

## 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\_0032

## 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)

## Abhandlung über die von den Askania-Werken erbaute Vertikal-Feldwaage von Schmidt

Von **Th. Koulomzine** und **A. Boesch** — (Mit 8 Abbildungen)

Die hier angeführte Abhandlung wurde Anfang 1931 verfaßt. Die Askania-Werke schufen unabhängig von unserer Studie ein neues Magnetsystem, dessen Unempfindlichkeit Temperaturveränderungen gegenüber höchst bemerkenswert ist. Andererseits, angeregt durch unsere theoretischen Betrachtungen über die Rotationsbewegung von 180°, bringt sie eine neue Stativvorrichtung mit gegenseitiger Unabhängigkeit der Orientations- und Drehungsbewegung in den Verkauf. Unsere Abhandlung hat also nur theoretische Bedeutung. Wir hoffen nächstens in einem folgenden Aufsatz die Theorie der Abänderungen, die die Firma Askania-Werke an den neuen Modellen der Vertikal-Feldwaage vornahm, auslegen zu können.

Zur Berechnung der lokalen Änderungen der vertikalen Komponente des Erdmagnetismus nach den Messungen mit der Vertikal-Feldwaage von Schmidt, bedient man sich folgender klassischen Formel:

$$\Delta Z = K \frac{nw + ne}{2} + m(t - t^0) - \text{V. d.} \dots \dots \dots (1)$$

Darin bedeuten:

- $\Delta Z$  den relativen Wert der vertikalen Komponente in  $\gamma$ ;
- $K$  die Skalenkonstante des Apparates in  $\gamma$  für eine Einheit derselben;
- $nw$  und  $ne$  die abgelesenen Werte, nachdem der Apparat nach dem magnetischen West-Osten bzw. Ost-Westen orientiert wurde;
- $m$  den Temperaturkoeffizienten in  $\gamma$  für 1° C;
- $t$  die Temperatur im Moment der Messung;
- $t^0$  eine beliebige konstante Temperatur; sei 0, 10, 20° je nach der Jahreszeit.
- V. d. die täglichen Änderungen der vertikalen Komponente im Moment der Messung. Diese Änderungen werden geliefert von einem magnetischen Observatorium in der Nähe der bearbeiteten Gegend oder von einem anderen Apparat, der fest bleibt während der Dauer der Messungen.

Die Erfahrung zeigt, daß — sind alle Vorsichtsmaßregeln getroffen —, wenn man an demselben Tage auf dieselbe Basisstation zurückkommt, man ungleiche Werte findet. Folglich, da definitionsgemäß der Wert der Basisstation gleich Null ist, muß man der Formel einen veränderlichen Faktor beifügen, den wir d. z. (déplacement du zéro) nennen.

Die Formel ergibt:

$$\Delta Z = K \frac{nw + ne}{2} + m(t - t^0) - \text{V. d.} - \text{d. z.} \dots \dots \dots (2)$$

Die Interpolation der Werte von d. z. zwischen zwei Messungen auf der Basisstation geschieht proportional, sei in bezug auf die Zeit oder auf die durchgange Strecke zwischen den verschiedenen Messungspunkten.

Die Praxis hat uns gezeigt, daß d. z. während eines Tages leicht zwischen 0 bis 20  $\gamma$  schwankt.

Doppelte Messungen, die vorgenommen wurden auf einer Anzahl Punkten mit der Korrektion d. z., ergaben eine Präzision von 5 bis 8  $\gamma$ . Jedoch die Empfindlichkeit des Apparates sollte größer sein.

Für einen gewöhnlichen Apparat haben wir:

$K = 25$  bis  $30 \gamma$ , bekannt mit einer Präzision von  $\pm 0.1 \gamma$ .

$m = 2$  bis  $10 \gamma$ , bekannt mit einer Präzision von  $\pm 1 \gamma$ .

Die Abesung von  $n$  geschieht mit einer Präzision von 0.1 der Skaleneinheit, diejenige der Temperatur mit einer Präzision von  $0.1^\circ \text{C}$ .

In diesen Verhältnissen wäre die oberste Grenze des möglichen Fehlens gleich:

$$\varepsilon \Delta Z = K \varepsilon n + n \varepsilon K + m \varepsilon (t - t^0) + (t - t^0) \varepsilon m . . . . . (3)$$

Diese Formel besteht aus zwei Teilen, der eine ist konstant (Index  $k$ ), der andere abhängig von den Änderungen von  $n$  und  $t$  (Index  $v$ ).

$$\begin{aligned} \varepsilon \Delta Z &= \varepsilon_k \Delta Z + \varepsilon_v \Delta Z; \\ \varepsilon_k \Delta Z &= K \varepsilon n + m \varepsilon (t - t^0); \\ \varepsilon_v \Delta Z &= n \varepsilon K + (t - t^0) \varepsilon m. \end{aligned}$$

Für die oben angegebenen mittleren Werte von  $K$  und  $m$  sollte der konstante Teil nicht 3 bis 4  $\gamma$  überschreiten; der veränderliche Teil hängt hauptsächlich von der Temperaturänderung ab. Jedoch benötigt die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten die Anwesenheit von wenigstens zwei Apparaten und gibt selten eine genügende Präzision.

Die Praxis zeigt, daß in der Wirklichkeit die Irrtümer bedeutend geringer sind, wenn die Apparate fest bleiben. Zwei Apparate, die auf demselben Punkt blieben und in denselben Temperaturbedingungen, zwecks Messung der täglichen Änderungen, ergaben Kurven von V. d., deren Differenz während eines Tages 1  $\gamma$  nicht überschritt.

Folglich ist es das fehlerhafte Aufsetzen des Apparates, welches den großen Teil des Irrtums und des d. z. verschuldet. Wir werden diese beiden Irrtumsursachen untersuchen.

1. Das Aufsetzen des Apparates.
2. Veränderlichkeit des Temperaturkoeffizienten.

Das Aufsetzen des Apparates. Man beweist, daß ein Orientationsfehler des Apparates sich gänzlich aufhebt, wenn man den Apparat um  $180^\circ$  dreht.

Sei  $WE$  die genaue magnetische Ost—West-Orientation,  $W'E'$  die irrtümliche Orientation,  $NS$  die magnetischen Pole des Apparates;  $\delta$  der Winkel dieser

beiden Orientationen;  $A$  das Rotationszentrum;  $G$  der Schwerpunkt des Systems;  $M$  das magnetische Moment des Systems;  $Z$  die vertikale Komponente;  $H$  die horizontale Komponente;  $\alpha$  der Winkel der magnetischen Achse, mit der horizontalen Ebene;  $Q$  das Gewicht des Systems;  $\gamma$  der Winkel der magnetischen Achse mit der Linie, die den Schwerpunkt mit dem Rotationszentrum verbindet (Fig. 1).

Setzen wir:

$$1 = \overline{AG}, \quad a = 1 \cos \gamma, \quad b = 1 \sin \gamma,$$

und ist  $\alpha$  gering, so ergibt sich folgende Differentialgleichung des Gleichgewichtes:

$$\Delta Z = + \frac{Qb}{M} \Delta \alpha + H \sin \delta \Delta \alpha + \frac{Q \Delta Z}{M} - Z \frac{\Delta M}{M} \dots (4)$$

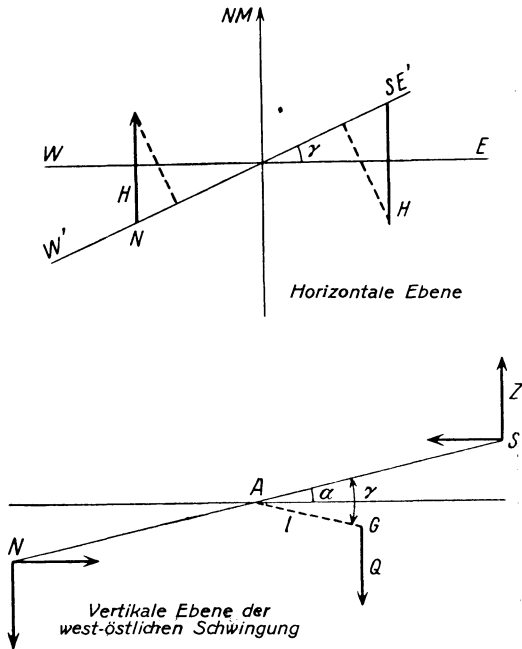


Fig. 1

Dreht man den Apparat um  $180^\circ$ , so behalten alle Teile dieser Gleichung ihre Zeichen, ausgenommen der Teil  $H \sin \delta \Delta \alpha$ , welcher negativ wird, da  $\gamma < 0$ . Nehmen wir die arithmetische Mitte der Ablesungen in westlicher und östlicher Lage, so scheidet der Teil  $H \sin \delta \Delta \alpha$  aus. Die Ablesungen im Westen und Osten sind verschieden, jedoch ihre arithmetische Mitte ist das genaue Resultat.

Auf gleiche Weise kann man feststellen, daß alle Fehler, die durch das Nicht-vertikalstehen der Rotationsachse entstehen, symmetrische Abstände der Ablesungen in bezug auf die arithmetische Mitte  $\frac{nw + ne}{2}$  ergeben.

Nennen wir:  $HH'$  die horizontale Ebene des Ortes;  $AA'$  die Achse des Apparates;  $\eta$  den Winkel dieser Achse mit dem Lot;  $NS$  die magnetische Achse des Systems;  $HfHf'$  die irrümliche Hbrizontale des Apparates, die mit  $AA'$  einen rechten Winkel bildet, und die also als Folge des Irrtums im Wagerechtstellen nicht mit  $HH'$  zusammenfällt;  $\alpha$  den Winkel von  $HH'$  und  $NS$ ;  $\alpha'$  den Winkel von  $NS$  und  $HfHf'$ ,  $\alpha'$  ist der abgelesene Winkel, proportional zu  $n$  (Fig. 2).

Durch die Drehung von  $180^\circ$  bleibt  $\alpha$  konstant, dagegen  $\alpha'$  von  $\alpha - \eta$  wird  $\alpha + \eta$ , die Ablesungen sind symmetrisch in bezug auf die arithmetische Mitte.

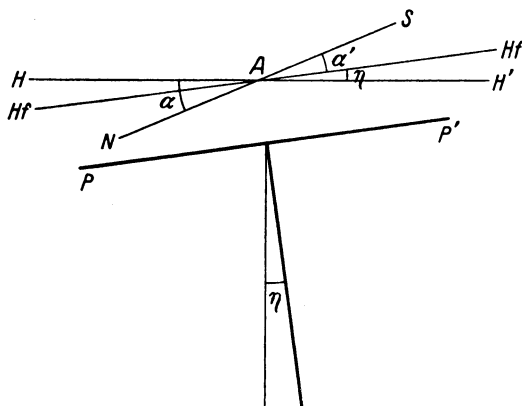


Fig. 2. Schiefstand der Rotationsachse

Nehmen wir nun an,  $HfHf'$  ist nicht lotrecht zu der Rotationsachse von  $180^\circ$ ; in diesem Falle unterscheiden wir zwei Möglichkeiten.

- Die Neigung findet statt in der Schwingungsebene.
- Die Schwingungsebene selbst neigt sich auf die Rotationsachse.

a) Sei  $PP$  die Ebene der drehbaren Platte des Stativs und  $\alpha$  der Winkel von  $HfHf'$  und  $PP$  (Fig. 3). Bei der Drehung von  $180^\circ$  bleibt  $\alpha$  konstant, während  $\alpha'$  folgende Werte haben wird:

$$\alpha'_1 = \alpha + \lambda + \eta, \quad \alpha'_2 = \lambda - \eta + \alpha, \quad \frac{\alpha'_1 + \alpha'_2}{2} = \alpha + \lambda.$$

Hieraus ist ersichtlich, daß die arithmetische Mitte der  $\alpha'$ , die proportional ist zu  $\frac{nw + ne}{2}$ , nicht nur von der Vertikalkomponente, sondern auch vom Winkel  $\lambda$  abhängig ist. Ein geringes freies Spiel zwischen Apparat und Stativ

genügt, um bei jedem Messungspunkt verschiedene Werte von  $\lambda$  zu ergeben, und so die Resultate zu fälschen.

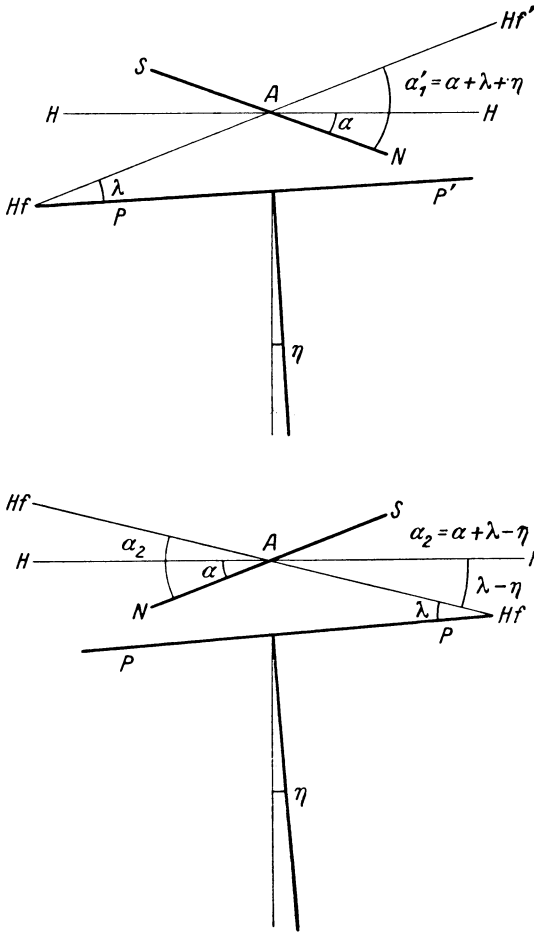


Fig. 3

Nichtlotrechtstehen der Horizontalen des Apparates zur Rotationsachse

Eine einfache Berechnung beweist: Ist  $\lambda = 2' 34''$ , so entspricht der Fehler einer Skaleneinheit, denn

$$\lambda = \frac{0.0075 \text{ cm} \cdot 180 \cdot 60}{10.4 \text{ cm} \cdot \pi} = 2' 34'',$$

das kommt einem Fehler von 10 bis 12  $\gamma$  gleich, wenn  $\lambda = 1'$  ist.

b) Nennen wir  $OO'$  die Schwingungsebene,  $\mu$  den Winkel dieser Ebene mit der Rotationsachse (Fig. 4); der Irrtum ergibt sich aus der Abweichung der

magnetischen Pole von ihrer genauen Lage im magnetischen Osten—Westen, was einem Orientierungsfehler entspricht.

Die Projektion von  $H$ , die sich der Gleichgewichts-Differentialgleichung beifügt, ist

$$2 H \sin \mu \alpha \Delta \alpha,$$

denn das Moment der nunmehrigen Kraft in der Schwingungsebene ist

$$MH \sin \alpha \sin \beta,$$

oder, wie Fig. 4 zeigt:

$$\sin \beta = \sin \alpha \sin \mu.$$

Nach Differenzierung, Ausscheidung der Teile dritten Grades und Teilung durch  $M$  bleibt:

$$2 H \sin \mu \alpha \Delta \alpha.$$

Dieser Teil hängt zugleich von der Gleichgewichtsstellung des Systems und vom Winkel  $\mu$  ab. Dieser Teil ist symmetrisch in bezug auf die Ablesungen  $\frac{nw + ne}{2}$ , denn  $\mu$  ändert sein Zeichen

bei der Drehung von  $180^\circ$ . Ein Apparat, dessen Rotationsachse von  $180^\circ$  außerhalb der Schwingungsebene liegt, zeigt für Osten und Westen verschiedene Werte an; und man stellt fest, daß die Größe des Unterschiedes sich ändert mit den Änderungen des das schwingende System beeinflussenden magnetischen Feldes. Diese Tatsache kann man feststellen bei der Messung der Skalenkonstante.

Die Folgen der oben angeführten Unregelmäßigkeiten wurden alle in der Praxis geprüft, und die Versuche bestätigten immer die Theorie.

Aus dem Gesagten folgern wir kurz: Die Orientierungs- und Nivellierungsfehler werden annulliert durch die Drehung von  $180^\circ$ , aber es ist absolut notwendig,

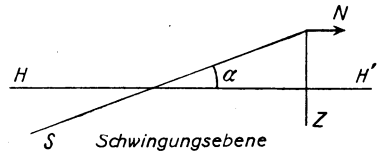
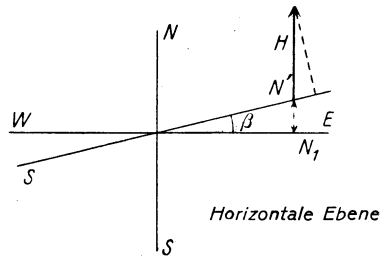
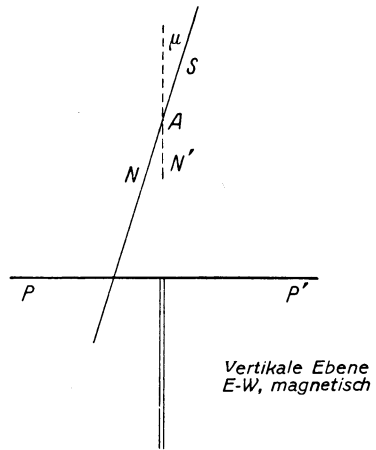


Fig. 4

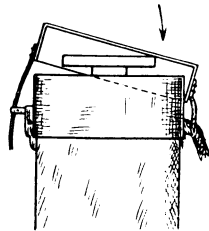


Fig. 5

Mangelhaftes Verpackungsmaterial

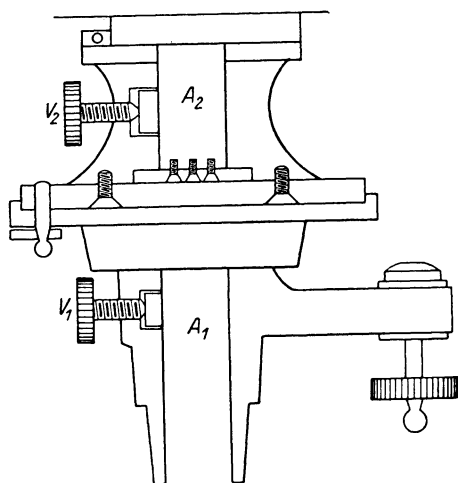


Fig. 6  
Neues Aufsatzsystem

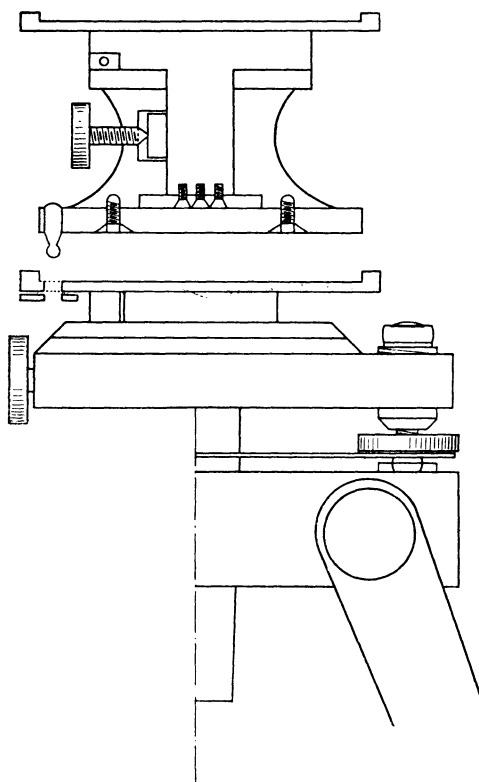
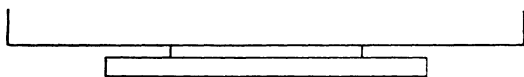


Fig. 7  
Dem bisherigen Stativ  
anzupassendes neues  
Aufsatzsystem



den Winkel  $\lambda$  zwischen zwei Messungen auf der Basisstation konstant zu belassen bis zu 5'', um die dazwischen gelegenen relativen Messungen mit einer Präzision von 1  $\gamma$  zu bestimmen. Um diese Bedingung zu erfüllen, muß der Apparat mit der Rotationsachse von 180° solidarisch sein; bei den bisherigen Modellen der Waage von Schmidt ist das nicht der Fall. Auch ist die Drehplatte des Stativs während des Transportes nicht mit einer steifen Scheide umgeben. Unter dem Einfluß des Regens zieht sich das Material der Scheide zusammen, und der geschlossene Deckel übt einen Druck auf die Platte aus (Fig. 5). Nach kurzer Zeit bildet sich ein Spiel zwischen der Platte des Stativs und dem Apparat.  $\lambda$  und  $\mu$  hängen von der Befestigung der Fixierungshaken ab und die Messungen sind dauernd gefälscht.

Wir haben hierfür folgende Lösung vorgeschlagen: Konstruktion von zwei Achsen, eine zur Ost—West-Orientierung des Apparates mittels des Kompasses, die andere, mit dem Apparat solidarisch, zur Drehung von 180°.

Die Fig. 6 zeigt uns den untersten Teil des Apparates mit der ihm solidarischen Drehachse von 180°.

In Fig. 7 haben wir ein Dispositiv, das sich dem heutigen Apparat anpassen würde. Um richtige Messungen von  $\Delta Z$  vorzunehmen, genügt es, daß  $\lambda$  zwischen zwei Basisstationen konstant bleibt. Das Rotationsdispositiv von 180° braucht also nur während der Dauer der Messungen mit dem Apparat solidarisch zu sein.

Man könnte es jeden Morgen dem Apparat beifügen, um die Drehung von 180° vorzunehmen, während das heutige Drehsystem des Stativs nur für die Orientationsdrehungen mittels des Kompasses dienen würde. Auf diese Weise sind die Änderungen von  $\lambda$  gleich Null für die relativen Messungen zwischen zwei Basisstationen. Der Teil d. z. der Gleichung (2) ist auf ein Minimum reduziert.

Veränderlichkeit des Temperaturkoeffizienten. Besprechen wir zuerst die Ursachen der Veränderlichkeit des Temperaturkoeffizienten des heutigen Modells.

Die Differentialgleichung des Gleichgewichtes (4) enthält folgende Teile ersten Grades, die von der Temperatur abhängig sind:

$$\frac{Q \Delta a}{M} - \frac{Z \Delta M}{M}.$$

Nach Vergleichung mit (1) folgern wir:

$$\frac{Q \Delta a}{M} - \frac{Z \Delta M}{M} = m(t - t^0) \dots \dots \dots (5)$$

Nennen wir  $\Delta_1$  die Veränderung für 1° C, so ergibt sich

$$\frac{Q \Delta_1 a}{M} - \frac{Z \Delta_1 M}{M} = m \dots \dots \dots (6)$$

Daraus ist ersichtlich, daß der Temperaturkoeffizient von der Veränderung von  $a$  und  $M$  abhängt. In der Gegend von Rouina (Algerien), wo wir unsere Messungen

vornahmen, ist  $Z = 0.33 \text{ } \Gamma$ . Das magnetische Moment des schwingenden Systems der Apparate ist ungefähr  $M = 1100 \text{ } \Gamma \text{ cm}^3$

$$\frac{\Delta, M}{M} = -2.4 \cdot 10^{-4},$$

was  $m = 0.33 \cdot 2.4 \cdot 10 = 8 \gamma$  ergäbe, falls  $a$  nicht von der Temperatur abhängig wäre. Jedoch  $a$  ist bestimmt veränderlich, denn der Aluminiumkörper und die Lamellen dehnen sich mit der steigenden Temperatur aus.

Die horizontale Lage des schwingenden Systems ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$MZ = Qa,$$

$Q = 54.5 \text{ g} = 54.5 \cdot 981 = 5347$ ,  $M = 1100 \text{ } \Gamma \text{ cm}^3$ ,  $Z = 0.33$ ,  $a = MZ/Q = 0.0067 \text{ cm}$ ; der horizontale Abstand zwischen dem Schwingungszentrum und dem Schwerpunkt beträgt  $0.0067 \text{ cm}$ . Dieser Abstand kann nach drei Arten gebaut werden.

1. Nichtsymmetrische Lage der Belastungsschrauben  $V_1$  und  $V_2$ .
2. Verschiebung der Lamellen, damit ihr Schwerpunkt nicht mit dem Schwingungszentrum zusammenfalle.
3. Kombination von 1. und 2. mit Verschiebungen in entgegengesetzten Richtungen.

Wir werden diese Fälle und die respektiven Werte des Temperaturkoeffizienten untersuchen.

1. Nehmen wir an, der Schwerpunkt der Lamellen falle absolut mit dem Schwingungszentrum des Systems zusammen. Folgende Formel erlaubt uns, für eine bestimmte Größe von  $a$  die nötigen Werte von  $L_1$  und  $L_2$  festzustellen.

$$54.5 a = (L_1 - L_2) \cdot 1.63.$$

$L_2$  ist gleich  $1.80 \text{ cm}$ ,  $1.63$  ist die Masse der Schraube,  $54.5$  die Masse des ganzen Systems. Ist  $a$  gleich  $0.0065$ , so ist  $L_1 = 2.02 \text{ cm}$  und  $L_1 - L_2 = 0.22 \text{ cm}$ . Dieser Abstand von  $0.22 \text{ cm}$  ist leicht realisierbar. Der Apparat könnte also einer beliebigen Gegend angepaßt werden, ohne Verschiebung der Lamellen.

Der Teil  $Q \Delta_1 a/M$  der Formel (6) wäre in diesem Falle nur von der Ausdehnung des Aluminiumkörpers abhängig. Da alle Größen von  $Z$  auf der ganzen Erde zwischen  $\pm 0.75 \text{ } \Gamma$  liegen, wären alle Werte von  $Q \Delta_1 a/M$  zwischen  $-1.55$  und  $+1.55 \gamma$  einbegriffen. Die mögliche Veränderlichkeit des Temperaturkoeffizienten wird zwischen  $6.45$  und  $9.55 \gamma$  sein. Das wäre annehmbar, wenn nicht innere Kräfte des Systems ein Gleiten der Befestigungspunkte der Lamellen am Aluminiumkörper veranlaßten.

2. Die Verbindung zwischen den Lamellen und dem Aluminiumkörper geschieht momentan vermitteltst zweier Schrauben  $B_1$  und  $B_2$ , deren Köpfe die Lamellen gegen den Aluminiumkörper drücken.

Der Ausdehnungskoeffizient des Al ist  $0.24 \cdot 10^{-4}$ , derjenige des Stahles der Lamellen  $0.127 \cdot 10^{-4}$ , daraus erfolgt ein Kräftespiel bei den Befestigungspunkten bei jeder Temperaturänderung; wir werden diese Tatsache später behandeln. Einstweilen nehmen wir an, die Verbindung durch Andrücken in  $B_1 B_2$  sei fehlerlos. Da der Querschnitt des Stahles der Lamellen bedeutend kleiner ist als derjenige des Aluminiumkörpers, muß in diesem Falle das Stahl weichen, und sein Ausdehnungskoeffizient wird demjenigen des Al gleich sein; die freien Teile dagegen dehnen sich normalerweise.

Sei  $L_3$  die Distanz zwischen dem Schwerpunkt der Lamellen und dem Rotationszentrum,  $L_4$  und  $L_5$  die Distanzen zwischen den Schwerpunkten der freien Teile der Lamellen und dem Rotationszentrum,  $m_1, m_2$  die Massen der freien Teile,  $\overline{B_1 B_2} = L_6 = 1.80$  cm,  $m_3$  die Masse des Teiles der Lamellen zwischen  $B_1$  und  $B_2$ .

Die Dimensionen der verschiedenen Teile ergeben:

$$m_1 = m_2 + 3.5 L_3, \quad L_4 = 0.90 + 1.50 + 0.33 L_3,$$

$$m_3 = 21.6 - m_2 - m_1, \quad L_5 = 0.90 + 1.50 - 0.33 L_3,$$

$$a = \frac{21.6}{54.5} L_3.$$

Die Gleichung des Gleichgewichtes ist:

$$54.5 a = m_1 L_4 - m_2 L_5 + m_3 L_3 \dots \dots \dots (9)$$

Wenden wir bei  $L_4, L_5$  den Ausdehnungskoeffizienten des Stahles und bei  $L_3$  denjenigen des Aluminiums an, so ergeben die Berechnungen:

$$\mathcal{A}_1 a = \frac{10^{-4}}{54.5} (3.8 L_3 + 0.147 L_3^2) \dots \dots \dots (10)$$

Die Änderungen von  $Z$  von  $-0.75$  bis  $+0.75$  ergeben für  $Q \mathcal{A}_1 a/M$  Größen zwischen  $\pm 1.15 \gamma$  und für  $m$  zwischen  $6.85$  und  $9.15 \gamma$ .

3. In diesem Falle haben wir zu gleicher Zeit Dissymmetrie der Schrauben  $V_1$  und  $V_2$  und  $L_3 \neq 0$ .

Ändert man die Größen  $L_1 L_2 L_3$ , während  $a$  konstant bleibt, so kann man den Temperaturkoeffizienten  $m$  ändern.

Wir wollen zeigen, daß die Mittel, diese Änderungen herbeizuführen, ziemlich begrenzt sind. Als Folge des oben angeführten ist

$$a = \frac{1.63 \cdot (L_1 - L_2) + m_1 L_4 - m_2 L_5 + m_3 L_3}{54.5} \dots \dots \dots (10a)$$

$$\mathcal{A}_1 a = \frac{10^{-4}}{54.5} (1.63; 0.24 (L_1 - L_2) + 3.84 L_3 + 0.147 L_3^2).$$

Bestimmen wir nun die Bedingung  $L_3 = F(L_1 - L_2)$ , für welche der Temperaturkoeffizient gleich Null ist.

$$\frac{Q \mathcal{A}_1 a - Z \mathcal{A}_1 M}{M} = m = 0;$$

andererseits  $MZ = Qa$ .

Die zu erfüllende Bedingung wäre

$$\frac{\mathcal{A}_1 a}{a} = \frac{\mathcal{A}_1 M}{M} = -2.4 \cdot 10^{-4} \dots \dots \dots (11)$$

Einige Operationen wandeln diese Gleichung (11) um in

$$-4.3 (L_1 - L_2) - 46.5 L_3 - 2.94 L_3^2 = 0 \dots \dots \dots (11a)$$

Nach Ausscheiden des Teiles zweiten Grades:

$$-4.3 (L_1 - L_2) - 46.5 L_3 = 0 \dots \dots \dots (11b)$$

Eine Umwandlung der Gleichung (10a) ergibt:

$$a = 0.0298 (L_1 - L_2) + 0.287 L_3 + 0.0147 L_3^2$$

und

$$0.0298 (L_1 - L_2) + 0.287 L_3 = a \dots \dots \dots (10b)$$

Die Lösung des Gleichungssystems (10b) und (11b) ist

$$L_3 = -28.3 a, \quad (L_1 - L_2) = +306 a, \quad a = MZ/Q.$$

Bei den Veränderungen von  $Z$  zwischen  $\pm 0.75$  müßte man haben:

$$-0.496 < L_3 < +0.496, \quad -4.28 < (L_1 - L_2) < +4.28.$$

Das heutige schwingende System erlaubt aber kaum ein Spiel von 0.2 cm für  $L_3$  und von 1 cm für  $L_1 - L_2$ ; es ist also klar, daß nur in den Tropengegenden, wo  $Z$  gering ist,  $m$  gleich Null sein kann. Es kann jedoch zufällig der Fall sein als Folge einer fehlerhaften Verbindung in  $B_1$  und  $B_2$ , denn im Falle der Befestigung mit nur einer Schraube ist das Spiel der Ausdehnungen verschieden.

Auch falls  $Z$  gering sei, ist die Regulierung von  $m$  ohne mikrometrische Schraube für die Bewegung der Lamellen längs des Aluminiumkörpers sehr schwierig, da eine Präzision von einigen hundertstel Zentimeter nötig ist.

Endlich glauben wir, daß die Hauptursache der Unbeständigkeit des Koeffizienten  $m$  inneren Kräften zuzuschreiben ist.

Die Befestigung der Lamellen geschieht mit zwei Druckschrauben, die 1.80 voneinander entfernt sind, jedoch die Ausdehnungskoeffizienten des Stahles und des Aluminiums sind verschieden:

$$\begin{array}{l} 0.240 \cdot 10^{-4} \text{ für das Aluminium,} \\ 0.127 \cdot 10^{-4} \text{ für den Stahl,} \end{array}$$

also

---


$$0.113 \cdot 10^{-4} \text{ Spiel.}$$

Sei  $S = 0.210 \text{ cm}^2$  der Querschnitt der Lamelle,  $E = 25000 \text{ kg}$  das Elastizitätsmodul,  $X$  die durch Dehnung geschaffene Kraft:

$$X = E \cdot S \cdot 0.113 \cdot 10^{-4} = 0.6 \text{ kg für } 1^\circ \text{ C.}$$

Temperaturänderungen von  $15^\circ$ , die innere Kräfte von  $10 \text{ kg}$  verursachen, veranlassen bestimmt ein sprunghaftes Gleiten der Lamellen längs des Aluminiumkörpers. Daraus erfolgen die plötzlichen Veränderungen von  $m$  und der Hauptteil der d. z.-Erscheinungen.

Wir haben ein besonderes schwingendes System entworfen (Fig. 8), welches folgende Vorzüge hätte.

1. Nur einen Befestigungspunkt  $Vf$  der Lamellen an dem Al-Körper. Die vier Federn  $rr$  sind rund, damit sie trotz der Ausübung eines Druckes auf die Lamellen deren Spiel in der Längsrichtung nicht verhindern.

2. Einen Temperaturkoeffizienten gleich Null für alle Lagen des Schwerpunktes und für alle Größen von  $Z$  auf der ganzen Erde.

3. Eine einzige mikrometrische Schraube für die Änderung des Nullwertes des Apparates. Dieselbe würde zugleich das Nötige veranlassen, damit  $m$  dauernd den Nullwert beibehalte.

4. Bei der Bedienung des Gerätes hat man nur auf diese Schraube  $Va$ , ihre Bremsen  $bb$  und die Schraube  $Vb$  der vertikalen Bewegung einzuwirken; alle anderen Regulierungen macht der Erbauer im voraus.

5. Das neue System kann sich den alten Geräten anpassen.

Die Nachteile wären:

a) Ein größeres Gewicht, also schnellere Abnutzung der Quarzschnelden.

b) Die Länge der Lamellen ist ein wenig geringer, daraus erfolgt eine schwächere Amortisierung der Schwingungen durch die Ströme von Foucault.

Theorie des neuen magnetischen Systems. Um die späteren Berechnungen zu ermöglichen, müssen in der Erbauung des Apparates folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Gewichte der verschiedenen Teile des Systems müssen folgende sein:

a) Die beiden Lamellen + Platte $TT$ . . . . .	31.35 g
b) Der unbewegliche Teil des Systems, Spiegel und Quarzschnelden einbegriffen . . . . .	33.65 g
c) Die untere Empfindlichkeitsschraube . . . . .	5.00 g
d) Die beiden horizontalen Belastungsplatten $m_1 + m_2$ . . . .	30.00 g
	<hr/> 100.00 g

2. Das magnetische Moment des Systems muß ungefähr  $1000 \text{ } \Gamma \text{ cm}^3$  sein.

3. Die magnetische Achse muß das Schwingungszentrum  $A'$  schneiden.

4. Die Schwerpunkte der Platten  $m_1, m_2$  und des Komplexes der Lamellen  $LL +$  Platte  $TT$  müssen sich auf einer der magnetischen Achse parallelen Linie bewegen. Es ist besser, wenn die beiden Linien zusammenfallen.

5. Temperatur-Ausdehnungskoeffizienten:

Aluminium . . . . .  $0.240 \cdot 10^{-4}$  für  $1^\circ \text{C}$ ,  
 Stahl . . . . .  $0.127 \cdot 10^{-4}$  für  $1^\circ \text{C}$ .

6. Magnetismusverlust der Lamellen durch Erhitzen:

$$\frac{\Delta M}{M} = -2.4 \cdot 10^{-4} \text{ für } 1^\circ \text{C}.$$

7. Ist  $Z = 0$ , so ist das ganze System symmetrisch, der Schwerpunkt fällt mit dem Schwingungszentrum  $A$  zusammen.

Das horizontale Gleichgewicht für die anderen Werte von  $Z$  ist erhältlich dank einer gleichen Bewegung in entgegengesetzter Richtung und gleicher Größe des Systems der Lamellen einerseits, des Belastungssystems  $m_1 m_2$  andererseits. Eine einzige Schraube  $Va$  erlaubt diese Bewegungen auszuführen. Ihre Spiral-linie ist rechts für  $m_1 m_2$  und links für  $TT$ .

Diese Schraube  $Va$  besteht aus einer inneren Achse aus Aluminium, umgeben von einer Scheide aus Stahl (Ausdehnungskoeffizient  $= 0.127 \cdot 10^{-4}$ ).

Diese beiden Teile sind mit in der Längsachse parallelen Nuten versehen, damit der innere Teil aus Al leicht die äußere Schraube aus Stahl bei der Rotation mit-drehe, und auch damit das Spiel der Temperatureausdehnungskräfte sich frei entwickeln kann.

Ein Splint, der genau in der Mitte der Schraube und unter dem Rotations-zentrum gelegen sein muß, wird die Stahlscheide an die Aluminiumachse fest-fügen.

Auf diese Weise verursachen die Temperaturänderungen kein Verschieben des Schwergewichtes der Scheide, sondern beeinflussen den Komplex  $TTLL$  nach dem Dilatationsgesetz des Stahles.

Betrachten wir diese Bedingungen als erfüllt. Sei  $a$  die Projektion auf die magnetische Achse der Distanz zwischen dem Schwerpunkt des ganzen Systems und dem Rotationszentrum  $A$ ,  $y$  dieselbe Projektion der Distanz zwischen dem Schwerpunkt von  $TTLL$  und dem Rotationszentrum,  $x$  die Distanz zwischen dem Schwerpunkt des Komplexes  $m_1 m_2$  und dem Rotationszentrum. Bestimmen wir für diese Bedingungen die Werte  $x$  und  $y$ , die für den Temperaturkoeffizienten des Apparates den Nullwert ergeben.

$$100 a = 31.35 y - 30 x; \quad a = 0.3135 y - 0.3 x . . . . . (12)$$

$$\Delta_1 a = (0.3135 \cdot 0.127 \cdot y - 0.3 \cdot 0.24 \cdot x) \cdot 10^{-4} . . . . . (13)$$

$$\frac{\Delta_1 a}{a} = -2.4 \cdot 10^{-4} = \frac{(0.3135 \cdot 0.127 y - 0.3 \cdot 0.24 x) \cdot 10^{-4}}{0.3135 y - 0.3 x} . . (14)$$

Die Lösung der Gleichungen (13) und (14) ist:

$$x = y = 74.07 a.$$

Die möglichen Werte von  $Z$  sind zwischen  $\pm 0.75 \Gamma$  gelegen. In unserem System entspricht das folgendem:

$$a = \frac{Z M}{Q} = \frac{0.75 \cdot 1000}{100.981} = 0.008 \text{ cm,}$$

$$-0.008 < a < +0.008; \quad -0.6 < x = y < +0.6.$$

Diese Verschiebung von 0.6 cm ist leicht möglich mit unserem System. Eine ungefähre  $\frac{1}{5}$ -Drehung der Schraube  $Va$  verursacht eine Verschiebung des Nullwertes des Apparates um  $1000 \gamma$ . Dieser Drehungswinkel der Schraube, der  $1000 \gamma$  entspricht, ist eine Konstante des Apparates, die man dem Käufer des Apparates mit den übrigen üblichen Angaben liefern sollte. Man wird so viele unnütze Versuche, die der Schraube  $Va$  schädlich sind, verhindern.

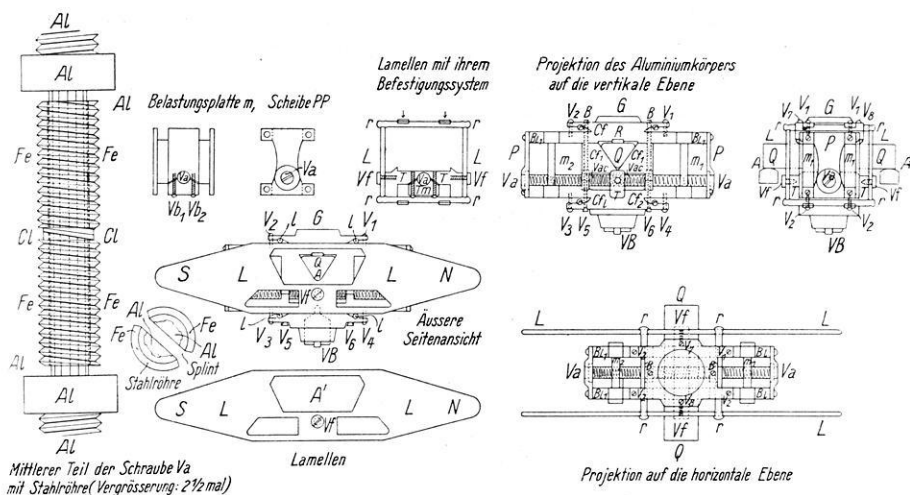


Fig. 8

Beschreibung der verschiedenen Organe (Fig. 8). In der vorliegenden Studie haben wir hauptsächlich die mathematischen und mechanischen Fragen allgemeiner Art behandelt. Wir haben das Studium der Schwerpunkte der verschiedenen Teile sowie ihrer genauen Gewichte übergangen. Das Studium dieser Fragen rein technischer Art ist den Erbauern leichter möglich.

Es wird aber nötig sein, streng die zu Beginn des Kapitels „Theorie“ gemachten Angaben zu befolgen.

Fig. 8 zeigt uns die Disposition der verschiedenen Organe, die uns am günstigsten scheint.

1. Der feste Teil des Systems besteht aus vier verschiedenen Hauptteilen:

a) Dem Teil  $Cf$ , an dem ein unbeweglicher Spiegel  $G$ , und mittels einer Feder  $R$  die Quarzschnide befestigt ist.

Diese Feder und die Befestigungsschrauben sind dieselben wie die momentan benutzten.

Die vier oberen Arme  $Br$ , auf denen die Belastungsplatten  $m_1$  und  $m_2$  gleiten, bilden mit  $Cf$  eine Einheit. Zwei Federn  $rr$  können sich unbehindert drehen zwischen  $Cf$  und den Lamellen.  $V_1V_2$  regulieren den durch die Federn  $rr$  ausgeübten Druck auf die Lamellen  $LL$ .

b)  $Cf_2$ , der unterste Teil des festen Körpers, ist mittels  $V_5$  und  $V_6$  und der seitlichen Scheiben  $PPPP$  an  $Cf$  befestigt. Dieser untere Teil  $Cf_2$  muß von  $Cf$  lösbar sein und das Einsetzen der Schraube  $Va$  erlauben.

$Cf_2$  bildet mit den vier unteren Armen  $Br$  und dem System der vertikalen Empfindlichkeitsschraube  $Vb$  eine Einheit.

$V_3$  und  $V_4$  regulieren Federn ähnlich den oben angegebenen.

Die Konstruktion der Schraube  $Va$  wurde in der „Theorie“ beschrieben. Die Scheiben  $PPPP$  verhindern diese Schrauben, horizontale Bewegungen auszuführen. Die Rotationsbewegung der Schraube  $Va$  wird angehalten mittels Schrauben  $BB$ , die als Bremsen dienen.

c), d) Den Scheiben  $PPPP$ .

2. Die Konstruktion der Belastungsplatten  $m_1, m_2$  ist einfach. Aber da ihre Bewegungsschraube  $Va$  sich nicht in ihrem Mittelpunkt befindet, ist nötig, um jede Klemmung zu verhindern, daß diese Teile sich genau den vier Armen anpassen, auf denen sie gleiten.

Auch müssen die Belastungsplatten schwer, aus Bronze, gefertigt sein, wenn nötig, mit Bleibelastung.

Um jegliches Spiel zwischen der Schraube  $Va$  und der Scheibe  $m_1$  zu verhüten, reguliert man die Abnutzung der Schraube  $Va$  mit den Schrauben  $Vbl, Vbl$ .

3. Das System  $LLTT$  ist einfach. Man bedient sich derselben Blockierungsschrauben, um die Abnutzung der Schraube zwischen  $Va$  und  $T$  zu verhüten.

Die Befestigungsschraube  $Vf$  von  $LL$  an  $TT$  muß sehr stark und ohne Spiel sein und sich genau der Öffnung in der Lamelle einpassen.

Zum Schluß wollen wir die zur Änderung des Nullwertes des Apparates nötigen Handlungen angeben.

1. Lösung der Blockierungsschrauben  $V_1 - V_4, B, B$  und  $Vbl$  (sehr leicht).

2. Drehen der Schraube  $Va$  nach der nötigen Richtung. (Man könnte  $N$  oder  $S$  auf  $PP$  gravieren, um die Richtung anzugeben.)

3. Festschrauben der obenerwähnten Schrauben.

20. Januar 1932.