

## 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](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009)

**LOG Id:** LOG\_0032

**LOG Titel:** Über die Messung der zeitlichen Schwankungen der Schwerebeschleunigung mit Gravimetern

**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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Über die Messung der zeitlichen Schwankungen der Schwerebeschleunigung mit Gravimetern

Von **R. Tomasehek** und **W. Schaffernicht** — (Mit 9 Abbildungen)

Es wird über die praktischen Ausführungsformen zweier Gravimetertypen und die mit ihnen erhaltenen Ergebnisse berichtet. Beim sogen. Interferenzgravimeter wird die Längenänderung einer Spirale durch Verschiebung von Interferenzstreifen gemessen. Die andere Form stellt ein verbessertes Bifilargravimeter dar. Befreiung von äußeren Störungen wird durch Arbeiten im luftdicht abgeschlossenen Raum und Anwendung von WT 10-Spiralen erreicht. Es werden dauernde Registrierungen der Schwerkraftschwankungen bis zu 0.001 Milligal (bzw. 0.01 Milligal beim Interferenzgravimeter) erhalten. Die Auswertung einer dreimonatigen Meßreihe wird mitgeteilt.

Die sehr interessanten theoretischen Ausführungen von Herrn Berroth über die Theorie der gravimetrischen Instrumente nach dem Prinzip der Bifilaraufhängung in dieser Zeitschrift **8**, 331 (1932) geben uns Veranlassung, schon jetzt kurz über unsere praktischen Erfahrungen mit Gravimetern an dieser Stelle zu berichten.

Während schon genaue Beobachtungen über die durch die Flutkräfte hervorgerufene Lotschwankung existieren, vor allem die mehrjährige Beobachtungsreihe von W. Schweydar mit dem Horizontalpendel in 187 m Tiefe bei Freiberg und Beobachtungen von Michelson und Gale in Amerika [neuere apparative Beiträge in dieser Richtung siehe Haalck\*) und J. Egedal\*\*), liegen entsprechend genaue Bestimmungen der Schwankungen der Vertikalkomponente der Schwerkraft noch nicht vor. Ein erster erfolgreicher Versuch ist von W. Schweydar mit dem Bifilargravimeter in Potsdam in 25 m Tiefe unternommen worden; eine fast einjährige Beobachtungsreihe lieferte für die Amplitude des  $M_2$ -Gliedes  $3.32 \cdot 10^{-8}$  g gegen den für eine starre Erde berechneten Wert von  $2.76 \cdot 10^{-8}$  g.

Mit Hilfe von Pendelmessungen konnten ferner Loomis, Brown und D. Brouwer\*\*\*) den Einfluß des Mondes auf die Schwereintensität nachweisen.

\*) Zeitschr. f. Geophys. **8**, 256 (1932).

\*\*) Ebenda **8**, 195 (1932).

\*\*\*) Monthly Notices of the Roy. Astronom. Soc. **91**, Nr. 4 (1931).

Die erhaltenen Ergebnisse gestatten noch keinen sicheren Schluß auf die Größe der Amplitude des  $M_2$ -Gliedes.

Messungen von Mielberg\*) und Courvoisier\*\*) mit einfachen Spiralen-gravimetern zeigten für die sonnentägliche bzw. Sternzeit-Periode sehr große Schwankungen, die die der Flutwirkungen um etwa das hundertfache übertreffen. Namentlich eine Überprüfung der letzteren war von größtem physikalischem Interesse vor allem auch wegen der Deutung derselben durch eine Lorentzkontraktion der Erde infolge deren kosmischer Bewegung, für welche sich nach den Gravimetermessungen von Courvoisier die Werte ergaben:  $A = 62^\circ$ ,  $D = + 32^\circ$ ,  $v = 543$  km/sec.

Letztere Frage war der Anstoß, uns mit dem Problem der zeitlichen Schwankung der Schwerkraft zu befassen. Von vornherein wurde dabei Wert darauf gelegt, die Untersuchungen mit solcher Genauigkeit durchzuführen, daß die Flutwirkungen mit Sicherheit nachweisbar waren, um eine Kontrolle der Apparatur zu haben. Die weitere Entwicklung der Apparatur führte uns dann dazu, auch die Flutwirkungen selbst auf das genaueste zu untersuchen. Es ergab sich nämlich, daß eine Wirkung der kosmischen Bewegung der Erde höchstens einen Einfluß von  $10^{-8}$  g haben kann. Da eine genaue Kenntnis der zeitlichen Schwankungen der Schwerkraft auch für verschiedene physikalische Probleme von großer Wichtigkeit ist, haben wir es unternommen, sie so genau als es möglich ist, zu untersuchen. Im vorliegenden soll, nachdem wir an anderer Stelle schon über unsere bisherigen Ergebnisse berichtet haben, hauptsächlich über die geophysikalisch in Betracht kommende Seite unserer Untersuchungen ein Überblick gegeben werden.

Wir haben, um möglichst unabhängige Ergebnisse zu erzielen, und auch um die für ausgedehntere geophysikalische Verwendung sehr wichtige praktische Brauchbarkeit zu prüfen, zwei verschiedene Typen entwickelt, das Interferenzgravimeter, mit dem wir bis jetzt eine Genauigkeit des dauernden Nachweises von periodischen Schwankungen bis zum Betrag von  $10^{-8}$  g ( $\sim 0.01$  Milligal) erreichen konnten und eine verbesserte Ausführungsform des Bifilargravimeters, bei dem die Grenze jetzt etwa bei  $10^{-9}$  g ( $\sim 0.001$  Milligal) liegt. Diese hohe Empfindlichkeit kann praktisch nur dadurch ausgenutzt werden, daß die äußeren Störungen im gleichen Maße mit der Empfindlichkeitssteigerung reduziert wurden. Die äußeren Störungen werden hauptsächlich hervorgerufen durch Schwankungen der Temperatur, des Luftdruckes, der Luftfeuchtigkeit, durch Bewegung und Erschütterungen des Bodens.

Bei beiden Instrumenten wird die Schwereänderung durch Beobachtung der Längenänderung einer belasteten Spirale nachgewiesen. Nur die Art des Nachweises dieser Verlängerung ist verschieden. Sollen Schwankungen von

---

\*) Publ. Obs. Astronom. Dorpat **27**, Nr. 4 (1932).

\*\*) Astron. Nachr. **226**, 241 (1926); **230**, 245 (1927); **234**, 137 (1928); **237**, 337 (1930); auch Phys. Zeitschr. **28**, 674 (1927).

$10^{-9}$  g festgestellt werden, so ist eine Längenänderung der Spirale von  $10^{-9}$  ihrer Verlängerung durch das Gewicht festzustellen. Da letztere praktisch nicht über die Größenordnung von 1 m getrieben werden kann, so handelt es sich um Längenänderungen von  $10^{-7}$  cm, die dauernd feststellbar sein sollen. Dies ist nur bei sehr großer Unabhängigkeit von der Temperatur möglich. Die Auswahl des Materials für die Spiralen ist daher eine der wichtigsten Aufgaben des instrumentellen Problems. Wir haben das Material WT 10 der Firma Krupp verwandt. Durch das Entgegenkommen der Firma Kuhbier, Dahlerbrück, waren wir in den Stand gesetzt, verschieden zusammengesetzte Legierungen zu untersuchen. Die Materialien wurden wochenlangen Temperungen verschiedenster Art unterworfen und die Einflüsse auf die verschiedenen Legierungen genau verfolgt. Insbesondere wurden das Verhalten gegen Temperaturänderungen, sowie die elastischen Nachwirkungen untersucht und schließlich die sich hierbei empirisch als beste erweisenden Legierungen verwendet.

**Interferenzgravimeter.** Das Prinzip ist, die Längenänderungen der Spirale durch die Verschiebung von Interferenzstreifen nachzuweisen.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung des Interferenzgravimeters. In einem vollkommen luftdicht geschlossenen Gehäuse befindet sich, an einem Torsionskopf aufgehängt, die mit einem Gewicht belastete Spirale. Die zur Feststellung der Änderung der Lage des Gewichtes dienenden Interferenzstreifen werden erzeugt durch das monochromatische Licht einer Hg-Lampe (Hg-Lichtspritze von Osram) zwischen einem Spiegel, der an der unteren Seite des Gewichtes angebracht ist, und einer in geringem Abstand darunter befindlichen halbdurchlässigen Kathetenfläche eines totalreflektierenden Prismas. Dadurch entsteht eine Luftplatte von variabler Dicke. Das auftreffende Licht wird zum Teil an der Kathetenfläche des Prismas, das durch diese Fläche hindurchgegangene an dem Spiegel des Gewichtes reflektiert. Beide Strahlen haben also einen Gangunterschied, der zur Ausbildung von Interferenzen führt. Änderungen der Dicke der Luftplatte rufen Verschiebungen der Interferenzstreifen hervor. Eine Änderung der Dicke der Luftplatte um eine Lichtwellenlänge verursacht (infolge des doppelten Weges des Lichtes in der Luftplatte) eine Verschiebung von zwei Interferenzstreifenbreiten. Da letztere mit genügender Schärfe etwa 5 mm betragen kann, so kann eine Längenänderung der Spirale von etwa  $5 \cdot 10^{-5}$  cm als Verschiebung

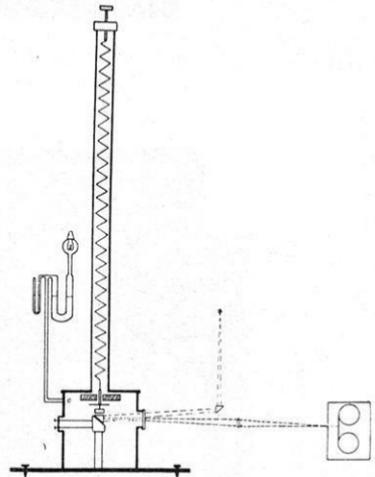


Fig. 1. Schematische Anordnung des Interferenzgravimeters

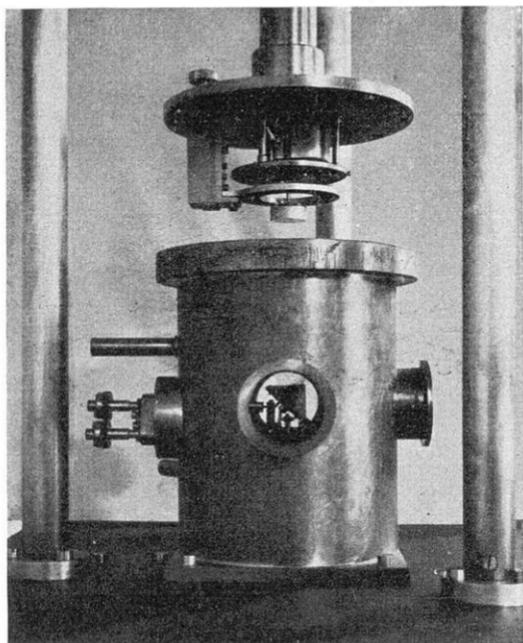


Fig. 2. Unterer Teil des Interferenzgravimeters  
(Deckel emporgehoben)

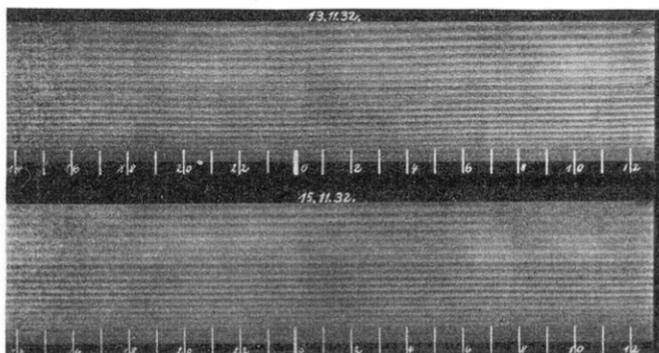


Fig. 3. Wiedergabe von Registrierstreifen des Interferenzgravimeters  
Oben: Thermisch gestört. Unten: Ungestört. (Verkleinerung 1:3)

von 1 cm gemessen werden. Eine Längenänderung von etwa  $5 \cdot 10^{-7}$  cm entsprechend einer Empfindlichkeit von  $5 \cdot 10^{-9}$  g kann also noch direkt als Streifenverschiebung von  $\frac{1}{10}$  mm gemessen werden. Die Interferenzstreifen werden durch eine Linse auf den Spalt eines Registrierapparates abgebildet und fortlaufend

registriert. Infolge des luftdichten Abschlusses haben Schwankungen des Luftdruckes und der Luftfeuchtigkeit keinen Einfluß auf die Längenänderung der Spirale. Im Innern des Gehäuses befindet sich außerdem zur Trocknung ein Gefäß mit  $\text{CaCl}_2$ . Die Eichung der Spirale erfolgt durch Auflegen von Zusatzgewichten. Die Längenänderung der Spirale wird mit dem Kathetometer gemessen. Die Empfindlichkeit des Gravimeters kann außerdem noch durch die in Fig. 1 links gezeichnete Druckvorrichtung bestimmt werden. Durch die Erwärmung eines Glühlampenvolumens wird eine Sperrflüssigkeit (Paraffinöl) verschoben und die Dichte der Luft im Gravimeter erhöht. Es entsteht dadurch eine Auftriebsänderung des Gewichtes, aus der die Empfindlichkeit bestimmt werden kann.

Das Gravimeter ist sehr empfindlich gegen Erschütterungen, die dauernde Vertikalschwingungen des Gewichtssystems hervorrufen. Ohne geeignete Dämpfungsvorrichtung ist ein Einstellen der Interferenzstreifen nicht möglich. Es wurde dadurch eine ausreichende Dämpfung erzielt, daß das Gewichtssystem mit einem magnetisch geprüften Kupferklötzchen verbunden wurde, das frei zwischen den Polen eines sehr starken permanenten Magneten sich bewegen konnte. Es wurde ferner sorgfältig festgestellt, daß das Kupferklötzchen keine räumlichen Schwankungen seiner Suszeptibilität zeigte, da sonst Ungleichmäßigkeiten in der Empfindlichkeit des Apparats durch magnetische Wirkungen auftreten würden. Es zeigten sich im Verlauf sehr viel weiterer Bereiche, als sie für die Registrierung der Schwereschwankungen in Betracht kommen, keine Unregelmäßigkeiten. Fig. 2 gibt eine photographische Aufnahme des unteren Teiles des Gravimeters, in der sich die Interferenzanordnung und die Dämpfungsvorrichtung befindet, wieder. Das obere Rohr, das bei Gebrauch mit dem unteren Gehäuse luftdicht verschraubt ist, ist nach oben gehoben, so daß das Gewichtssystem mit der Arretierungs- und der Dämpfungseinrichtung zu erkennen ist. Durch das seitliche Fenster sieht man das unter dem Gewicht befindliche totalreflektierende Prisma. Dieses kann durch zwei Feinverstellungen in seiner Lage so eingestellt werden, daß die Kathetenfläche parallel zur Spiegelfläche liegt.

In Fig. 3 sind als Beispiele zwei Registrierstreifen wiedergegeben. Es ist dabei oben ein Streifen mit stärkerer thermischer Störung gewählt, um das Schwanken der Interferenzstreifen deutlicher zu zeigen, da die Schwankungen der Schwerkraft durch die Flutwirkungen, wie der untere Streifen zeigt, nur etwa  $\frac{3}{4}$  Streifenbreite betragen.

**Bifilargravimeter.** Das Prinzip dieses Gravimeters ist, durch Koppelung der Spirale mit einer Bifilaraufhängung die Längenänderungen in Drehungen zu verwandeln. Da bei dieser Koppelung eine labile Lage existiert, so ist es möglich, theoretisch beliebig hohe Empfindlichkeiten zu erreichen. Wegen der Theorie des Instruments und der Einzelheiten der Ausführung sei auf die ausführliche Veröffentlichung in den Annalen der Physik verwiesen\*).

\*) Ann. d. Phys. **15**, 787 (1932). Siehe ferner die eingangs angeführte Arbeit von Berroth.

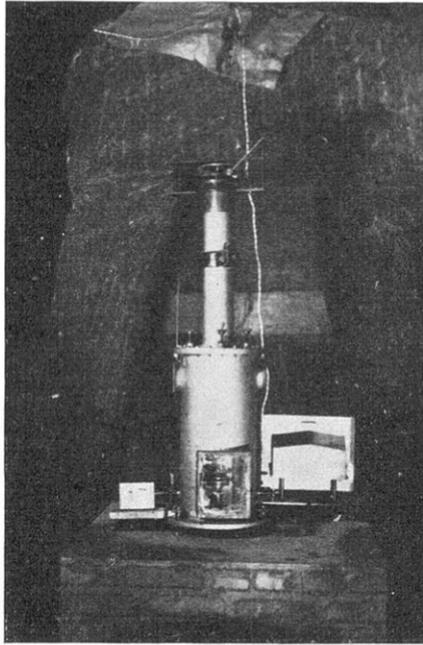


Fig. 4  
Neue Ausführungsform des Bifilargravimeters

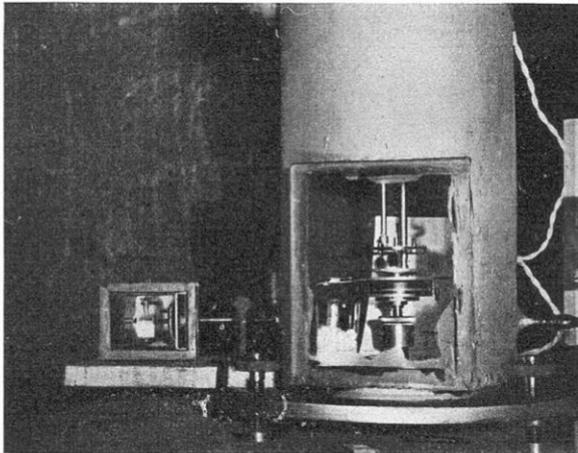


Fig. 5  
Unterer Teil des Bifilargravimeters

Wesentlich für ein gutes Arbeiten des Instruments ist es, einen Bereich zu wählen, in dem die Empfindlichkeit zwar sehr hoch ist, sich aber doch bei der unvermeidlichen Änderung der Ruhelage durch den dauernden Gang nicht allzu stark ändert. Wegen der Abhängigkeit von der Einstellung muß die Empfindlichkeit häufig bestimmt werden. Es wurde daher mit dem Gravimeter eine elektrostatische Eichvorrichtung verbunden. Der untere Teil des Gewichtssystems ist sehr gut plan geschliffen und bildet die bewegliche Platte einer Spannungswaage. Im Abstand von 1 cm darunter ist isoliert eine zweite Platte befestigt, die während der Eichung auf eine bestimmte Spannung aufgeladen wird. Infolge der Anziehung zwischen beiden Platten entsteht ein Ausschlag, entsprechend einer scheinbaren Gewichtsvermehrung, aus dem die Empfindlichkeit berechnet werden kann. Die gesamte gravimetrische Anordnung befindet sich in einem stabilen, nach außen luftdicht abgeschlossenen Gehäuse. Die Einstellung des Instruments erfolgt durch Drehdurchführungen, die als Schlitze ausgebildet sind. Besondere Sorgfalt mußte auf die Konstruktion des Torsionskopfes, an dem die Spirale befestigt ist, verwandt werden. Der Druck im Gravimetergehäuse und die Temperatur des Aufstellungsraumes wurden während der Registrierung laufend beobachtet. Fig. 4 zeigt die technische Ausführung des Instruments, Fig. 5 vergrößert den unteren Teil, in dessen Innerem man das Ende der Spirale mit dem angehängten Gewicht sowie die Kondensatoreinrichtung sieht. Links ist das Barometer zur Druckkontrolle auf Dichtheit des Apparates angeschlossen, rechts sieht man die Zuleitung zur Spannungseichung. Eine Untersuchung der Neigungsempfindlichkeit des endgültig aufgestellten Apparates zeigte, daß die Störung durch Neigungen unter der Genauigkeitsgrenze der Feststellung der Schwerewirkungen liegt \*).

Die Aufstellung beider Instrumente erfolgte auf festen Steinsockeln 25 m tief unter der Erde in einem Felsenkeller, der in den massiven Sandstein einer Bergwand eingehauen war. Zur Erhöhung der Temperaturkonstanz war der Keller in mehrere Räume unterteilt. Der hinterste Raum, in dem die Gravimeter aufgestellt waren, durfte während der Registrierung nicht betreten werden. Die Registriereinrichtungen befanden sich im Nachbarraum. Die Registrierungen erfolgten durch ein Spiegelglasfenster der Trennungswand. Ein zweites Bifilargravimeter ist seit einiger Zeit im Salzbergwerk in Berchtesgaden in 140 m Tiefe aufgestellt.

Die Ausschläge des Bifilargravimeters wurden in Marburg/Lahn seit April 1932 fortlaufend registriert. Die 21 cm breiten Registrierstreifen wurden mit einer Geschwindigkeit von 5 mm/Stunde transportiert. Fig. 6 ist eine verkleinerte Kopie der Registrierung vom 21. bis 28. Januar 1933. Auf dem Registrierstreifen sind die Tage, Stunden, Deklination des Mondes und der obere und untere Meridiandurchgang des Mondes eingezeichnet. Die Stundenzeichen wurden durch ein mit einer Pendeluhr verbundenes Glühlämpchen gegeben und zwar erfolgte der

---

\*) Die Firma Askaniawerke, Berlin, beabsichtigt den Bau dieser Instrumente zu übernehmen.

Abriß des Stundenkontaktes der Uhr am Ende der vollen Stunde (M. E. Z.). Die Gravimeterkurve zeigt sehr ausgeprägte Schwankung der Schwerkraft. Die Richtung der Schwankung ist durch den am Rande gezeichneten Pfeil gegeben. Der Einfluß des Mondes ist im Kurvenbild am deutlichsten zu erkennen. Die (tieferen) Minima bleiben ungefähr  $1\frac{1}{2}$  Stunde hinter dem unteren Meridiandurchgang des Mondes zurück. Die am Anfang des Streifens fast ganztägige Periode zeigt mit zunehmender Zeit einen immer stärker werdenden halbtägigen Einfluß. Dieses Verhalten wird durch die Veränderung der Deklination des Mondes verursacht, die am Anfang des Registrierstreifens  $-23^{\circ}$  und am Ende  $-4^{\circ}$  beträgt. Der Einfluß der Sonne auf die Schwerkraft ist im Kurvenbild nur schwach zu erkennen.

Die Registrierkurve in Fig. 6 zeigt einen schwachen Gang. Dieser wird durch eine langsame Längenänderung der Spirale verursacht. Bei dem in Marburg

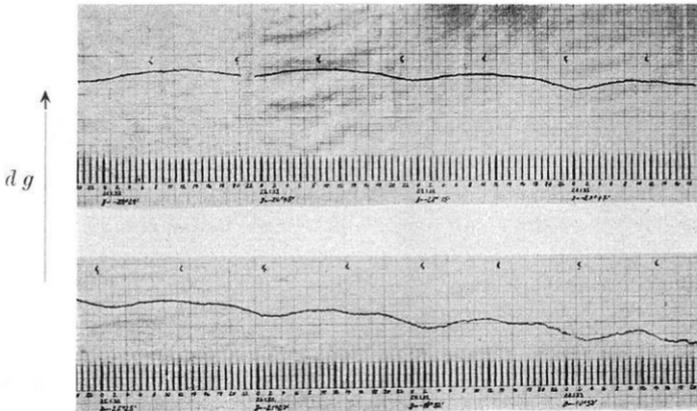


Fig. 6. Verkleinerte Wiedergabe einer Registrierkurve des Bifilargravimeters (Verkleinerung 1:6)

aufgestellten Gravimeter zieht sich die Spirale zusammen. Diese Eigenschaft ist durch die Vorbehandlung und das Material der Spirale bedingt. Ursprünglich war der Gang der Spirale stärker. Er verschwindet aber im Laufe der Zeit immer mehr. Die Spirale scheint sich einem stabilen Endzustand zu nähern. Je geringer der Gang ist, um so empfindlicher läßt sich das Gravimeter für die Dauerregistrierung einstellen. Die durch den Gang verursachte Empfindlichkeitsänderung muß bei der Auswertung der Kurve berücksichtigt werden. Fig. 7 zeigt die Empfindlichkeit des Gravimeters als Funktion der Registrierstelle auf dem Registrierstreifen aus Beobachtungen zu sehr verschiedenen Zeiten. Durch die elektrostatische Eichmethode lassen sich die Empfindlichkeitswerte mühelos für die verschiedenen Einstellungen des Gravimeters gewinnen. Die Empfindlichkeitskurve ändert sich nicht mehr, wenn einige Zeit nach der Auf-

stellung des Gravimeters die größten Nachwirkungen überwunden sind. In Fig. 6 ist die Empfindlichkeit des Gravimeters im Mittel so, daß Änderungen von  $10^{-8}$  g

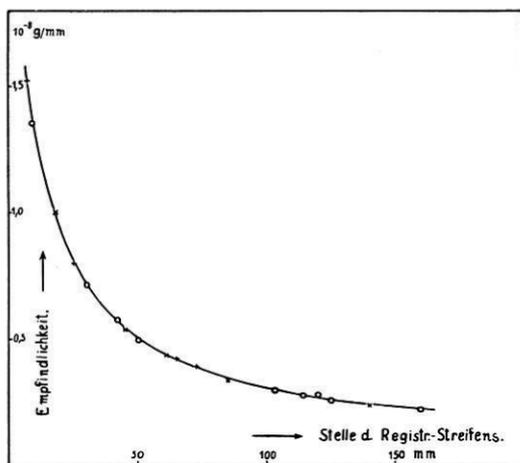


Fig. 7. Empfindlichkeitskurve des Bifilargravimeters

mit 1 mm Ausschlag angezeigt werden. Die höchste brauchbare Empfindlichkeit betrug 2 mm Ausschlag (in 5 m Registrierentfernung) für  $10^{-8}$  g.

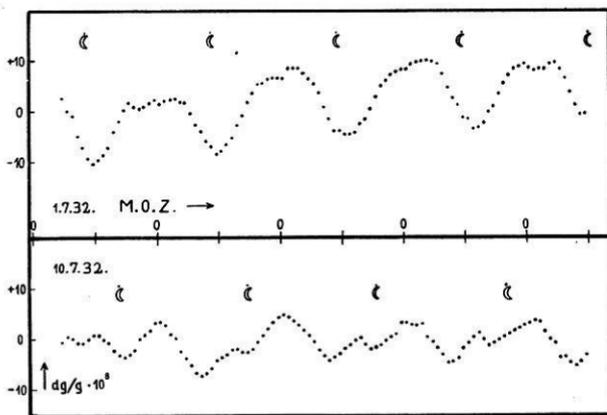


Fig. 8. Auf gleiche Empfindlichkeit reduzierte Schwereschwankungskurven (ohne Ausgleichung). Oben Sturmflut, unten Nipplut

Bei der Auswertung der Kurven werden zunächst die abgelesenen Gravimeterausschläge mit Hilfe der Empfindlichkeitskurven auf gleiche Empfindlichkeit umgerechnet und darauf die Kurven graphisch vom Gang befreit. Man erhält auf diese Weise Kurven, wie sie Fig. 8 zeigt.

**Ergebnisse.** Die Registrierungen mit dem Interferenzgravimeter erstreckten sich zunächst über einen Zeitraum von 2 Monaten. Die Aufstellung des Instruments erfolgte schon 3 Monate vorher, so daß sich bis zur endgültigen Registrierung die durch die Aufstellung bedingten größten Nachwirkungen des Instruments ausgeglichen hatten. Das Gravimeter zeigte nach der Aufstellung zunächst einen sehr starken Gang, der durch eine dauernde Verlängerung der Spirale verursacht wurde. Die Verlängerung betrug in den ersten Tagen ungefähr  $10^{-3}$  cm/Tag und war im Verlauf von 3 Monaten auf ungefähr  $10^{-5}$  cm/Tag zurückgegangen. In Fig. 3 ist ein Stück eines Registrierstreifens wiedergegeben. Die Interferenzen wurden auf 60 mm breiten photographischen Filmen, die mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/Stunde transportiert wurden, abgebildet. Die Einzelregistrierungen erstreckten sich über einen Zeitraum von 2 bis 4 Tagen. Die quer zur Streifenrichtung gezeichneten Marken sind Stunden-

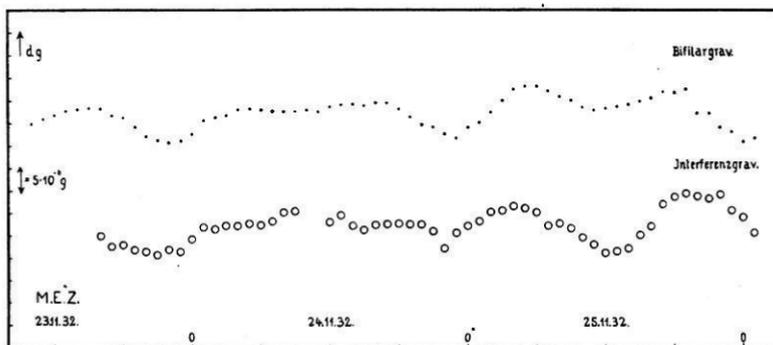


Fig. 9. Vergleich von gleichzeitig erhaltenen Registrierungen des Bifilar- und des Interferenzgravimeters

zeichen (M. E. Z.). Die Empfindlichkeit des Instruments beträgt  $3.38 \cdot 10^{-7}$  g pro Streifenbreite. Zur Auswertung wurden von den Filmen sehr kontrastreiche Kopien hergestellt; auf diesen wurden drei bis fünf parallele Interferenzstreifen auf  $1/10$  bis  $1/20$  Streifenbreite entsprechend einer linearen Abmessung von  $1/5$  bis  $1/10$  mm genau ausgemessen und die mittleren Schwankungen der Interferenzstreifen bestimmt. Die Genauigkeit der Auswertung betrug ungefähr  $\pm 2 \cdot 10^{-8}$  g und blieb etwa eine Größenordnung unter der des Bifilargravimeters. Da bei sorgfältiger Auswertung sich noch Verschiebungen von  $1/50$  Streifenbreite nachweisen lassen, können mit dieser Anordnung noch Schwereänderungen von  $0.7 \cdot 10^{-8}$  g nachgewiesen werden. Wir beschränkten uns zunächst darauf, die Parallelität der Ausschläge beider Gravimeter nachzuweisen. In Fig. 9 sind die vom Bifilargravimeter und Interferenzgravimeter zu gleicher Zeit erhaltenen Registrierungen untereinander gezeichnet. Beide Kurven zeigen befriedigende Übereinstimmung. Beim Vergleich muß berücksichtigt werden, daß die Genauigkeit des Interferenzgravimeters um das zehnfache unter der des Bifilargravimeters

bleibt und im vorliegenden Falle noch ein merklicher Temperatureinfluß auf das Interferenzgravimeter vorhanden war. Dies hatte seine Ursache darin, daß die Spirale zwar fast vollkommene Temperaturunabhängigkeit bei + 20° zeigte, bei welcher Temperatur sie im Laboratorium untersucht war. Da die Kellertemperatur aber nur + 9° C beträgt, war die Bedingung der Temperaturunabhängigkeit nicht mehr erfüllt. Man sieht diesen Einfluß sehr deutlich an dem Punkt um 12 Uhr am 24. November 1932, wo die Nachwirkung der Erwärmung des Vorraumes infolge der Auswechslung des Registrierfilms noch deutlich zu erkennen ist. Wie ein Vergleich der Registrierungen zeigt, ergibt sich innerhalb der oben angegebenen Fehlergrenze eine sehr gute Übereinstimmung.

Tabelle 1. Werte der Flutglieder für Marburg

Tide	Koeffizient (Amplitude)	Periode (Stde.)	Phase
$M_2$	$7.60 \cdot 10^{-8} \cdot \cos^2 \varphi$	$3.03 \cdot 10^{-8}$	$2(t_0 - \lambda) + 2(h_0 - s_0) + 2(\xi - \nu)$
$S_2$	$3.55 \cdot 10^{-8} \cdot \cos^2 \varphi$	$1.44 \cdot 10^{-8}$	$2(t_0 - \lambda)$
$N$	$1.48 \cdot 10^{-8} \cdot \cos^2 \varphi$	$0.58 \cdot 10^{-8}$	$2(t_0 - \lambda) + 2(h_0 - s_0) + 2(\xi - \nu) - s + p$
$K_2$	$0.96 \cdot 10^{-8} \cdot \cos^2 \varphi$	$0.38 \cdot 10^{-8}$	$2(t_0 - \lambda) + 2h_0 - 2\nu''$
$K_1$	$4.45 \cdot 10^{-8} \cdot \sin 2\varphi$	$4.36 \cdot 10^{-8}$	$t_0 - \lambda + h_0 - \nu' - 90^\circ$
$O$	$3.17 \cdot 10^{-8} \cdot \sin 2\varphi$	$3.10 \cdot 10^{-8}$	$t_0 - \lambda + h_0 - 2s_0 + 2\xi - \nu + 90^\circ$
$P$	$1.48 \cdot 10^{-8} \cdot \sin 2\varphi$	$1.45 \cdot 10^{-8}$	$t_0 - \lambda - h_0 + 90^\circ$
$Mf$	$1.30 \cdot 10^{-8} \cdot (\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \sin^2 \varphi)$	$-0.54 \cdot 10^{-8}$	$327.8592 \quad 2(s - \xi)$

$$\text{Marburg/Lahn: } \lambda = 8.8^\circ; \quad \varphi = 50.81; \quad \frac{dg}{g} = -\Sigma A \cos(it + V)$$

Aus den Kurven der Gravimeter werden durch harmonische Analyse die Amplitude  $R$  und die Phasen  $\varphi$  der einzelnen Flutglieder berechnet. Tabelle 1 gibt zunächst eine Zusammenstellung der theoretisch zu erwartenden Werte für vollkommen starr gedachte Erde. Um wenigstens einen vorläufigen Überblick zu geben, wurde eine Analyse über ein dreimonatiges lückenloses Beobachtungsmaterial des Bifilargravimeters vorgenommen. Man erhält in bekannter Weise die Größen  $R$  und  $\zeta$  des Ausdrucks  $dg/g = R \cos(it - \zeta)$  für jedes einzelne Flutglied. Die so gewonnenen Werte, die in Tabelle 2 mit  $R_{\text{beob.}}$  und  $\zeta_{\text{beob.}}$

Tabelle 2. Konstanten der Flutglieder der Schwerkraftschwankung

Tide	$R_{\text{beob.}}$	$R_{\text{korr.}}$	$1/f$	$H_{\text{beob.}}$	$H_{\text{theor.}}$	$\delta$	$\zeta_{\text{beob.}}$	$\zeta_{\text{korr.}}$	$V_0 + u$	$z$	$\Delta\tau = \frac{z}{i}$
$M_2$	1.62	1.61	1.038	1.67	3.03	0.55	128.9°	129.0°	272.7°	41.7°	+ 1.44 h
$O$	1.83	1.86	0.846	1.57	3.10	0.51	222.5°	218.0°	156.4°	14.4°	+ 1.03

bezeichnet sind, enthalten noch wegen der Kürze des Beobachtungszeitraumes den Einfluß der übrigen Glieder. Dieser kann durch ein von Börgen angegebenes Korrektionsverfahren eliminiert werden. Man erhält auf diese Weise die Werte für  $R_{\text{korr.}}$  und  $\zeta_{\text{korr.}}$ . Diese Werte müssen noch wegen der 19jährigen Periode des Mondes mit dem Reduktionsfaktor  $1/f$  multipliziert werden, um zeitlich

unabhängige Mittelwerte, die mit  $H_{\text{beob.}}$  angegeben sind, zu gewinnen. Unter  $H_{\text{theor.}}$  sind die für vollkommen starr gedachte Erde berechneten Amplituden aus Tabelle 1 noch einmal angeführt.  $\delta$  bedeutet das Verhältnis  $H_{\text{beob.}}/H_{\text{theor.}}$ .  $R$  und  $H$  sind in Einheiten von  $10^{-8} g$  angegeben.  $V_0 + u$  bedeutet den astronomischen Teil des Arguments zu Anfang des Beobachtungszeitraumes,  $\varkappa = \zeta + (V_0 + u)$  die Phasenverschiebung, wobei ein positiver Wert des letzteren eine Verzögerung der Wirkung des Gestirnes bedeutet. Die letzte Spalte der Tabelle gibt die Phasenverschiebung in Stunden an.

Von den so bestimmten Gliedern kann die innere Genauigkeit von  $M_2$ , wie Vergleiche der Ergebnisse verschiedener Monate zeigen, auf etwa 1 bis 2%, die von  $O$  auf etwa 10% geschätzt werden. Die anderen Glieder sind bei der Kürze des Beobachtungszeitraumes nur der Größenordnung nach erhältlich, doch können über ihre Größe schon folgende Aussagen gemacht werden: Die Sternzeitglieder zeigen keinen Einfluß einer kosmischen Bewegung der Erde, der größer als  $10^{-8} g$  wäre. Die Amplitude der sonnenzeitlichen Glieder ist ebenfalls abschätzbar. Es zeigt sich, daß  $S_1$  jedenfalls nicht die Amplitude von  $M_2$  überschreitet. Es ist dies bemerkenswert, da bei Horizontalpendelmessungen in gleicher Tiefe (25 m unter der Erdoberfläche) sich Amplituden von etwa zehnfacher Größe ergaben\*).  $S_2$  hat, wie schon direkt aus den Kurven zu sehen ist, eine sehr kleine Amplitude, die etwa 30% kleiner ist als es ihrem theoretischen Verhältnis zu  $M_2$  entspricht. Es ist dies wohl durch Interferenz mit einer Schwingung meteorologischen Ursprungs von nahe entgegengesetzter Phase zu erklären.

Man kann aus dem Amplitudenverhältnis  $\delta$  in Verbindung mit dem Amplitudenverhältnis der Horizontalpendelbeobachtungen  $\gamma$  die Flut der festen Erde berechnen, wie dies zuerst Schweydar getan hat. Benutzt man die Schweydarschen Werte von  $\gamma$ , so kommt man mit den von uns erhaltenen Werten von  $\delta$  zu einer Deformation der festen Erde für  $M_2$  von  $\pm 23$  cm, für  $O$  von  $\pm 18$  cm.

Da demnächst das Material einer einjährigen Beobachtungsreihe zur Verfügung stehen wird, seien die eingehenden Diskussionen, die sich an die harmonische Analyse knüpfen, bis zum Vorliegen dieses endgültigen Materials zurückgestellt. Nähere Ausführungen über die bis jetzt erhaltenen Messungen finden sich in den Ann. d. Phys. 15, 812 (1932) sowie in den Sitzungsberichten der Marburger Gesellschaft zur Förderung der Naturwissenschaften 1932\*\*).

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, sowie der Helmholtzgesellschaft sind wir für mannigfache Unterstützung zu großem Dank verpflichtet.

\*) Vgl. z. B. W. Schweydar: Zentralbur. Int. Erdm. N. F. 38, 51 (1921).

\*\*\*) Verlag Elsner, Berlin.

Marburg, im Februar 1933.