

## **Werk**

**Jahr:** 1932

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:8

**Werk Id:** PPN101433392X\_0008

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X\\_0008](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0008) | LOG\_0037

## **Terms and Conditions**

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## **Contact**

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Ein statischer Schweremesser

(Zweite Mitteilung, Fortsetzung von Zeitschr. f. Geophys. VIII, S. 17, 1932)

Von **H. Haalek**, Potsdam — (Mit 3 Abbildungen)

8. Die Dimensionen des Instruments. 9. Die experimentelle Bestimmung der Skalenerwerte. 10. Die Arretier- und Einstellvorrichtung. 11. Die praktische Ausführung von Schwerkraftmessungen. 12. Messungsergebnisse.

**8. Die Dimensionen des Instruments.** Technisch bietet der Bau des statischen Schweremessers in dem gegenwärtigen Stand der Entwicklung keine besonderen Schwierigkeiten mehr. Freilich waren bis zur Erreichung des jetzigen Stadiums ganz erhebliche Hindernisse zu überwinden, besonders was die Sicherheit der Abdichtungen anbelangte, außerdem weil es sehr häufig vorkam, daß irgendwelche von den vielen Glasverbindungen sprangen, sei es infolge von Unglücksfällen oder sei es als Folge von Spannungen im Material. Doch können alle diese technischen Schwierigkeiten jetzt als vollkommen überwunden gelten. Die Füllung des Apparats und die Einstellung erfordern, wenn sie prinzipiell auch keine Schwierigkeiten bieten, doch eine gewisse Übung, da es infolge des hohen Überdruckes sehr leicht vorkommen kann, daß Flüssigkeit oder auch Quecksilber in die Räume  $v$  bzw.  $v'$  überfließt. Eine Reinigung kann dann nur nach vollständigem Auseinandernehmen des Apparats erfolgen. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, wollte man die vielen konstruktiven Einzelheiten des Instruments sowie die verschiedenen Versuche, welche damit angestellt worden sind, einzeln erörtern. Die Dimensionen des Apparats in dem jetzigen Zustand sind etwa folgende:

$$\begin{aligned} z - z' &= 130 \text{ cm.} \\ p &= 1000 = 73.5 \text{ cm Hg.} \\ p' &= 2650 = 195 \text{ cm Hg.} \\ v &= 2000 \text{ cm}^3. \\ v' &= 4600 \text{ cm}^3. \\ F &= 105 \text{ cm}^2. \\ q &= 0.01 \text{ cm}^2. \\ \sigma g &= 13.6 \text{ cm}^2 \text{ (Quecksilber).} \\ \sigma' g &= 0.885 \text{ cm}^2 \text{ (Toluol).} \end{aligned}$$

Die Grundgleichung (3), S. 21, des statischen Schweremessers, um aus den Verschiebungen  $dx$  und  $dx'$  der Flüssigkeitsmenisken den Schwereunterschied

berechnen zu können, läßt sich unter Berücksichtigung von S. 24 und 25 auf folgende Form bringen:

$$\left. \begin{aligned} dg &= C_1 dx' - C_2 dx, \\ \text{wobei gesetzt ist:} \\ C_1 &= \frac{g}{p' - p} \left\{ q \left[ \frac{p'}{v'} + \frac{(\sigma - \sigma') g}{F'} \right] + \sigma' g \cos \varphi' \right\} \\ C_2 &= \frac{g}{p' - p} \left\{ q \left[ \frac{p}{v} + \frac{(\sigma - \sigma') g}{F} \right] + \sigma g \cos \varphi \right\} \end{aligned} \right\} \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

(Da die Höhe der unteren Meßkapillaren der oberen gleich ist, muß  $\sigma - \sigma'$  statt  $\sigma$  eingesetzt werden.) Mit den obigen Werten erhält man

$$\begin{aligned} C_1 &= [4.15 + 527 \cos \varphi'] \cdot 10^{-3}, \\ C_2 &= [3.7 + 527 \cos \varphi] \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Kennt man also die genaue Neigung der Meßkapillaren gegen die Horizontale (d. h. Libelle 2), so findet man die Skalenwerte allein durch Rechnung aus den Dimensionen des Instruments. Findet man die Neigung mit Hilfe einer Aufsatzlibelle zu  $90 - \varphi = 90 - \varphi' = 30'$ , so ergeben sich also rechnerisch

$$\begin{aligned} C_1 &= 8.77 \cdot 10^{-3}, \\ C_2 &= 8.32 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Es gibt aber noch einen sehr einfachen Weg, um die Skalenwerte  $C_1$  und  $C_2$  experimentell zu ermitteln:

**9. Die experimentelle Bestimmung der Skalenwerte.** Das Verhältnis der Skalenwerte  $C_1/C_2$  läßt sich zunächst in einfacher Weise mit Hilfe der Verstellvorrichtung  $L$  finden. Für  $dg = 0$  folgt aus Gleichung (4):

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{dx}{dx'}.$$

Verstellt man die beiden Flüssigkeitsmenisken von dem einen Ende der Ablesekapillaren bis zum anderen Ende mittels der Verstellvorrichtung, so findet man also aus den Ausschlägen  $dx = x - x_0$  und  $dx' = x' - x'_0$  das Verhältnis  $C_1/C_2$ .

Beispiel:

| $x'$ | $x$  | $dx'$ | $dx$  |
|------|------|-------|-------|
| 15.9 | 16.1 | 13.3  | 14.0  |
| 2.6  | 2.1  | 13.2  | 13.8  |
| 15.8 | 15.9 | 13.3  | 13.9  |
| 2.5  | 2.0  | 13.2  | 13.9  |
| 15.7 | 15.9 | 13.1  | 14.1  |
| 2.6  | 1.8  | 13.1  | 14.1  |
| 15.7 | 15.9 | 13.0  | 13.7  |
| 2.7  | 2.2  | 13.17 | 13.94 |

Daraus folgt

$$C_1/C_2 = 1.06.$$

Die Bestimmung des Skalenwertes  $C_1$  erfolgt jetzt durch Neigung des Apparats mit Hilfe der Fußschraube I. Für eine Neigung um den Winkel  $\delta$  aus der Vertikalstellung heraus senkrecht zur Richtung der Ablesekapillaren gilt

$$dg = g(\cos \delta - 1)$$

oder, da  $\delta$  nur sehr klein bleibt:

$$dg = -g \frac{\delta^2}{2},$$

eingesetzt in Gleichung (4) folgt

$$C_1 = - \frac{g \delta^2}{2 \left( dx' - \frac{C_2}{C_1} dx \right)} \dots \dots \dots (5)$$

Da die Libellen nur relativ und nicht absolut die vertikale Stellung des Apparats angeben; muß der Apparat einmal mittels der Fußschraube I gehoben (+), das andere Mal gesenkt (—) werden. Für die Ausschläge  $dx'$  und  $dx$  nimmt man dann das Mittel aus den beiden Fällen.

Beispiel:

| $x'$ | $x$  | $n$  | $dx'$ | $dx$  |
|------|------|------|-------|-------|
| 10.1 | 10.0 | 0    | — 8.5 | + 8.9 |
| 1.6  | 18.9 | + 12 | — 7.9 | + 8.7 |
| 9.5  | 10.2 | 0    | — 8.6 | + 8.8 |
| 0.9  | 19.0 | — 12 | — 8.7 | + 8.8 |
| 9.6  | 10.2 | 0    | — 8.5 | + 8.8 |

( $n$  = Zahl der Umdrehungen der Fußschraube).  $n = 12$ , d. h.  $\delta = 12 \cdot 0.001443$  (nach S. 26), d. h.:

$$C_1 = 8.8 \cdot 10^{-3},$$
$$C_2 = 8.3 \cdot 10^{-3}.$$

Das Mittel aus einer Anzahl von Skalenwertsbestimmungen ergab

$$C_1 = 8.85 \cdot 10^{-3},$$
$$C_2 = 8.40 \cdot 10^{-3}.$$

Der experimentell ermittelte Skalenwert stimmt also mit dem rechnerisch aus den Dimensionen des Apparats gefundenen Wert sehr gut überein. Ein Milligal Schwereänderung entspricht demnach einer Verschiebung der beiden Flüssigkeitsmenisken um etwa 1.2 mm relativ zueinander.

Da die Skalenwerte nur von den Dimensionen abhängen, so bleiben sie unverändert konstant. Wegen ihrer Abhängigkeit von der Neigung der Ablesekapillaren ist die Libelle 2 besonders stabil zu befestigen und die Skalenwertsbestimmung von Zeit zu Zeit zu wiederholen.

**10. Die Arretier- und Einstellvorrichtung.** Die Arretiervorrichtung, mit Hilfe deren die Quecksilbermasse festgelegt wird, so daß ein Überfließen der Flüssigkeit in die Räume  $v$  bzw.  $v'$  und ebenfalls ein zu starkes Durchschütteln infolge der Erschütterungen beim Transport verhindert wird, ist denkbar einfach. Sie besteht lediglich darin, daß das Verbindungsrohr zwischen den beiden Quecksilbergefaßen einen Hahn enthält, der von außen her geöffnet und geschlossen werden kann.

Der Einfluß ungenügender Horizontierung auf die Messungen ist sehr gering, da die Neigung des Apparats nur mit dem Kosinus des Neigungswinkels in die Ablesung eingeht. Aus Gleichung (5) folgt in Verbindung mit Gleichung (4), daß eine Neigung um

$$\delta = \sqrt{2 \frac{dg}{g}}$$

aus der Vertikalstellung heraus einen Fehler von einem Milligal verursachen würde für

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.001}{981}} = 0.00143 = 5'.$$

Da die Neigung der Meßkapillaren aber von großem Einfluß auf die Stellung der Flüssigkeitsmenisken ist, so muß auf recht genaue Einstellung der Libelle 2 sorgfältig geachtet werden.

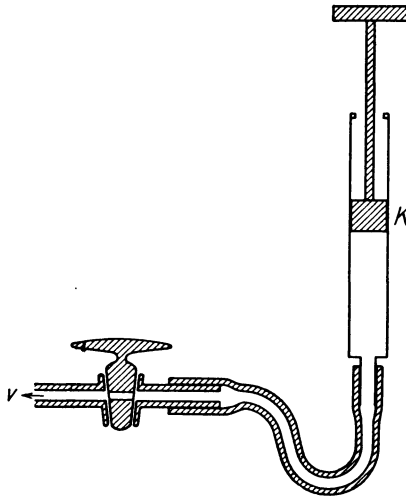


Fig. 6. Einstellvorrichtung

Der Ablesebereich ist für  $x'$  und  $x$  von 0 bis 18 cm. Aus Gleichung (4) folgt damit, daß Schwereunterschiede bis zu  $\pm 150$  Milligal gemessen werden können. Die Flüssigkeitsmenisken dürfen die angegebenen Grenzen nicht über-

schreiten, da sonst infolge der Änderung der Oberflächenspannung in der Nähe der Biegungen der Kapillaren große Fehler möglich sind.

Reicht die Skala für einen zu messenden Schwereunterschied nicht mehr aus, so lassen sich die Flüssigkeitsmenisken in einfacher Weise neu einstellen. Fig. 6 zeigt die Einstellvorrichtung. Der Raum  $v$  ist durch ein Glasrohr, welches durch einen Hahn abgeschlossen werden kann, mit einem Zylinder verbunden, in welchem ein Kolben  $K$  hin und her bewegt werden kann. Will man die Einstellung der Menisken verstellen, so öffnet man den Hahn und kann jetzt die Stellung der Menisken je nach Einstellung des Kolbens nach Belieben ändern. Haben die Menisken die gewünschte Einstellung erreicht, so schließt man vorsichtig den Hahn, wobei die Menisken im Moment des Schließens möglichst wenig in Bewegung sein dürfen, da diese erheblich nachwirkt.

Kommen also bei Messungsreisen Schwereunterschiede vor, welche den Skalenbereich überschreiten, so muß man die Messungen stufenweise ausführen und an einzelnen Punkten die Menisken verstellen, was leicht innerhalb weniger Minuten ausgeführt werden kann.

### 11. Die praktische Ausführung von Schwerkraftsmessungen im Gelände. Fig. 7

zeigt eine Ansicht des statischen Schweremessers ohne den äußeren Schutzmantel. Die Höhe des vollständigen Instruments beträgt etwa 180 cm, der Durchmesser 65 cm. Das Gewicht beträgt in meßfertigem Zustande — also mit Wasser und Eis gefüllt — etwa 6 Zentner. Das Instrument besitzt einen dicken Wärmeschutzmantel, um ein zu rasches Schmelzen des Eises zu verhindern. Während des Transports, aber auch stets, wenn der Apparat nicht unter Eis gehalten wird, muß die Arretiervorrichtung geschlossen bzw. der Kolben  $K$  möglichst zurückgezogen sein, da sonst leicht die Gefahr besteht, daß mal Flüssigkeit in die Räume  $v$  bzw.  $v'$  überfließt.

Soll der statische Schweremesser meßbereit gemacht werden, so geschieht es am besten ein bis zwei Tage vorher, ehe die Messungen begonnen werden, da nach dem Einfüllen des Eises und Wassers der erste Temperatenausgleich zwar sehr schnell vor sich geht, die letzte vollkommene Ausgleichung des ganzen Apparats auf  $0^{\circ}$  aber sehr lange Zeit in Anspruch nimmt. Nach einigen Stunden

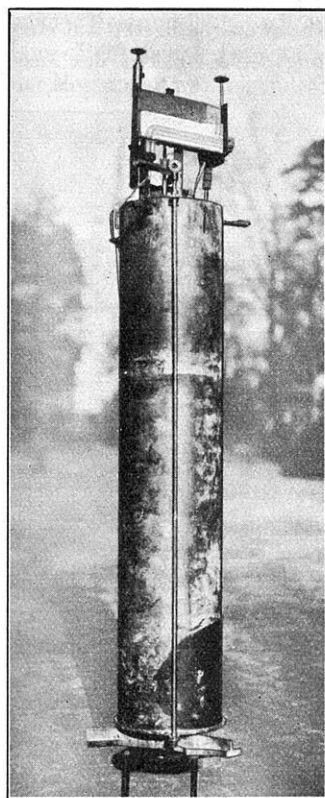


Fig. 7. Statischer Schweremesser (ohne Schutzgehäuse)

kann man nach vorsichtiger Desarretierung den Kolben *K* mittels der Schraube *L* hineinschrauben und die Menisken einstellen. An der Änderung der Einstellung kann man dann verfolgen, ob die Temperatur sich genügend ausgeglichen hat oder noch nicht. Am Morgen vor Beginn der Messungen kann man, nachdem man etwas Eis nachgefüllt hat, die Menisken einstellen und mit den Messungen beginnen. Ein Nachfüllen von Eis während des Tages, welches oben durch den Deckel erfolgen kann, hat sich bis jetzt auch im Sommer kaum als nötig erwiesen.

Für die Messungsreisen auf dem Festlande wird der statische Schweremesser am zweckmäßigsten auf ein Auto montiert, und zwar federnd aufgehängt. Fig. 8 zeigt eine Ansicht des Instruments in meßbereitem Zustand auf dem Wagen.



Fig. 8. Statischer Schweremesser in meßfertigem Zustande

Die Ausführung der Messungen geht sehr schnell vor sich und ist so einfach, daß sie ohne weiteres von jedem Nichtfachmann ausgeführt werden kann. Die Meßpunkte legt man am zweckmäßigsten so, daß die Höhe des Punktes über dem Meeresspiegel ohne weitere Nivellementsarbeiten den Meßtischblättern entnommen werden kann, was im allgemeinen stets möglich ist (z. B. an besonderen Punkten der Landstraßen, Brücken, Eisenbahnen, trigonometrischen Punkten usw.). An diesen Punkten hält das Auto an, man horizontalisiert das Instrument, löst die Arretierschraube, entfernt die Blasen in den Meßkapillaren mit Hilfe der Verstellvorrichtung (vgl. S. 24) und kann dann ablesen. Die Ablesungen werden einige Male wiederholt; die Unterschiede erweisen sich im allgemeinen als unwesentlich. Nach Arretierung des Instruments kann man dann zum nächsten Meßpunkt weiterfahren. Der gesamte Meßvorgang an einer Station dauert also günstigstenfalls nicht länger als 5 bis 10 Minuten. So nahm z. B. eine Messungsreihe Potsdam—

Treuenbrietzen (36 km, 6 Meßpunkte in durchschnittlich 7 km Abstand) im günstigsten Falle knapp 2 Stunden in Anspruch. Die Berechnungsarbeiten bestehen lediglich darin, daß man die Differenz der Ablesungen gegen diejenigen im Hauptpunkt bildet und mit dem Skalenwert multipliziert. Damit hat man dann den tatsächlichen Schwereunterschied; die weiteren Reduktionen der gemessenen Schwerewerte (auf Meeresniveau, Bouguersche Korrektion, Geländewirkung) sind ziemlich einfach und vom Instrument unabhängig.

**12. Messungsergebnisse.** Die erste vollständige Messungsfahrt wurde ausgeführt am 7. September 1931, und zwar von Potsdam—Rehbrücke—Drewitz—Potsdam—Treuenbrietzen und zurück. Das Ergebnis der Messungen war folgendes:

| Ort                     | $x'$ | $x$   | $dg$ (in Milligal)      |
|-------------------------|------|-------|-------------------------|
| Potsdam . . . . .       | 8.0  | 10.7  | + 1                     |
| Drewitz . . . . .       | 8.9  | 10.0  | + 17                    |
| Rehbrücke . . . . .     | 8.9  | 9.95  | + 16                    |
| Drewitz . . . . .       | 7.9  | 10.95 | — 2                     |
| Rehbrücke . . . . .     | 8.3  | 10.65 | + 4                     |
| Drewitz . . . . .       | 8.2  | 10.65 | + 4                     |
| Potsdam . . . . .       | 8.25 | 10.7  | + 3                     |
| Potsdam . . . . .       | 7.9  | 11.1  | — 4                     |
| Michendorf . . . . .    | 9.95 | 8.85  | + 39                    |
| Seddin . . . . .        | 8.4  | 10.4  | + 8                     |
| Beelitz . . . . .       | 7.3  | 11.9  | — 18                    |
| Buchholz . . . . .      | 7.55 | 11.4  | — 10                    |
| Treuenbrietzen. . . . . | 6.8  | 12.2  | — 26                    |
| Buchholz . . . . .      | 8.25 | 10.55 | + 5                     |
| Beelitz . . . . .       | 8.1  | 11.0  | 0                       |
| Seddin . . . . .        | 8.2  | 10.65 | + 3                     |
| Michendorf . . . . .    | 8.6  | 10.25 | + 11                    |
| Potsdam . . . . .       | 8.3  | 11.2  | — 1                     |
| Potsdam . . . . .       | 8.0  | 11.2  | — 4 (am folgenden Tag). |

$$x'_0 = 8.1$$

$$x_0 = 10.9$$

$$\text{Skalenwert } C_1 = C_2 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ cgs.}$$

Die Übereinstimmung der Wiederholungsmessungen ist folgende:

|                         | Mittelwert der Differenz<br>gegen Potsdam |      |     |     |     |           |
|-------------------------|---|------|-----|-----|-----|-----------|
| Potsdam . . . . .       | + 1                                       | + 3  | — 4 | — 1 | — 4 | $0 \pm 2$ |
| Rehbrücke . . . . .     | + 16                                      | + 4  |     |     |     | + 11      |
| Drewitz . . . . .       | + 17                                      | — 2  | + 4 |     |     | + 7       |
| Michendorf . . . . .    | + 39                                      | + 11 |     |     |     | + 26      |
| Seddin . . . . .        | + 8                                       | + 3  |     |     |     | + 6       |
| Beelitz . . . . .       | — 18                                      | 0    |     |     |     | — 8       |
| Buchholz . . . . .      | — 10                                      | + 5  |     |     |     | — 2       |
| Treuenbrietzen. . . . . | — 26                                      |      |     |     |     | — 25      |
|                         |   |      |     |     |     | $\pm 5$   |
|                         |   |      |     |     |     | $\pm 12$  |



Den vorhandenen Pendelmessungen nach sind die Schwerkraftsunterschiede gegen Potsdam ungefähr:

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Rehbrücke—Drewitz . . . . . | + 10 |
| Michendorf . . . . .        | + 8  |
| Treuenbrietzen. . . . .     | — 23 |

(umgerechnet auf die neue Instrumentenhöhe; außerdem stimmen die Punkte der Pendelmessungen nicht genau mit den Punkten der statischen Messungen überein). Innerhalb der gefundenen Unsicherheit stimmen die Werte also mit den Pendelmessungen überein, mit Ausnahme des beträchtlich herausfallenden ersten Wertes von Michendorf.

Seit dieser ersten Messungsfahrt im Gelände sind wiederholt Messungsreihen längs der Versuchsstrecke Potsdam—Treuenbrietzen ausgeführt worden, um das Ergebnis irgendwelcher Abänderungen am Instrument auszuprobieren. Eine wesentliche Verbesserung der Meßsicherheit haben diese bis jetzt aber noch nicht erkennen lassen. Als gesichert kann man bis jetzt nur ansehen, daß der statische Schweremesser bei Geländemessungen Schwereunterschiede mit einer Sicherheit von innerhalb etwa  $\pm 10$  Milligal anzeigt. Es ist sehr schwierig, herauszufinden, welches die Ursachen der noch vorhandenen Meßunsicherheit sind, da alle Vergleichsmöglichkeiten fehlen. Immerhin haben die bisherigen Versuche schon wesentliche Anhaltspunkte ergeben. Da die Laboratoriumsmessungen eine etwa den Pendelmessungen entsprechende Meßgenauigkeit zeigen (vgl. z. B. die Skalenergebnisbestimmungen), die Temperaturkompensation von den Erschütterungen des Transports aber nicht — zum mindesten nicht in der beobachteten Weise — beeinflußt werden kann, so ist anzunehmen, daß die Fehlerquelle in der Ablesevorrichtung zu suchen ist, welche eben durch die andauernden Erschütterungen beim Transport beeinflußt wird. Es sind nun noch in dieser Hinsicht eine ganze Anzahl von Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden, die einzeln ausprobiert werden müssen. Die Versuche werden mit Unterstützung aus den Mitteln der Deutschen Notgemeinschaft der Wissenschaft fortgesetzt. Über die weiteren Ergebnisse werde ich in einem späteren Aufsatz berichten.

---