

Werk

Jahr: 1933

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:9

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0009

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009

LOG Id: LOG_0063

LOG Titel: Beitrag zur Frage der temperaturabhängigen Störung der Gleichgewichtslage der Drehwaagegehänge

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

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 these 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

Beitrag zur Frage der temperaturabhängigen Störung der Gleichgewichtslage der Drehwaagegehänge

Von A. Schleusener, Berlin-Steglitz — (Mit 7 Abbildungen)

Es wird durch Dauerregistrierung bei gleichzeitiger Heizung gezeigt, daß sich bei Temperaturschwankungen der Außenluft von nur 6 bis 7° C in 3 Stunden die Ruhelage der Waage I Ask 667 um 11 Skalenteile ändert, die der Waage II nur um 1 Skalenteil. Durch Justieren des Gehänges in eine günstige Lage kann bei gleicher Temperaturschwankung die Störung der Gleichgewichtslage beider Gehänge praktisch beseitigt werden. Die Störung tritt dann auch bei großen Ausschlägen nicht auf. Als Störungsursache werden Konvektionsströme der Luft angesehen.

R. v. Eötvös*) stellt die Ablenkung des Waagebalkens einer Drehwaage aus einer Gleichgewichtslage in eine neue Gleichgewichtslage**) in folgender allgemeinen Form dar:

$$r = \varepsilon + \alpha(t - t_0) + \frac{\mu M}{\tau} + \lambda \frac{\Sigma F \cdot l}{\tau} + \gamma \frac{K}{\tau}.$$

Es ist

- ε = die Verschiebung infolge elastischer Nachwirkung,
- α = der Temperaturkoeffizient der Nullage des Drahtes,
- $t - t_0$ = die Temperaturänderung,
- μ = das magnetische Drehungsmoment der Masseneinheit,
- M = die Masse des Balkens,
- τ = die Torsionskonstante des Drahtes,
- λ = das Drehungsmoment aller an der Oberfläche wirkenden Kräfte für das Flächenmoment 1 und $\Sigma F \cdot l$ das Flächenmoment,
- γ = das Drehungsmoment der Schwerkraft an einem Balken vom Trägheitsmoment = 1 und K das tatsächliche Trägheitsmoment.

Die ersten vier Glieder der rechten Seite der Gleichung drücken Störquellen des zu messenden fünften Gliedes aus. Für das vierte Glied führt Eötvös als Störungsursache Wärmestrahlungsunterschiede infolge ungleicher Erwärmung der Kastenwände an, sowie insbesondere Ungleichheiten des Druckes infolge ungleicher Temperatur der Luft im Gehäuse. Die Forschung in neuerer Zeit hat sich meines Wissens hauptsächlich mit den Störgliedern 1 und 2 befaßt, und dabei

*) Verhandlungen der 16. allg. Konf. d. internat. Erdmessung in London und Cambridge 1909, S. 323 usw.

**) Die „Gleichgewichtslage“ stimmt nur dann mit der beobachteten oder registrierten „Ruhelage“ überein, wenn die zeitliche Änderung der Störglieder klein ist. Die berechnete „Nullage“ des Gehänges, n_0 , entspricht der Ruhelage abzüglich 1. Glied 5 und 2. dem vom Azimuth abhängigen Teil der magnetischen Störung, sofern die zeitliche Änderung der Ruhelage linear verläuft.

ist z. B. Königsberger*) im Gegensatz zu Eötvös**) zu dem Schluß gekommen, daß Luftströmungen (Glied 4) geringe Bedeutung haben, daß dagegen nicht lineare Nullageänderungen der Torsionsdrähte die einzige wirklich gefährliche Störquelle seien und daß bei steigender Temperatur die Störung stärker sei als bei fallender. Glied 2 würde sich dann nicht mehr in der einfachen Form $\alpha (t - t_0)$ ausdrücken lassen, selbst dann nicht, wenn die in guten Beobachtungszelten üblichen Temperaturschwankungen nicht überschritten werden.

Demgegenüber hat Verfasser, wie wohl jeder Praktiker, beobachtet, daß bei guten Torsionsdrähten mit kleinem, gleichmäßigem Temperaturkoeffizienten α mehr oder minder unregelmäßige Störungen der Nullage des Drehwaagegehänges (Nullageänderungen des Torsionsfadens bei Königsberger) auftreten, die das Zehnfache von $\alpha (t - t_0)$ häufig weit überschreiten. Diese Störungen sind von der Waage, aber nicht vom Torsionsfaden abhängig, denn bei Drahtwechsel treten gewöhnlich Störungen von gleicher, mindestens ähnlicher Größe und Richtung auf.

Ferner hat Matsuyama***) geglaubt, für τ den strengeren Ausdruck $\tau = \tau_0 [1 + \alpha' (t - t_0)]$ einführen zu müssen und kommt auf Grund von Kugelablenkungsversuchen bei den Temperaturen 13 und 23° zu folgenden Werten: $\tau = 0.5229 [1 - 0.0057 (t - 15^\circ)]$. α' = Temperaturkoeffizient der Torsionskraft, t = Meßtemperatur und t_0 = Bezugstemperatur.

Nach Matsuyama würde $\alpha' = 57 \cdot 10^{-4}$ erreichen können, eine Größenordnung, die nur für niedrigschmelzende Metalle gilt. Für Metalle der Platingruppe liegt α' bei $-1 \cdot 10^{-4}$ bis $-2 \cdot 10^{-4}$ und bei den üblichen Platin-Iridiumdrähten bei $-1 \cdot 10^{-4}$. Es liegt also kein Grund vor, τ durch $\tau_0 [1 + \alpha' (t - t_0)]$ zu ersetzen, oder bei τ eine wesentliche Fehlerquelle zu suchen. Würden die Werte Matsuyamas richtig sein, so würde τ bei $190^\circ = 0$ werden, und da Platin-Iridium sich tatsächlich noch über diese Temperaturen hinaus ziemlich linear verhält, wäre es möglich, torsionsfreie Drähte herzustellen.

Bei der Bestimmung physikalischer Größen in der Drehwaage ist stets größte Vorsicht erforderlich. Nur bei besonderer Sorgfalt liegt die Genauigkeit bei mehr als $\pm 1\%$.

H. Shaw und E. Lancaster-Jones†) sind bei ihren Untersuchungen an Örtlingwaagen zu der Überzeugung gekommen, daß allein die Störung durch Konvektionsströme große Bedeutung habe, daß aber eine Gesetzmäßigkeit im allgemeinen nicht zu erkennen sei. Daß Eötvös dagegen im Laboratorium schon eine Gesetzmäßigkeit so genau feststellte, daß er auf konstante Temperatur reduzieren konnte, scheint auch ihnen entgangen zu sein. Die Gesetzmäßigkeit

*) Zeitschr. f. pr. Geol. 1925, S. 169.

***) S. 324: $\lambda \frac{\Sigma Fl}{\tau}$ ist von der Lage des Balkens im Kasten abhängig und der Geschwindigkeit der Temperaturänderung proportional.

****) Japan. Journ. of Astr. and Geophys. 2, 93, Tokio 1924.

†) Mining Mag. 1927, S. 210.

der Störungen ist auch kaum zu erkennen, wenn man die Betrachtungen auf die Nullage n_0 oder die stündlichen Registrierungen der Ruhelagen beschränkt.

Den regelmäßigen Verlauf der scheinbar ungesetzmäßigen Störungen der Ruhelage zeigt Fig. 1.

Fig. 1 ist eine Drehwaagenaufnahme in natürlicher Größe. Während der Registrierzeit hat die Waage nicht umgesetzt; durch Einstellen auf Dauerlicht wurde die momentane Lage der Gehänge jederzeit festgehalten. Die Heizung des Raumes erfolgte durch elektrische Öfen. Die Lufttemperatur stieg während der Heizperiode um 7°C , im Innern der Waage nur um etwa 4.5° . Länge der Heizperiode 3 Stunden.

Während der Registrierzeit änderte sich das Gravitationsfeld und somit $\gamma \frac{k}{\tau}$ nicht. Somit ist die Schwankung der Ruhelage um 11 Skalenteile bei Waage I und 1 Skalenteil bei Waage II auf die Störglieder zurückzuführen. 1 Skalenteil entspricht für U_{yz} und U_{Δ} über 3.5 Eötvös. Beim Abstellen der Heizung änderte

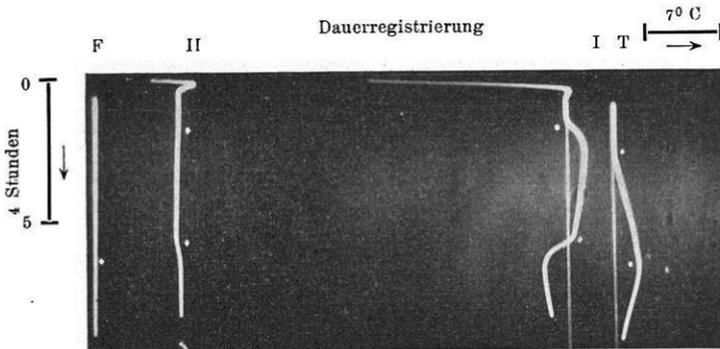


Fig. 1. Drehwaage Ask. 667 (Modell Z 40), Aufnahme in natürlicher Größe

Waage I die Ruhelage innerhalb 1 Stunde um 8 Skalenteile, trotzdem sich die Temperatur in derselben Zeit nicht einmal um 1° änderte. ϵ war bei beiden Gehängen Null, desgleichen ließ sich ein magnetischer Einfluß nicht nachweisen. Die Torsionsdrähte beider Gehänge haben lineare kleine Temperaturkoeffizienten der Nullage. Die Ruhelage ändert sich aber bei Waage I sehr stark. Stellt man jedoch beispielsweise die Quereinstellung des Kreuzschlittens für den Torsionskopf der Waage II (Fig. 1) von 6.0 auf 7.0 (s. Fig. 2a), so erhält man bei gleicher Temperaturschwankung eine ähnliche Kurve (4.3 Skalenteile Schwankung) wie bei Waage I (Fig. 1).

Bei der Quereinstellung 6.0 wandert beim Temperaturanstieg die Ruhelage wenig zu den kleineren Zahlen, bei 7.0 jedoch stark zu den größeren Zahlen. Es ist zu erwarten, daß bei 6.1 bis 6.2 die Störung der Gleichgewichtslage durch

Temperaturschwankungen etwa Null wird, Fig. 2c bestätigt dies*). Die sechs verschiedenen Einstellungen der Fig. 2a bis 2f zeigen die stetige Abhängigkeit der Störung nach Größe und Richtung von der Stellung des Kreuzschlittens.

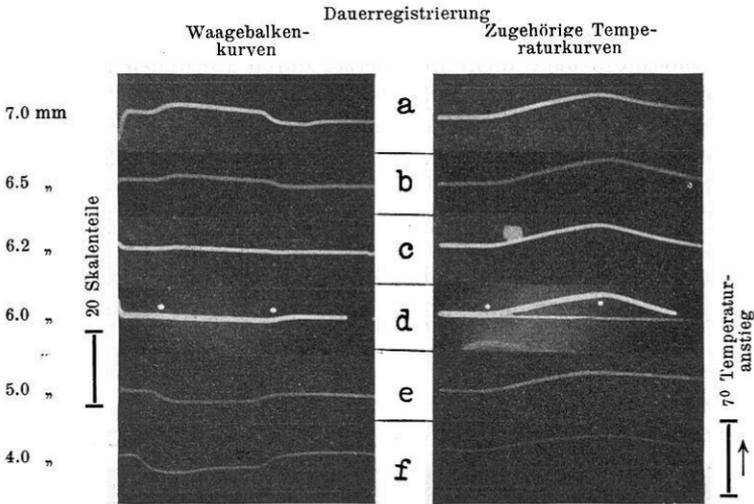


Fig. 2. Drehwaage Ask. 667 (Modell Z 40)
 Temperaturanstieg in der Waage max. 4.5° . Temperaturanstieg der Außenluft max. 7.0° .
 0 ——— 2 Stde.

Daß die Abhängigkeit der Ablenkung von der Kreuzschlitteneinstellung während der Heizperiode linear und sehr genau ist, beweisen Fig. 3 und 4.

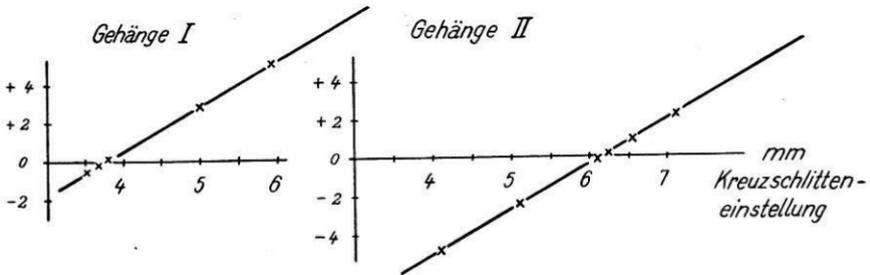


Fig. 3 u. 4. Abhängigkeit der Gleichgewichtsstörungen (in Sktle.) von der Quereinstellung des Kreuzschlittens (in mm)

Die Möglichkeit, ein Minimum der Temperatursteigerung einzustellen, ist auch bei den großen Waagen Eötvösscher Form gegeben. Die Fig. 5a bis 5e

*) Herr Klein (Askania Werke A.-G.) hat meines Wissens als erster nachgewiesen, daß bei Waagen mit z-Gehänge eine Justierung möglich ist, bei der die Störung ganz oder fast ganz verschwindet.

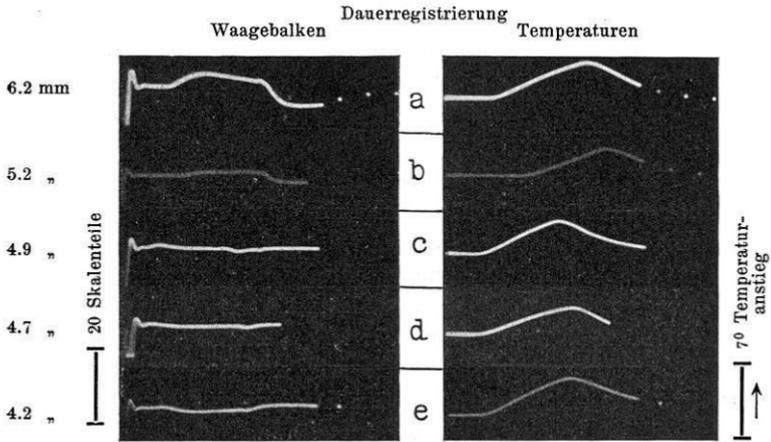


Fig. 5. Drehwaage Ask. 38 (Modell Eötvös)



Fig. 6

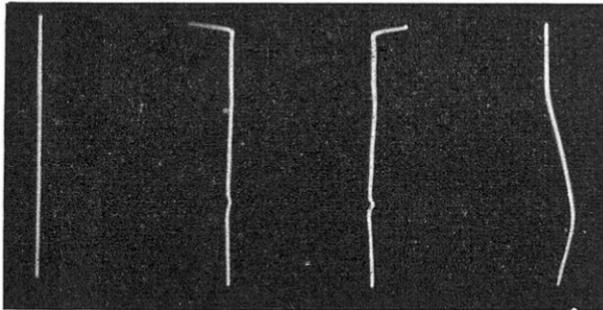


Fig. 7

Bei Fig. 7 wurde die Waage um 90° gedreht. Ausschlag etwa 30 Sktle.

geben die Aufnahmen mit der Waage Ask. 38 I wieder. Die Versuchsbedingungen waren die gleichen wie bei dem z -Modell. Bei der Waage 38 bleiben noch kleine kurzperiodische Störungen (10 bis 30 Minuten) mit etwa $\frac{1}{2}$ Skalenteil Amplitude übrig (Fig. 5 c). Sind die Hauptstörungen stärker, so werden die kurzperiodischen Störungen überdeckt (Fig. 5 a, 5 d, 5 e).

Änderungen der Justierung um einige Zehntel Millimeter beeinflussen die Störung der Ruhelage schon merklich. Da im Prüfkeller der Geologischen Landesanstalt das Gravitationsfeld sehr gestört ist, erreichen die Werte $n - n_0$ bis 30 Skalenteile, die Lageänderungen der Gewichte der Waagebalken also 1.5 mm. Es war deshalb zu prüfen, ob dadurch eine Änderung der Störung eintritt, denn sonst kann die Störung in einem Azimuth positiv und im anderen negativ sein. Nach Fig. 6 und 7 ist bei der untersuchten Waage bei Ausschlägen bis zu 30 Skalenteilen die Störung der Gleichgewichtslage unabhängig vom Ausschlag*).

Somit können die Störungen der Ruhelage durch die Justierung des Kreuzschlittens soweit beseitigt werden, daß selbst in den Tropen die Messungen auch dann verwertbar sind, wenn eine Temperaturumkehr in die Meßzeit fällt. Dabei ist zu beachten, daß durch Fadenwechsel die Einstellung auf den günstigsten Punkt verloren gehen kann. Die Neueinstellung kann jedoch durch einige Heizungen in Verbindung mit Dauerregistrierungen leicht erfolgen. Im Notfalle genügt für die Heizung eine Stallaterne oder vier bis sechs Kerzen, die sich schließlich fast überall auftreiben lassen. In tropischen Gebieten mit täglich gleichmäßigem Temperaturverlauf gibt auch die scharfe Temperaturumkehr nach Sonnenaufgang ein gutes Kriterium, und ohne Zeitverlust kann danach eine Waage auf den günstigsten Punkt justiert werden.

Die wesentliche Beeinflussung der Störung der Ruhelage nach Größe und Richtung durch kleine Verschiebungen in dem verhältnismäßig breiten Gehängeraum läßt sich schwerlich durch Wärmestrahlung erklären, wohl aber durch Luftströme. Die Regelmäßigkeit und die Reproduzierbarkeit der gezeigten Aufnahmen lassen den Schluß zu, daß die Luftströme in der Waage geordnet (laminar) fließen, also so langsam, daß sie nicht zur Wirbelbildung neigen. Die bisherigen Versuche lassen noch keinen Schluß über Sitz und Entstehung der Luftströme zu.

Im innersten Gehäuse der Drehwaage können Luftbewegungen aus den verschiedensten Ursachen entstehen, z. B. durch:

1. Barometerschwankungen, je Millimeter Hg 1.5 ccm.
2. Wärmeausdehnung der Luft, je Grad Temperaturänderung etwa 4 ccm.
3. Konvektionsströme,
 - a) durch verschiedene Temperatur der Wandung des inneren Kastens,
 - b) bei schlechter Dichtung auch infolge der verschiedenen Temperatur der drei voneinander isolierten Kästen,

*) Während der Drucklegung durchgeführte Versuche zeigten, daß bei einer stark temperaturempfindlichen Waage die Größe und Richtung der Störung auch vom Ausschlag abhängig sein kann.

- c) durch Schornsteinwirkung, wenn das innere Gehäuse oben und unten Verbindung mit der Außenluft hat,
- d) durch den Temperaturunterschied zwischen Gehänge und Gehängegehäuse, mehrere Tausend Kubikzentimeter.

Welche Art der Konvektionsströme die Störungen der Ruhelage erzeugen, läßt sich schwer ohne eingehende Versuche abschätzen. Beachtenswert ist, daß zur Erwärmung des Gehänges um nur 1° rund 7 Grammkalorien erforderlich sind. Bei dem geringen Abstand des Gehänges von den Wandungen erfolgt die Erwärmung zum großen Teil durch Wärmeleitung. Immerhin werden mehr als 20% der Wärme durch Konvektion auf das Gehänge übertragen, dazu müssen mehr als 5000 ccm Luft am Gehänge vorbeistreichen. Da die Luft von allen Seiten kommt, sind bei einer unsymmetrischen Lage des Gehänges im Gehäuse erhebliche Störungen zu erwarten.

Durch Abdichten der Gehäusewandungen lassen sich die Störungen nicht beseitigen, Konvektion nach 3b und 3c hat also keinen überragenden Einfluß, desgleichen wohl kaum eine ungleiche Erwärmung der Wandungen, denn Aluminium hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit.

Wahrscheinlich werden die verschiedenen Arten von Luftströmungen verschiedenen Einfluß auf die Gleichgewichtslage haben, denn bei verschiedenen Waagen treten auch verschiedene Formen der Störkurven auf. Weitere Untersuchungen können erst zeigen, ob sich die einzelnen überlagernden Störglieder trennen lassen und ob die Ursachen sicher festzulegen sind.

Bei einer wesentlichen Verkleinerung der Drehwaagen besteht die Gefahr, daß die Störungen durch Konvektion im Verhältnis zur Empfindlichkeit stark zunehmen. Eötös*) führt bei der von ihm gebauten Miniaturdrehwaage mit einem τ von nur 0.002 und $K = 90$ das Auftreten erheblicher Störungen auf Konvektionsströme zurück. Die Verwendung dreier isolierter Metallzylinder und in Kupferschlangen zirkulierenden Wassers beseitigte die Fehler nicht. Gleiche Erfahrungen machte er mit einem Modell mit $\tau = 0.04$ und $K = 2000$. Bei den großen Waagen ist bekanntlich τ etwa 0.5 und $K \approx 26000$. Aus dem gleichen Grunde hat man wohl auch von neueren Konstruktionen extrem kleiner Waagen verschiedener Werkstätten wenig gehört.

Die Durchführung der Versuche wurde mir liebenswürdigerweise durch Herrn Prof. Barsch ermöglicht, indem er mir die Drehwaagen und das Laboratorium der Preußischen Geologischen Landesanstalt zugänglich machte. Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle der Geologischen Landesanstalt meinen Dank auszusprechen, insbesondere auch Herrn Prof. Barsch für die tatkräftige Unterstützung während der Arbeiten.

*) Vgl. Anm. S. 301.