionen von ζ resp. ξ sind, dann wird also Gleichgewicht stattfinden, wenn

$$\text{III B.}\qquad \begin{aligned} P_1 &= \Pi_1 = f_1(\zeta) \\ P_2 &= \Pi_2 = f_2(\xi) \end{aligned}$$

sind.

Es sind dies 5 Gleichungen mit den Variabelen

$$P_1 \qquad P_2 \qquad \lambda = \zeta + \text{Konst.} \qquad x = \xi + \text{Konst.} \qquad y \text{ und } z,$$

man braucht also nur eine dieser Variabelen zu kennen, um den Zustand des Instrumentes bestimmt angeben zu können. Aus den Gleichungssystemen I und III kann man durch Differentiation die Bewegungsgleichungen ableiten. Bleibt die Temperatur unverändert, so können alle Dimensionen und spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten (mit Ausnahme der Luft) als konstant angenommen werden. Man erhält aus I

$$\text{III.}\quad \begin{aligned} dx &= d\lambda' = d\xi & dh &= dy - dz & dh' &= dy - dy' \\ d\lambda &= d\zeta & du &= dz - d\xi \\ dw_1 &= -dw_2 = dy - d\zeta & d\eta &= dz - d\zeta \\ d\vartheta_1 &= d\vartheta_2 = d\zeta - d\xi \end{aligned}$$

und aus III A und III B für Petroleum

$$\begin{aligned} dP_1 &= -[C(1-\sigma)-B]d\zeta \qquad + C(1-\sigma)dy - Bdz \\ dP_2 &= \qquad -[E-F(1-\sigma)]d\xi - F(1-\sigma)dy + Edz \\ dP_1+dP_2 &= +C\sigma d\zeta - \qquad F\sigma d\xi - (C-F)\sigma dy \\ d\Pi_1 &= dP_1 = -K_1 d\zeta \\ d\Pi_2 &= dP_2 = -K_2 d\xi. \end{aligned}$$

Die Auflösung der letzten 5 Gleichungen liefert die Ausdrücke für

$$\frac{d\xi}{d\zeta},\quad \frac{dy}{d\zeta},\quad \frac{dz}{d\zeta},\quad \text{also auch}\quad \frac{dy}{d\xi}\quad \text{und}\quad \frac{dz}{d\xi}.$$

Sind die mit K_1 und K_2 bezeichneten Differentialquotienten $d\Pi_1/d\zeta$ und $d\Pi_2/d\xi$ voll oder nahezu konstant, so erhält man für die obigen Differentialquotienten Ausdrücke, in denen nur konstante durch Beobachtung gegebene Gröfsen auftreten, die also sofort integrabel sind. Anders wird dies aber, wenn K_1 und K_2 als Funktionen von ζ resp. ξ auftreten oder auch die Kammer der Manometerröhre wesentlich von der vorausgesetzten Zylinderform abweicht.

Hat man also die Stellungen ζ_1 und ζ_2 des oberen Wagebalkens beobachtet und kennt die zu ζ_1 gehörigen Werte ξ_1, y_1 und z_1, so erhält man meist

$$\xi_2 = \xi_1 + \text{Konst.}_1 (\zeta_2 - \zeta_1)$$
$$y_2 = y_1 + \text{Konst.}_2 (\zeta_2 - \zeta_1)$$
$$z_2 = z_1 + \text{Konst.}_3 (\zeta_2 - \zeta_1).$$

Mit diesen Gleichungen kann man die Gleichungen für die Hilfsgröfsen, deren jede eine besondere Bedeutung hat, aufstellen.

Unter diesen tritt die Hilfsgröfse $h = y - z$ hervor, welche durch die Gleichung

$$h_2 - h_1 = (\text{Konst.}_2 - \text{Konst.}_3)(\zeta_2 - \zeta_1) \qquad h_1 = y_1 - z_1$$

gegeben ist. Bei den gewöhnlichen Manometern wird h gemessen, es gibt die Gröfse $s_1 = b - h$, also die Spannung im Innern der Vorrichtung, mit der das Manometer in Verbindung steht, an der Stelle der inneren Kuppe des Quecksilbers an. Hierdurch wird der Name „Wagemanometer" für das auf Tafel I dargestellte Instrument, gleichgültig zu welchen Zwecken es dient, gerechtfertigt.

Wenn als Zwischenflüssigkeit Luft verwendet wird, so gestalten sich die Gleichungen einfacher und ergeben

$$dP_1 = -(C-B)\,d\zeta \qquad + C\,dy - B\,dz$$
$$dP_2 = \qquad -(E-F)\,d\xi - F\,dy + E\,dz$$
$$dP_1 + dP_2 = \text{Null}$$
$$dP_1 = -K_1\,d\zeta$$
$$dP_2 = -K_2\,d\xi.$$

Wenn man nun auf das Gleichungssystem II übergeht und dieses differenziiert, so erhält man

A. Petroleum.

$$ds_1 = ds + \sigma\,dw_2 \qquad ds'' = ds' + \varphi\,dy' - \varphi\,dH = db \qquad ds' = ds_1 + \sigma\,dh'$$
$$ds_2 = ds_1 + dh = db \qquad ds''' = db + \varphi\,dH$$
$$ds_3 = db + d\eta$$

B. Luft.

$$ds_1 = ds$$
$$ds_2 = ds + dh = db \qquad ds'' = ds' + \varphi\,dy' - \varphi\,dH = db \qquad ds' = ds,$$
$$ds_3 = db + d\eta \qquad ds''' = db + \varphi\,dH$$

wozu noch

$$dh' = dy - dy'$$

nach den Gleichungen I kommt. Hieraus ergibt sich

A. Petroleum.	B. Luft.
$ds = db + dz - (1-\sigma)\,dy + \sigma\,d\zeta$	$ds = db - dh$
$ds' = db + dz - (1-\sigma)\,dy - \sigma\,dy'$	$ds' = db - dh$
$dH = \gamma\,dz - (\gamma-\gamma')\,dy + (1-\gamma')\,dy'$	$dH = -\gamma\,dh + dy'.$

Während also ds durch Barometer und Manometer vollständig gegeben ist, erfordert dH und bei Petroleum auch ds' die Kenntnis von dy'.

Um dieses zu finden, mufs auch für die Zwischenflüssigkeit eine Mafsengleichung aufgestellt werden.

A. Petroleum.

M' sei das Gewicht des ganzen im Apparat vorhandenen Petroleums, M_0' der konstante Teil desselben in der Zuleitungsröhre. Dann ist

IV A. $$M' = M_0' + C\sigma w_2 - F\sigma(w_2 - \vartheta_2) + q\sigma(l_7 - y').^{*)}$$

*) l_7 wurde in der Zeichnung vergessen, es bedeutet den Abstand des oberen Endes der Taucherglocke von der Nullebene.

B. Luft.

Das Gewicht von 1 cbm Luft in Kilogrammen bei s mm Spannung und der absoluten Temperatur T ist

$$\gamma'' = \frac{s}{2{,}153\ T}\ \text{kgr/cbm.}$$

Wir haben hier als Volumeinheit das cbmm und als Gewichtseinheit das Gramm eingeführt. Setzt man also

$$R = 2{,}153 \times 10^{+6},$$

so wird

$$\gamma'' = \frac{s}{RT}\ \text{Gramm pro cbmm}$$

sein. Näheres hierüber findet man in meiner Vorarbeit zum Jahrbuch 1903 der K. S. Landeswetterwarte.

Wird das Volumen der Luft im Apparat mit v bezeichnet, so ist

IV. $$M' = \frac{vs}{RT}\ \text{das Gewicht dieser Luft.}$$

Bezeichnet v_0 das Volumen der Zuleitungsröhre, so ist

$$v = v_0 + C\varphi w_2 - F\varphi\,(w_2 - \vartheta_2) + q\varphi\,(l_7 - y')$$

und man erhält

IV B. $$M' = \frac{s}{RT}\left(v_0 + C\varphi w_2 - F\varphi\,(w_2 - \vartheta_2) + q\varphi\,(l_7 - y')\right).$$

Die Formeln IV A und IV B können einer wesentlichen Umarbeitung unterzogen werden.

Wenn man nämlich das Gewicht M' durch das Gewicht der Zwischenflüssigkeit, welche in 1 Millimeter der Taucherglocke enthalten sein kann, dividiert, so erhält man die Höhe L des Zylinders vom Querschnitt der Taucherglocke, in welchem die ganze Menge M' der Zwischenflüssigkeit untergebracht werden kann. Es ist

V A. $$L = \frac{M'}{q\sigma}\ \text{bei Petroleum.}$$

V B. $$L = \frac{RT}{s} \cdot \frac{M'}{q\varphi}\ \text{bei Luft.}$$

Wird aufserdem noch

VI. $$\varrho = \frac{C}{q} \qquad \varrho' = \frac{F}{q}$$

gesetzt, werden also mit ϱ und ϱ' die Verhältnisse der Querschnitte der Kammer und der massiv gedachten Zuleitungsröhre zu dem Querschnitt der Taucherglocke bezeichnet, so erhält man die für alle Arten der Zwischenflüssigkeit gemeinsame Formel

V. $$L = L_0 + \varrho w_2 - \varrho'\,(w_2 - \vartheta_2) + l_7 - y'.$$

Man hat hierbei aber nur noch zu beachten, dafs bei Petroleum L eine Konstante ist, so lange sich die Temperatur nicht wesentlich ändert, bei Luft aber L als Funktion von s und T auftritt.

L_0 ist aber auch bei Luft als Konstante $v_0/q\varphi$ zu betrachten. Die Differentiation ergibt

VII. $dy' = \varrho\, dw_2 - \varrho'\, d\,(w_2 - \vartheta_2) - dL = \varrho\, d\zeta - \varrho'\, d\xi - (\varrho - \varrho')\, dy - dL.$

Hierin ist weiter nach II, sowie V A und V B

bei Petroleum $\quad dL = 0,$

bei Luft $\quad dL = -\dfrac{L}{s}\, ds = -\dfrac{L}{s}\, db + \dfrac{L}{s}\, dh.$

Man erhält also

A. Petroleum.

VII A. $$dy' = \varrho\, d\zeta - \varrho'\, d\xi - (\varrho - \varrho')\, dy,$$

B. Luft.

VII B. $$dy' = +\frac{L}{s}\, db + \varrho\, d\zeta - \varrho'\, d\xi - (\varrho - \varrho')\, dy - \frac{L}{s}\, dh,$$

und damit schliefslich

A. Petroleum.

VIII A. $$dH = \varrho(1-\gamma')\, d\zeta - \varrho'(1-\gamma')\, d\xi + \gamma\, dz - \left\{\gamma - \gamma' + (1-\gamma')(\varrho - \varrho')\right\} dy,$$

B. Luft.

VIII B. $$dH = \varrho\, d\zeta - \varrho'\, d\xi + \left(\gamma + \frac{L}{s}\right) dz - \left\{\gamma + \frac{L}{s} + (\varrho - \varrho')\right\} dy + \frac{L}{s}\, db.$$

Damit ist die Aufgabe noch nicht völlig gelöst.

Es war angenommen worden, dafs die Bewegung durch Eintreten von Wasser in das Bassin bedingt wird und die Aufgabe gestellt worden, diese Menge zu bestimmen.

Auch für das Wasser im Bassin läfst sich eine Mafsengleichung aufstellen, welche die sehr einfache nachstehende Form annimmt:

IX. $$M'' = (Q - q)\,\varphi\, H + q\varphi\, (y' - H - H_0).$$

Wie man sieht, ist hierbei das Gewicht des von dem Mantel der Taucherglocke verdrängten Wassers — was meist zulässig sein wird — vernachlässigt worden.

Dividiert man M'' durch $(Q - q)\,\varphi$, und setzt

$$\mu = \frac{M''}{(Q-q)\,\varphi} \qquad \frac{q}{Q-q} = \varrho'',$$

so wird μ die Höhe bedeuten, welche das ganze in dem Apparat befindliche Wasser in dem Raum vom Querschnitt $(Q - q)\,\varphi$ haben würde, während ϱ'' das Verhältnis des Querschnittes der Taucherglocke zu dem des Raumes aufserhalb derselben im Bassin darstellt. Man erhält dann:

IXa. $$\mu = H + \varrho''\,(y' - H - H_0) = (1 - \varrho'')\, H + \varrho''\, y' - \varrho''\, H_0,$$

X. $$d\mu = (1 - \varrho'')\, dH + \varrho''\, dy'.$$

In diese Gleichung hat man dann die unter VII und VIII gefundenen Ausdrücke für dy' und dH einzusetzen.

Es wird sich nach der vollen Lösung der gestellten und möglichst allgemein gehaltenen Aufgabe nunmehr noch darum handeln, mit tunlichster Kürze eine Übersicht der verschiedenen Zwecke zu geben, denen die Wagemanometer dienen können, und zu zeigen, wie dies geschehen kann.

Vorher ist aber festzustellen, dafs es keinen Zweck haben würde, wenn man — wie dies bisher angenommen worden war — die Manometerröhre und den Trog beweglich anordnen wollte, da die Bewegung beider in gesetzmäfsigem Zusammenhang steht. Man wird also entweder nur die Röhre oder nur den Trog beweglich einrichten, den anderen Teil aber festklemmen und es werden hierbei nur die Gründe der Zweckmäfsigkeit in Frage kommen. Die Einrichtung, welche man dem Wagebalken geben kann, läfst sich sehr verschieden treffen. Es soll angenommen werden, dafs das Gewicht Π, welches an der Stelle wirkt, wo Manometerröhre oder Trog befestigt werden, durch die Gleichung

1. $$\Pi = \Pi_0 - K\zeta \text{ oder}$$
$$\Pi = \Pi_0 - K\xi$$

gegeben ist, und es wird dabei festgestellt, dafs die Konstante K den Wert Null annehmen darf und auch negativ werden kann.

I. Das Wagebarometer.

Denkt man sich in Tafel I Wasserbassin, Taucherglocke und Zuleitungsröhre weggelassen und nimmt an, dafs der Raum w_2 vollständig luftleer sei, so erhält man ein Wagebarometer.

Gewöhnlich hat man bisher die Röhre beweglich eingerichtet. Setzt man in den Gleichungen III $F = 0$, $\sigma = 0$ und auch $s = 0$, so wird

$$dh = db$$

und man erhält streng

2. $$\frac{db}{d\zeta} = -\frac{(E + C - B)\,K - E\,(C - B)}{E\,C}.$$

Genau denselben Ausdruck bekommt man für $db/d\xi$, wenn die Röhre festgehalten und der Trog beweglich gemacht wird, nur erhält er das entgegengesetzte Vorzeichen.

Die Formel 2 läfst sich hinreichend genau schreiben

$$\frac{db}{d\zeta} = -\frac{(K + B) - C}{C},$$

wenn EC als sehr grofs gegen $K\,(C - B)$ betrachtet werden darf, was man bei der Konstruktion der Wagebarometer leicht erreichen kann. Man erhält dann in

$$\frac{d\zeta}{db} = -\frac{C}{(K + B) - C}$$

einen Ausdruck, welcher als die Bewegungsgröfse bedingt durch den Anstieg des Barometerstandes um 1 mm bezeichnet werden kann. Es ergibt sich daraus, wie man die drei Gröfsen K, B und C zu wählen hat, um eine gewünschte Bewegungsgröfse zu erreichen. Diese wird im allgemeinen mit dem Durchmesser der Kammer wachsen; aber einen noch gröfseren Einflufs hat die Differenz

$$(K + B) - C.$$

So lange diese positiv, also

$$(K + B) > C$$

ist, wird die Röhre bei steigendem Barometerstand sinken. Ist

$$K + B = C,$$

so bringt die geringste Schwankung im Barometerstand eine unendlich grofse Bewegung der Röhre hervor, während die Röhre mit dem Luftdruck steigt, wenn

$$K + B < C$$

ist. Untersucht man diese Angelegenheit näher, so findet man, dafs der Gleichgewichtszustand

stabil $>$
indifferent ist, wenn $K + B = C$
labil $<$

gewählt wird, also nur im ersteren Fall die Röhre bei einem gegebenen Barometerstand sich in der durch die Gleichung 2 gegebenen Stellung erhalten kann. Das Instrument mufs sonach so eingerichtet werden, dafs die Röhre bei steigendem Barometerstand sinkt.

Ist $K =$ Null, hat man also vielleicht die Röhre an einer leicht beweglichen Rolle mit konstantem Gegengewicht aufgehangen, so mufs der äufsere Durchmesser des in das Quecksilber tauchenden Rohrstückes (B) gröfser als der Durchmesser der Kammer sein. Am einfachsten erreicht man dies, wenn man $C = A$ macht, also ein gleichweites zylindrisches Rohr anwendet. Hierbei kommen aber noch andere Erwägungen in Frage. Die Wagemanometer sind bisher nur zur Registrierung des Luftdruckes eingerichtet worden, wozu sie sich besonders eignen, viel besser als alle anderen Barometerformen. Das Gleiten des Schreibstiftes auf dem Papier erfährt einen gewissen Widerstand, der durch die bewegende Kraft der Luftdruckänderung überwunden werden mufs. Nimmt man bei der Differentiation der etwas abgeänderten Gewichtsgleichungen $d\zeta = 0$ an, so erhält man für die bewegende Kraft folgende Formel:

$$\frac{dP_1}{db} = \frac{C}{1 + \frac{C - B}{E}} = C.$$

Das Instrument wird also um so kleinere Fehler bei der Registrierung der Luftdruckschwankungen — soweit nur die Reibungswiderstände zwischen Schreibstift und Papier in Frage kommen — machen, je gröfser der Durchmesser der Kammer ist. Um Quecksilber zu sparen, gibt man der Kammer nur die absolut nötige Länge und macht dann den unteren Teil der Röhre möglichst eng. Jedoch kann man auch in diesem Fall durch Ankitten eines genügend langen Zylinders aus Stahl oder Eisen die Bedingung $B > C$ erreichen. Dies führt noch auf eine weitere Frage, die hier wenigstens gestreift werden möchte. Wie bereits erwähnt wurde, treten Bewegungen im Instrument auch durch Temperaturänderungen ein und werden hauptsächlich durch die Ausdehnung der Flüssigkeiten bedingt. Da eine exakte Untersuchung des Temperatureinflusses nur bei Instrumenten, deren Einrichtung in allen Einzelheiten genau bekannt ist, stattfinden kann und selbst eine überschlägliche Ermittelung derselben ziemlich viel Rechnung erfordert, wurde diese Frage hier beiseite gelassen. Da aber bei den registrierenden Barometern der Temperatureinflufs von besonderer Bedeutung ist, sollen hier die Hauptsachen eingeschaltet werden.

Es macht dies nötig, auf den Fall einzugehen, bei dem in der Kammer sich Luft, wenn auch von nur sehr kleiner Spannung befindet. Die Gleichung 2 ist dann zu schreiben

$$\frac{dh}{d\zeta} = -\frac{(E+C-B)K - E(C-B)}{EC} = \text{Konst.},$$

da K als konstant vorausgesetzt wurde. Die hieraus folgende Gleichung

$$h = h_0 - \text{Konst.}\,\zeta = b - s$$

ergibt also durch h die Differenz zwischen dem Luftdruck b und der Spannung s der in der Kammer sich noch befindenden Luft. Ist v_0 das Volumen der Kammer, so ist das Volumen der Luft

$$v_0 - C\varphi w_1,$$

worin w_1 nach dem Gleichungssystem III als lineare Funktion von ζ — wie h — dargestellt werden kann. Ist weiter Γ das Gewicht der Luft in der Kammer, so bekommt man nach IV

$$s = \frac{\Gamma . R . T}{v_0 - C\varphi w_1}$$

und kann somit für jeden Wert von ζ den zugehörigen Barometerstand nach der Formel

$$b = h + s$$

berechnen.

Wenn nun das Instrument bei dem Barometerstand b und der Temperatur 0° C. ($T = 273$) einen bekannten Zustand hat und man erwärmt dasselbe bei unverändertem Luftdruck, so tritt eine nach der Formel

$$\frac{d\zeta}{dt} = -\frac{K_1 - \frac{C-B}{E}K_2}{\left(1 + \frac{C-B}{E}\right)K - (C-B)}$$

zu berechnende Bewegung ein. Hierin sind K_1 und K_2 zwei Koeffizienten, welche von b, s und den Instrumentalkonstanten abhängen. Läſst man die Ausdehnung der festen Bestandteile unberücksichtigt und bezeichnet den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers mit α, so erhält man

$$K_1 = (Cb + G_1 - P_1)\alpha - C\frac{s}{273}$$

$$K_2 = -(M + G_1 - P_1)\alpha.$$

Es ist nun klar, daſs man dem Wert s durch passende Wahl von Γ jede beliebige Gröſse geben kann. Man kann es also auch einrichten, daſs

$$K_1 = \frac{C-B}{E}K_2$$

ist, in welchem Fall dann

$$\frac{d\zeta}{dt} = \text{Null}$$

wird, im Instrument also alle Temperatureinflüsse „kompensiert" sind.

Allerdings setzt die praktische Anwendung dieser Methode ein so groſses Volumen des Luftraumes der Kammer voraus, daſs s bei allen vorkommenden Barometerständen nahezu denselben Wert behält, was aber sich bequem und hinreichend genau erzielen läſst.

Da $\frac{C-B}{E}$ meist sehr klein ist, kann als Kompensationsbedingung auch

$$K_1 = \text{Null}$$

betrachtet werden. Ist die Barometerröhre gleichweit, also ist $C = A$, so ist nach Seite 10

$$P_1 - G_1 = M_1 - B\eta = C(h+\eta) - B\eta.$$

Somit wird

$$K_1 = \left(Ch + Cs - Ch + (B-C)\eta\right)\alpha - C\frac{s}{273}.$$

Wenn in diesem Fall das Barometer vollständig luftleer ist, hat man $s =$ Null zu setzen und erhält

$$K_1 = (B-C)\eta\alpha,$$

worin $(B-C)\eta$ das Gewicht des von dem eingetauchten Rohrstück verdrängten Quecksilbers bedeutet.

Ist die Barometerröhre sehr dünnwandig und taucht sie nur wenig in das Quecksilber des Troges ein, so ist also K_1 sehr klein und das Barometer sehr nahe kompensiert. Dies hat Veranlassung zur Konstruktion des Sprungschen Laufgewichtsbarographen gegeben und wird als dessen Hauptvorzug bezeichnet.

II. Das Wagemanometer für Gasdruck.

Läfst man in Tafel I nur das Wasserbassin weg, nimmt an, dafs die Taucherglocke geschlossen sei und nur Luft oder irgend ein anderes Gas enthalte, so wird im Innern der Glocke oder jetzt des Luftgefäfses (Rezipient) die Spannung s herrschen und es wird

$$s = b - h$$

sein. Die Gröfse von b liefert das Barometer und den Wert

$$h = h_0 + \text{Konst.}\,\zeta$$

das Wagemanometer. Die Konstante ist bestimmt durch

3. $$\text{Konst.} = \frac{dh}{d\zeta} = -\frac{K[E+C-B-F] - (C-B)(E-F)}{C(E-F) - F(C-B)}.$$

Man erkennt, dafs der Ausdruck 3 mit dem Ausdruck 2 identisch wird, wenn man (in 3) $F = 0$ setzt.

III. Das Wagemanometer als Luftthermometer.

Kennt man das Gewicht Γ der Luft in dem abgeschlossenen Luftraum, mit dem das Wagemanometer in Verbindung steht, so kann man aus der Spannung s und dem Volumen v die Temperatur ableiten. Man erhält nach IV

$$v = v_0 + C\varphi w_2 - F\varphi(w_2 - \vartheta_2) + q\varphi l_7$$

$$T = \frac{vs}{\Gamma . R}.$$

Die hier auftretenden Gröfsen w_2 und $(w_2 - \vartheta_2)$ sind lineare Funktionen von ζ, welche nach den Gleichungen I oder III bestimmt werden können. Ist die Temperatur nicht in allen Teilen des Apparates dieselbe, so hat man v in mehrere Teile zu zerlegen. Wenn z. B. die Temperatur des Manometers T_1, die mittlere Temperatur in der Zuleitungsröhre T_2 und die Temperatur in der Glocke T wäre, so würde Formel IV

$$\Gamma R = s\left[\frac{C\varphi w_2 - F\varphi(w_2 - \vartheta_2)}{T_1} + \frac{v_0}{T_2} + \frac{q\varphi l_7}{T}\right]$$

zu schreiben sein. Meist wird es dann der Wert T sein, um dessen Bestimmung es sich mit Hilfe des Wagemanometers handelt. T_1 und T_2 müssen auf andere Weise ermittelt werden.

IV. Wagemanometer als Wassermesser.

Bei den folgenden Einrichtungen soll angenommen werden, dafs das Manometerrohr aus einem einfachen zylindrischen Rohr — welches am besten aus Stahl (Mannesmannröhre) gemacht wird — besteht und dafs dieses Rohr festgehalten wird.

Der Trog wird beweglich eingerichtet.

Da aber dann die Zuleitungsröhre durch den Trog kaum zu brauchbaren Konstruktionen führen dürfte, soll weiter angenommen werden, dafs die Zuleitung nach dem Manometerrohr geführt wird und an der Stelle $\lambda' = l_5 + x$ einmündet. Dieses Zuleitungsrohr bildet dann eine konstante Erhöhung des Gewichtes G_1 und in den Formeln III ändert sich weiter nichts, als dafs man

$$d\lambda' = 0, \quad d\vartheta_2 = 0, \quad d\zeta = 0 \text{ und } F = 0$$

zu setzen hat.

Es kann nun weiter angenommen werden, dafs bei

$$h = 0 \qquad \xi = 0$$

ist, was auch

$$y_0 = z_0$$

ergibt. Dann erhält man

$$y = y_0 + \frac{BE + (E - B)K}{EC}\xi$$

$$4. \qquad z = y_0 + \frac{E - K}{E}\xi$$

$$h = \frac{K(E + C - B) - E(C - B)}{EC}\xi,$$

wobei bemerkenswert ist, dafs diese Formeln für alle Zwischenflüssigkeiten gelten. Weiter möchte hier noch kurz bemerkt werden, dafs h bei Minderdruck positiv gerechnet wurde und bei Überdruck negativ erscheint, es sinkt dann die Quecksilberkuppe in der Röhre unter das Niveau im Trog.

Wassermessungen selbst können sehr verschiedenartig sein. Zuerst kann man das in der Zeichnung vorausgesetzte Wasserbassin beibehalten. Dasselbe kann höher oder tiefer liegen als das Wagemanometer. Während es beliebig hoch gestellt werden kann und dies nur erfordert, dafs man die Röhre und den unteren Trogteil genügend lang macht, ist der Anordnung unter dem Wagemanometer bei Petroleum eine durch die Gröfse des Luftdruckes (zirka 12 m im günstigsten Fall) bedingte Grenze gesetzt, obwohl auch hier man sich helfen könnte. Man wird also zunächst an einen der Wasserbehälter denken können, wie sie bei allen Wasserleitungen, Wasserstationen für die Lokomotiven, in chemischen und anderen Fabriken usw. vorkommen. Der Apparat soll dann das zu- und abgehende Wasser angeben und zwar dadurch, dafs er alle Schwankungen in der Höhe H des Wasserspiegels durch das Wagemanometer registriert.

In solchen Fällen wird man als Zwischenflüssigkeit zwar stets Luft, aber nur selten Petroleum anwenden dürfen. Meist wird man als Zwischenflüssigkeit direkt das Wasser wirken lassen können.

Dann hat man in Formel VIII A $\gamma' = 1$ zu setzen. In dieser Formel und aufserdem in Formel VII A wird weiter

$$d\zeta = 0 \quad \varrho' = 0, \text{ sodafs diese und Formel X in der Gestalt}$$
$$dy' = -\varrho\, dy$$
$$dH = \gamma\, dz - (\gamma - 1)\, dy$$
$$d\mu = (1 - \varrho'')\, dH + \varrho''\, dy' = (1 - \varrho'')\, dH - \varrho\varrho''\, dy$$

erscheinen. Hierin ist also

$$\varrho'' = \frac{q}{Q - \gamma} \qquad \varrho\varrho'' = \frac{C}{Q - q}.$$

Da es in diesem Fall keinen Sinn haben würde, eine weite Taucherglocke in das Bassin einzustellen, sondern hierzu ein einfaches enges Rohr ausreicht, und auch Q meist sehr grofs gegen C sein wird, kann man $\varrho'' = \varrho\varrho'' = 0$ setzen und erhält

$$d\mu = dH = \gamma\, dz - (\gamma - 1)\, dy, \quad \text{woraus}$$
$$\mu - \mu_0 = H - H_0 = \gamma\, (z - y_0) - (\gamma - 1)\, (y - y_0)$$

folgt.

Wenn also $(Q - q)\, \varphi$ — der Querschnitt des Bassins — mit F bezeichnet wird und G das Gewicht des in das Bassin geflossenen Wassers bedeuten soll, so hat man

$$G = F\,(H - H_0) = F\Big(\gamma\,(z - y_0) - (\gamma - 1)\,(y - y_0)\Big) = \text{Konst.} \times \xi.$$

Der Wert der Konstanten bestimmt sich aus dem Gleichungssystem 4.

V. Das Wagemanometer als Regenmesser.

Wenn man das Bassin so einrichtet, dafs es das Regenwasser von einer möglichst grofsen Auffangefläche aufnimmt, so wird die Einrichtung unter IV auch als Regenmesser verwendet werden können.

Derartige Einrichtungen sind bereits mehrere in Tätigkeit, nur werden bei den von mir hergestellten Instrumenten statt des Wagemanometers Dosenfedermanometer verwendet, die ich auch bei sehr hoch stehenden Wasserbehältern in Anwendung bringe. Beim Regenmesser ist die Einschaltung von Petroleum oft empfehlenswert und hat sich — wenigstens im Winter — gut bewährt. Im Sommer empfiehlt es sich aber, das Petroleum wegen dessen grofsen Ausdehnungskoeffizienten wieder durch Wasser zu ersetzen.

VI. Der hydrostatische Pegel.

Die Einrichtung auf Tafel I stellt ohne weiteres einen hydrostatischen Pegel vor, wenn man sich das Wasserbassin als einen Flufs oder eine Talsperre oder irgend eine andere Wasseransammlung denkt, bei der es nur auf die Höhe des Wasserspiegels H ankommt. Aufserdem hat man das unter IV über die Einrichtung des Wagemanometers Gesagte zu berücksichtigen.

Als Zwischenflüssigkeit ist Petroleum (oder auch Wasser selbst) zu denken.

Da auch hier in den Formeln VII A und VIII A

$$d\zeta = 0 \text{ und } \varrho' = 0,$$

sowie in X

$$\varrho'' = 0\ (Q = \infty)$$

zu setzen sind, erhält man

$$dy' = -\varrho dy \qquad dH = \gamma dz - \left\{\gamma - \gamma' + (1-\gamma')\varrho\right\} dy.$$

Hier können zwei Spezialfälle erwähnt werden:

1. Es wird $q = C$, also $\varrho = 1$ gemacht, was $dy' = -dy \quad dH = \gamma dz - (\gamma - 1) dy$ ergibt. Oder es kann

2. q als sehr grofs gegen C angenommen werden, was

$$\varrho = 0 \qquad dy' = 0 \qquad dH = \gamma dz - (\gamma - \gamma') dy$$

liefert.

In jedem Fall lassen sich mit Hilfe der Gleichungen 4 $dH/d\xi$ und $dy'/d\xi$ als konstante Gröfsen berechnen, in denen aufser γ, γ' und ϱ nur noch K, E, C und B vorkommen.

Wenn man aber in derselben Vorrichtung das Petroleum durch Luft ersetzt denkt, so wird aus derselben

VII. ein Luftdruckpegel.

Die Gleichungen VII B, VIII B und X ergeben hier

$$dy' = \frac{L}{s} db - \varrho dy - \frac{L}{s} dh$$

$$dH = \left(\gamma + \frac{L}{s}\right) dz - \left\{\gamma + \frac{L}{s} + \varrho\right\} dy + \frac{L}{s} db$$

$$d\mu = dH.$$

Diese Gleichungen haben ein ganz anderes Aussehen als beim hydrostatischen Pegel. Zuerst fällt auf, dafs ein Glied erscheint, in dem die Luftdruckschwankungen zum Ausdruck kommen. Dann ersieht man, dafs die Gröfse $dH/d\xi$ keinen konstanten Wert haben kann, sondern sich mit s, also auch mit ξ ändert.

Jedoch lehren die Gleichungen auch, wie man es anfangen mufs, wenn man möglichste Konstanz des Quotienten $dH/d\xi$ erreichen und die Wirkung des Luftdruckes tunlichst klein machen will, womit auch die tunlichste Verminderung des Einflusses von Temperaturschwankungen erreicht werden kann.

Man wird diese Zwecke erreichen, wenn man L so klein und s so grofs als möglich macht, sodafs L/s so klein wird, als es die Umstände gestatten.

Was zunächst die Spannung s anlangt, so wird diese um so gröfser werden können, je tiefer die Taucherglocke unter dem Wasserspiegel sich befindet. Die Einrichtung, wie sie Tafel I zeigt, würde also ganz unzweckmäfsig sein, man würde die Glocke eingraben müssen, sodafs ihr oberes Ende noch unter dem tiefsten Stand des Wasserspiegels liegt.

Um L möglichst klein zu machen, mufs man den Querschnitt der Glocke so grofs als möglich einrichten, da

$$L = \frac{M'}{q\varphi} \cdot \frac{RT}{s}$$

gesetzt worden war und darf überhaupt nicht mehr Luft anwenden als absolut nötig ist. Die Grenze des Volumens der Glocke ist aber durch das Volumen der Luft im Manometer und in der Zuleitung, sowie die gröfste Schwankung im Wasserstand gegeben. Man hat dafür zu sorgen, dafs beim Anstieg des Wassers und der damit zusammenhängenden Zusammendrückung der Luft immer noch ein genügender Luftraum in der Glocke bleibt, auf keinen Fall aber das Wasser in die Rohrleitung gelangt. Müfste die Glocke einen sehr grofsen Durchmesser erhalten, wodurch sie sehr teuer werden könnte, so kann die Verwendung einer nur sehr wenig geneigten langen Röhre in Betracht gezogen werden. Es kann jedoch hier nicht auf alle in Frage kommenden Einzelheiten eingegangen werden.

Gelingt es, L/s so klein zu machen, dafs man es vernachlässigen darf, in welchem Fall dann auch ϱ stets weggelassen werden kann, so nehmen die Formeln die sehr einfache Gestalt

$$dy' \equiv \text{Null}$$
$$dH \equiv -\gamma dh$$

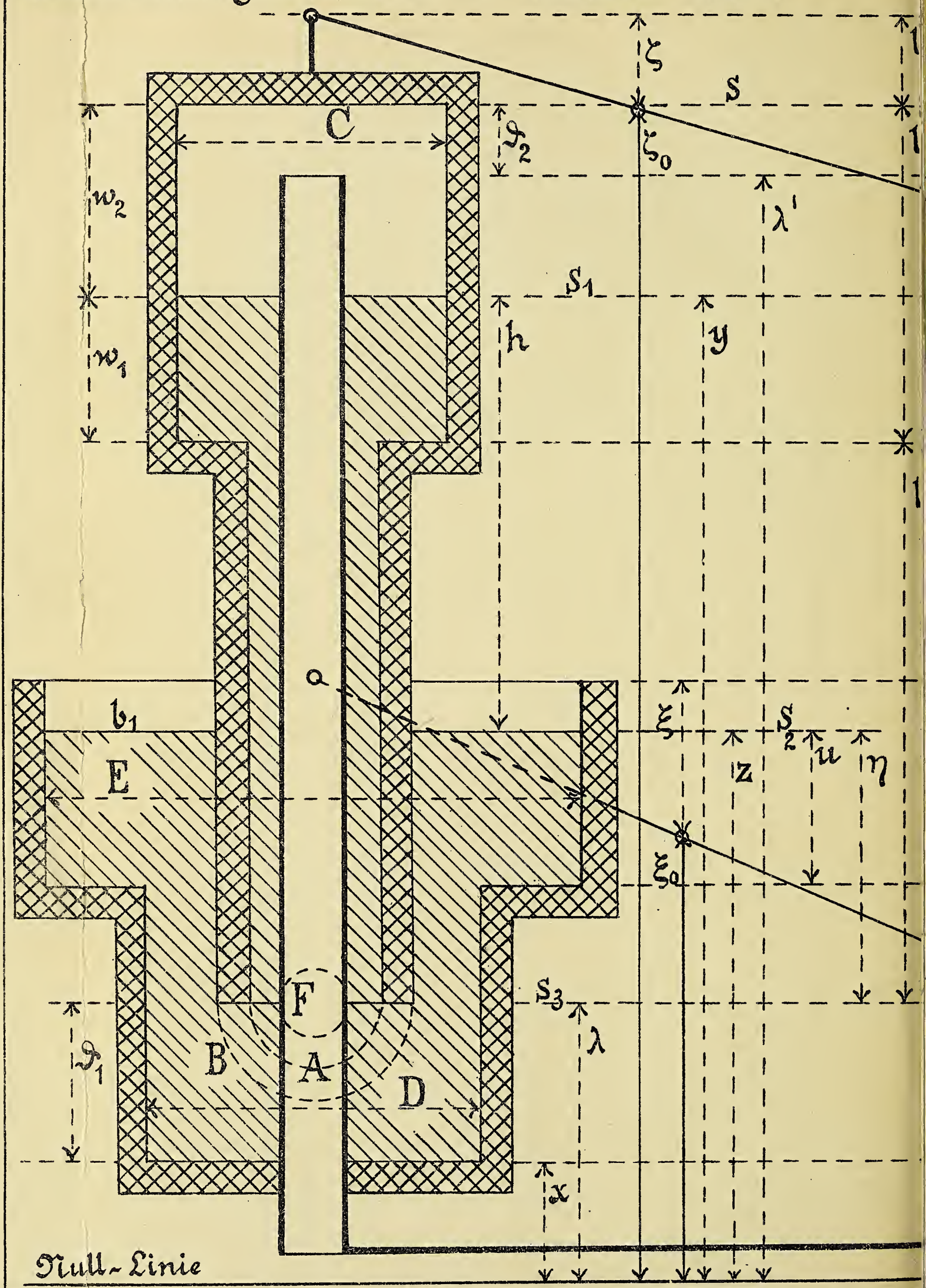
an.

Diese Darlegungen werden genügend zeigen, welcher weitgehenden Anwendungen das Prinzip des Wagemanometers fähig ist. Weitere Vorschläge habe ich in meinen früheren Arbeiten gemacht, habe aber zur Weiterverfolgung dieser Angelegenheit keine Zeit — und auch kein Geld gehabt.

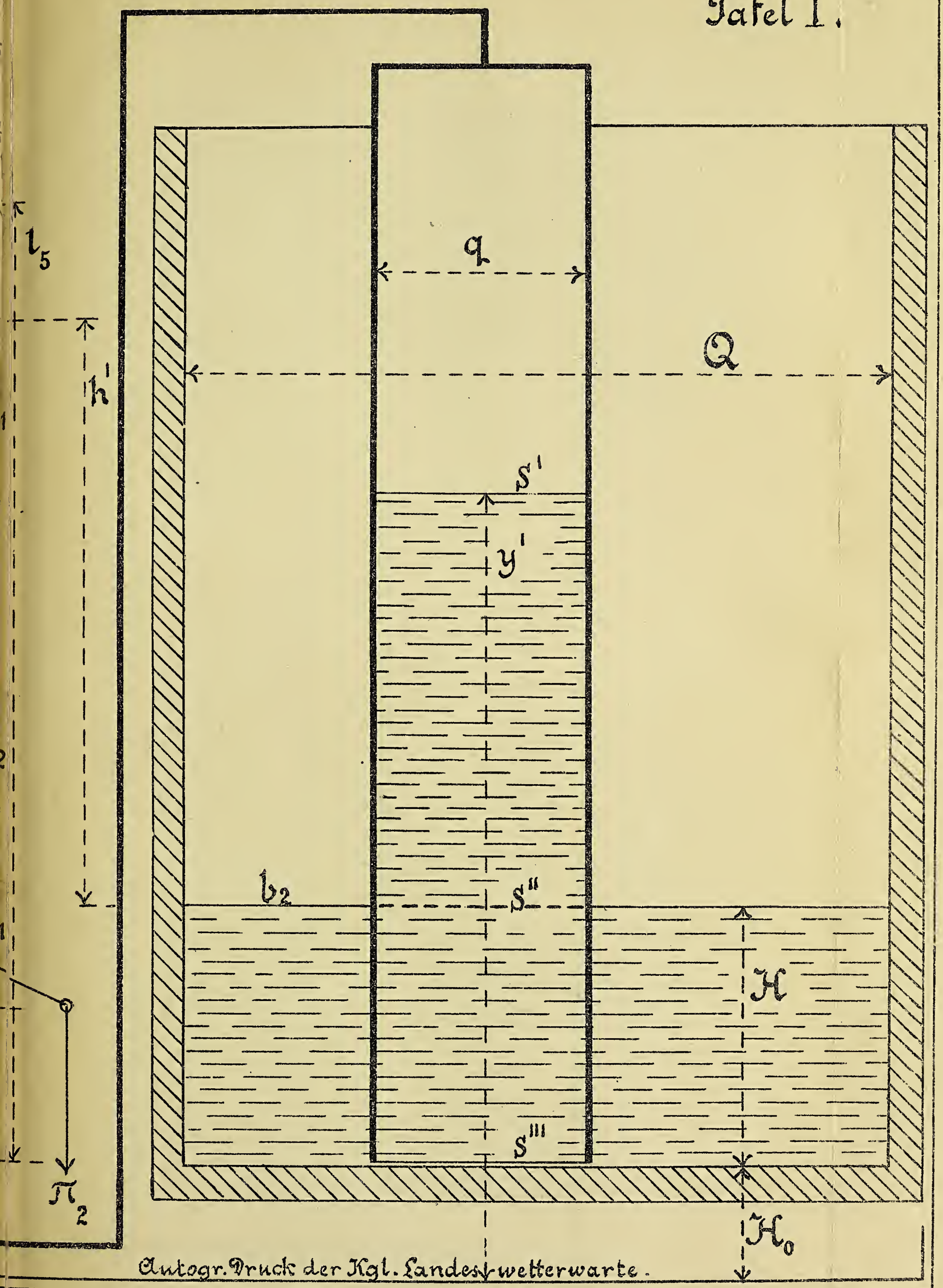
Ab

Nu

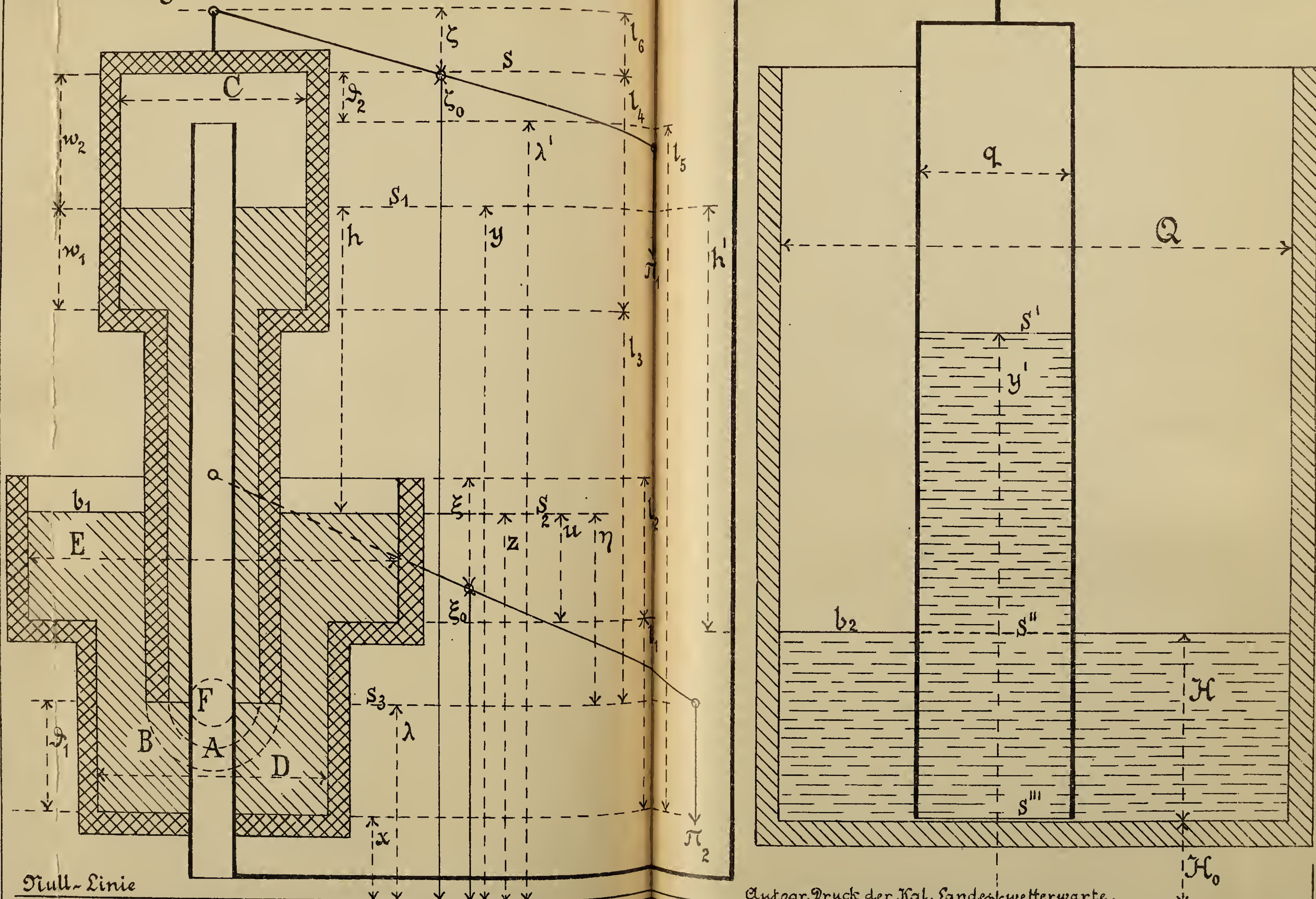
Abhandlungen der Isis in Dresden, 1908.



Tafel I.



Autogr. Druck der Kgl. Landes-wetterwarte.



Autogr. Druck der Kgl. Landes-wetterwarte.