

## 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\_0049

**LOG Titel:** Die Flut der festen Erde

**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)

2. Die Erde könnte elastische Trägheit besitzen. In der Tat treten in den Registrierungen die Extreme der Flutkräfte mit einigen Stunden Verspätung auf. Dann darf das so gewonnene  $\delta$  aber nicht in die Formeln (1) eingesetzt werden. Denn diese gelten streng genommen nur für eine Phasenverzögerung gleich Null. Anderenfalls werden die aus ihnen abgeleiteten Hubhöhen falsch.

3. Die Methode, nach der  $\bar{\delta}g$  aus den Registrierungen ermittelt wurde, ist nicht einwandfrei. Die Verfasser lösen ihre dreimonatige Registrierung in Partialtiden auf. Mir scheint, daß dadurch einige Unsicherheit entstanden ist.

4. Die Apparatur hat das  $\bar{\delta}g$  nicht dem vollen Betrag nach, sondern nur einen Teil davon gemessen;  $\bar{\delta}g$  ist in Wahrheit also größer. Ein derartiger Fehler ist bei den elastischen Eigenschaften des in der Spiralfeder des Bifilars verwendeten Stahls (eine Art Elinvar) durchaus möglich, sogar sehr wahrscheinlich.

Ich bin auf die unter 3. und 4. genannten Punkte, von denen ich den letzten für besonders wichtig halte, an anderer Stelle\*) eingegangen und möchte meine dortigen Ausführungen hier nicht wiederholen. Die vorstehenden Zeilen haben vielmehr nur den Zweck, auf die Bedenken hinzuweisen, die sich gegen die von den Verfassern abgeleiteten großen Hubhöhen der festen Erde ergeben. Die auf anderem Wege gefundenen Werte für  $h$  und  $k$  der Gleichung (1) erscheinen heute noch viel zuverlässiger.

---

\*) Ann. d. Phys. (5) 17, 725 (1933).

## Die Flut der festen Erde

Von **R. Tomaschek** und **W. Schaffernicht**, Marburg/Lahn

Es werden Ergebnisse gleichzeitiger Messungen der zeitlichen Schwankungen des Betrages der Schwerkraft in Marburg/Lehn und Berchtesgaden (Entfernung 500 km) mitgeteilt. Es ergibt sich an beiden Orten eine relativ gleiche Amplitude der Schwereschwankung ( $\delta = 0.6$ ), während sehr starke und zwar entgegengesetzte Phasenverschiebungen festgestellt werden. Dies weist auf bedeutende, von den bis jetzt theoretisch erfaßten Wirkungen weit abweichende Bewegungen hin. Es wird ferner gezeigt, daß gegen die erhaltenen Ergebnisse erhobene Einwände unbegründet sind.

Da die vorstehenden Ausführungen von Herrn Kleinschmidt auf unsere Arbeiten Bezug nehmen, seien uns einige Bemerkungen hierzu gestattet.

Um begriffliche Klarheit von vornherein festzulegen, sei darauf hingewiesen, daß die aus der Gleichung  $\gamma = 1 + h - k = \frac{\delta \varphi(a)}{\delta \varphi}$  sich ergebende Größe  $\gamma$  nicht „das Verhältnis der tatsächlich beobachteten, durch das Gestirn hervorgerufenen Lotstörung im Azimut  $a$  an der Erdoberfläche zu der theoretisch berechneten Lotstörung, wenn die Erde vollständig starr wäre“, darstellt. Sie ist

vielmehr das Verhältnis einer idealen Lotstörung auf einer meerfreien, rein elastisch nachgebenden Erde zu der theoretisch berechneten. Es ist daher den Berechnungen nicht der beobachtete Wert  $\gamma_{\text{beob.}}$  zugrunde zu legen (von Schweydar für  $M_2$  zu 0.61 bzw. 0.54 beobachtet), sondern der von den Einflüssen anderer Art (Meeresinflüsse, Eigenbewegungen der Erdkruste) befreite Wert, der im folgenden mit  $\gamma_{\text{el.}}$  bezeichnet sei (von Schweydar aus seinen Beobachtungen für  $M_2$  zu 0.84 berechnet). Das entsprechende gilt für  $\delta$ , wo wir also zwischen  $\delta_{\text{beob.}}$  und  $\delta_{\text{el.}}$  zu unterscheiden haben.

Bekanntlich sind durch Kombination der Gleichungen  $\gamma_{\text{el.}} = 1 + h - k$  und  $\delta_{\text{el.}} = 1 - \frac{3}{2}h + k$  die Größen  $h$  und  $k$ , die die Verformung der Niveauflächen bzw. der festen Erde charakterisieren, berechenbar, wie Schweydar gezeigt hat. Da unsere Versuche — wohl zum ersten Male wirklich zuverlässig — einen Wert von  $\delta_{\text{beob.}}$  geliefert hatten, haben wir versucht, probeweise aus dem besten Wert von  $\gamma_{\text{el.}}$  und diesem  $\delta$ -Wert, ihn zunächst für  $\delta_{\text{el.}}$  substituierend, die Bewegung der festen Erdkruste zu berechnen. Die Berechtigung dazu ist daraus zu entnehmen, daß aus den vor unserer Arbeit vorhandenen Vorstellungen — wie das ja auch in den Ausführungen von Herrn Kleinschmidt zum Ausdruck kommt — keine allzu starken störenden Einflüsse auf  $dg$  zu erwarten waren und trotz der vorhandenen Phasenverschiebung ein wenigstens größenordnungsmäßiger Wert gewonnen werden sollte. Denn bis jetzt wird immer der von Schweydar angegebene Wert hierfür zugrunde gelegt, obwohl wir — ohne die Bedeutung dieser hervorragenden Pionierarbeit damit mindern zu wollen — das von ihm beobachtete  $\delta_{\text{beob.}}$  noch als sehr unsicher betrachten müssen, und die beobachtete geringe Phasenverschiebung nach unseren heutigen Beobachtungen sehr durch die zufällige Lage des Beobachtungsortes bedingt scheint. Aus diesen Gründen war eine derartige Berechnung erwünscht, wobei probeweise das beobachtete  $\delta$  zugrunde gelegt wurde, da für eine Reduktion auf  $\delta_{\text{el.}}$  noch keine Handhaben vorliegen, im Gegenteil die sich ergebenden Größen Hinweise auf solche liefern.

Daß aber der erhaltene Wert durchaus noch problematisch ist, haben wir in unserer Arbeit\*) ausdrücklich betont. Es heißt dort (S. 823): „Die Berechnung dieser Werte fußt auf der Voraussetzung  $\delta V = h \cdot \delta W$ . Es ist nach obigen experimentellen Ergebnissen fraglich, ob man sie hier als gültig ansehen darf.“

Die Nichtgültigkeit dieser Voraussetzung kann zwei Gründe haben. 1. Eine starke Phasenverschiebung. Wenn diese Phasenverschiebung aber gleichmäßig über die ganze Erde erhalten bleibt, so erfolgt die Deformation der Erde doch wieder in erster Näherung zu einem Ellipsoid, so daß  $h$  seinen Sinn beibehält, wenn es auch in komplizierterer Weise aus den Beobachtungen abgeleitet werden muß. 2. Eine Kipp- oder Schaukelbewegung mehr oder weniger großer Teile der Erdkruste. Dann muß erst eine Reduktion der durch diese Bewegungen hervorgerufenen Schwereschwankungen erfolgen, wie man dies — wie es scheint mit

---

\*) R. Tomaschek u. W. Schaffernicht: Ann. d. Phys. **15**, 787 (1932).

Erfolg — für die  $\gamma$ -Werte bereits erreicht hat. Unsere gleichzeitigen Beobachtungen der Schwerkraftschwankung in Marburg/Lahn ( $\varphi = 50.81^\circ$ ,  $\lambda = 8.8^\circ$ ) und Berchtesgaden ( $\varphi = 47.63^\circ$ ,  $\lambda = 12.98^\circ$ ), über deren erste Ergebnisse demnächst in den Annalen der Physik berichtet werden wird, zeigen, daß trotz sehr verschiedener Phasenverschiebungen doch der Wert von  $\delta$  für die einzelnen Orte sehr nahe gleich ist. Wenn dies auch noch ein Zufall sein könnte, so unterstützt dieses Ergebnis doch sehr den oben angegebenen Versuch der Rechnung. Die Größe der auf Grund unserer Beobachtungen sich danach ergebenden Deformationen, die mit den einer rein elastisch gedachten Erde nicht übereinstimmen, wurde von uns als Anzeichen einer starken Eigenbewegung der Erdkruste gedeutet. Es ist von Interesse, daß auch Berroth\*) auf Grund einer Analyse der Restglieder der Schweydarschen Beobachtungen zum gleichen Ergebnis kommt.

Unsere gleichzeitigen Beobachtungen Marburg/Lahn-Berchtesgaden (Basis 500 km) hatten folgendes Ergebnis (Ausführliches siehe Annalen der Physik): Das  $M_2$ -Glied zeigt in Berchtesgaden dieselbe Größe ( $\delta_{\text{beob.}} = 0.57$ ) wie in Marburg. Es ist aber eine starke Phasenverschiebung in entgegengesetzter Richtung vorhanden, nämlich in Berchtesgaden eine Verfrühung des Maximums der Wirkung gegenüber der theoretisch berechneten um 1 Stunde. Es tritt demnach das Maximum der Wirkung in Marburg 2 Stunden später auf als in Berchtesgaden, obwohl der Mond nur 16 Minuten später in Marburg kulminiert. Das weist auf sehr bedeutende, von den bis jetzt theoretisch erfaßten Wirkungen weit abweichende Bewegungen hin. Diese Beobachtungen zeigen aber auch, daß die Vertikalbewegungen des Erdbodens (von trivialen Gründen wie der starken Bodenbewegung in Meeresnähe abgesehen) wahrscheinlich für die einzelnen Orte der Erdkruste sehr verschieden ist, je nach der Überlagerung dieser besonderen Bewegung mit der direkten Flutwirkung des Gestirns. Ein Versuch der Berechnung der wirklichen Erdbewegung aus der Kombination von  $\gamma_{\text{el.}}$  und  $\delta_{\text{beob.}}$  wird dadurch natürlich illusorisch. Wenn man also bis vor unseren Beobachtungen mit einem Werte von etwa 16 cm für die Vertikalamplitude von  $M_2$  gerechnet hat, so muß ausdrücklich betont werden, daß für die Annahme dieses Wertes heute keine Berechtigung mehr vorliegt.

Herr Kleinschmidt möchte aber in seinen Ausführungen den alten Wert (wenigstens ungefähr) beibehalten und muß dadurch notwendigerweise die Realität unserer Ergebnisse anzweifeln. Zu den einzelnen Punkten 1. bis 4. seiner Einwände ist folgendes zu bemerken.

1. Die Berechnung, daß  $\delta_{\text{beob.}} \geq 1$  sein muß, ist nicht stichhaltig, da die von uns beobachtete große Phasendifferenz der Beobachtungsorte anzeigt, daß die Erdkruste nicht als Ellipsoid deformiert wird. Es ist nach unseren experimentellen Ergebnissen eine viel stärkere Bewegung der Erdkruste anzunehmen als man bisher geglaubt hat. Daß dabei auch ziemlich große vertikale Schwankungen des Beobachtungsortes möglich sind, ergibt sich aus den Rechnungen von Berroth,

\*) A. Berroth: Nachr. d. Ges. f. Wiss., Göttingen, Math. Phys. Kl. 1932, S. 449.

der die Ursache im Golf von Guinea und aus den Rechnungen von Schweydar, der eine Schaukelbewegung zwischen dem Indischen Ozean und dem Arktischen Meer auf Grund seiner Beobachtungen vermutet. Bei genügender Entfernung von der Kippachse (auch Amphidromien sind durchaus möglich) können bei geeigneter Lage des Beobachtungsortes recht merkliche vertikale Bewegungen des Beobachtungsortes bzw. durch die Deformation der Umgebung bedingte Schwerkräfteinflüsse vorkommen. Man darf durchaus nicht von vornherein einen beobachteten  $\delta$ -Wert, der mit der sehr formalen Theorie nicht übereinstimmt, deswegen verwerfen.

2. Auf diesen Punkt ist schon oben eingegangen worden.

3. Herr Kleinschmidt bemängelt die Anwendung der harmonischen Analyse durch Partialtiden. Er schlägt vielmehr in seinen ausführlicheren Bemerkungen in den Ann. d. Phys. 17, 725 (1933) einen Vergleich mit der für jeden Zeitpunkt zu berechnenden Gesamtwirkung des Gestirns vor. Wir kommen eingehender auf diesen Einwand in der demnächst in den Annalen der Physik erscheinenden Arbeit zurück. Hier sei nur bemerkt, daß er nicht gerechtfertigt ist und zwar aus folgenden Gründen:

a) Es stimmen nämlich die aus der harmonischen Analyse berechneten Amplitudenwerte für  $M_2$  sowohl aus einer dreimonatigen Analyse April bis Juli 1932, als auch einer ebensolchen Analyse Mai bis August 1933, sowie die Analyse des ganzjährigen lückenlosen Beobachtungsmaterials April 1932 bis April 1933 innerhalb von 3% überein. Dies ist nicht nur ein Beweis für die Güte des Beobachtungsmaterials, sondern auch für die Einwandfreiheit der von uns seinerzeit angegebenen Werte der dreimonatigen Beobachtungsreihe.

b) Das von Herrn Kleinschmidt empfohlene Verfahren ist in der von ihm angewendeten Form sehr bedenklich und muß zu zu hohen Werten von  $\delta$  führen. Bekanntlich enthalten die Flutglieder kein 24stündiges Sonnenglied ( $S_1$ ). Nun hat aber eine ganze Reihe von störenden Einflüssen (Temperatur, Luftdruck, Bodenbewegungen) diese Periode. Da der Apparat aber in gewissem — wenn auch in Vergleich zu früheren Versuchen geringem — Maße durch diese Einwirkungen beeinflusst wird, enthält die Registrierung auch Schwankungen mit dieser Periode. Es sei hier wohl bemerkt, daß dies nur zum geringsten Teil direkte Schwankungen der Schwerkraft von dieser Periode sind; diese sind wohl nur sehr klein. Wohl aber sind es Registrierausschläge, hervorgerufen durch minimale Verbiegungen des Apparates, Temperatureinflüsse auf Spirale und Bifilaraufhängung, auch infolge der adiabatischen Druckschwankungen in dem thermisch sehr gut isolierten Raum und anderes mehr. Wie die harmonische Analyse zeigte, liegen die Wirkungen dieser Einflüsse auf die Registrierung bei den Marburger Messungen in der Größe der Flutglieder. Will man nun den Gesamteinfluß des Gestirns mit den beobachteten Kurven vergleichen, so darf man nicht die rohen Kurven zugrunde legen, sondern muß diese erst wegen des  $S_1$ -Gliedes reduzieren. Tut man das, wie Herr Kleinschmidt, nicht, so muß man naturgemäß, da

man ein noch mitwirkendes Glied vernachlässigt, ein zu großes  $\delta$  erhalten. Da man aber nur durch die harmonische Analyse etwas über  $S_1$  erfahren kann (wobei zur Korrektur der sehr wesentliche Einfluß von  $K_1$  eliminiert werden muß), so kommt man doch wieder auf die harmonische Analyse zurück. Trotzdem bleibt das Verfahren, das Herr Kleinschmidt anwendet, auch dann noch unsicher, da  $S_1$  stark mit der Jahreszeit in seiner Amplitude und auch Phase variiert. Die harmonische Analyse hat den Vorteil, daß man Glieder aussuchen kann, es kommen vor allem  $M_2$  und  $O$  in Betracht, die weitgehend von dem  $S$ -Einfluß ungestört sind und die von den geringen Resten dieses Einflusses durch die Börgenschen Korrekturrechnungen, wenn es notwendig ist, befreit werden können.

c) Es sei darauf hingewiesen, daß auch die Pendelvergleiche mit einer Quarzkristalluhr von A. L. Loomis\*), die von Brown und Brouwer\*\*) ausgewertet worden sind, durchwegs einen kleineren Wert für  $dg$  als den für starre Erde berechneten zeigen. Wenn auch die Genauigkeit der Pendelmessungen augenblicklich gerade an der Grenze liegt, so zeigt ihr Ergebnis (z. B.  $\delta_{\text{beob.}} = 0.8$  bzw.  $0.7$  für die Uhr  $C_3$ ), daß auch in Amerika ebenso wie in Europa die Schwankungen der Schwerkraft kleiner sind als für starre Erde berechnet. Bemerkenswert ist, daß auch bei diesen Pendelmessungen Phasenverschiebungen bis zu 1 Stunde beobachtet sind.

4. Ein weiterer Einwand beruht darauf, daß unsere Apparatur in ihrer Anzeige den Schwerkraftwirkungen zeitlich stark nachhinkt. Auch dieser Einwand trifft nicht zu, wie a. a. O. ausführlicher gezeigt wird. Uns ist dieser Einfluß sehr wohl bekannt gewesen und wir haben ihn durch passende Wahl der Größenverhältnisse der angewendeten Teile vermieden. Vor allem ist es auch notwendig, eine genügende Anfangsbelastung der Bifilaraufhängung zu haben. Nur unter ganz extremen Bedingungen, die bei der Registrierung niemals zugelassen werden, treten derartige Verspätungen bzw. Unsicherheiten der Anzeige auf. Es läßt sich aber auch direkt zeigen, daß derartige Verspätungen nicht vorhanden sind:

a) Herr Kleinschmidt führt die in Marburg beobachteten Verspätungen auf dieses Nachhinken zurück (das dann gleichzeitig auch zu einer Verkleinerung der registrierten Amplitude führt). Der von uns festgestellte experimentelle Nachweis des Voreilens der Wirkung in Berchtesgaden zeigt auf das deutlichste, daß die Phasenverschiebungen reell sind, denn das Nachhinken kann die Phase nicht um Stunden vorschieben.

b) Wir haben stets bei der Eichung Kräfte angewendet, die in der Größenordnung den Flutkräften entsprechen. Niemals ist dabei ein Nachhinken der Apparatur festgestellt worden (Figur in den Annalen der Physik). Es ist auch kein Einfluß der Größe der Kraft auf den Empfindlichkeitswert feststellbar, wie es bei Vorhandensein merklicher elastischer Trägheit der Fall sein würde. Auch

\*) Monthly Not. 91 (1931).

\*\*) Ebenda 91, 575, 1931.

die Erschütterung des Apparates durch Erdbeben führt nie zu einer Erscheinung in der Registrierkurve, die als Aufheben eines Nachhinkens erkennbar wäre.

c) Die Methode unserer Eichung — Zuordnung der Momentanwerte des Ausschlages einer in der Größe der zu registrierenden gleichen Kraft zu ihrem vollen Wert — würde sogar im Falle eines Nachhinkens unsere Werte zu groß erscheinen lassen oder zumindest die Wirkung des Nachhinkens (bis auf die Phase) kompensieren. Das Nachhinken würde also nicht zu kleineren, sondern eher noch zu zu großen Werten von  $\delta$  führen.

Alle diese Punkte zeigen, daß von einer merklichen Beeinflussung unserer Werte durch apparative Einflüsse nicht die Rede sein kann.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

1. daß wir — wenigstens in quantitativer Hinsicht — über die Vertikalbewegungen der festen Erde heute weniger wissen als man bisher zu wissen glaubte. Ein Fortschritt hierin ist nur durch Erweiterung des experimentellen Materials zu erwarten, einerseits durch Vervollständigung mittels gleichzeitiger Horizontalpendelmessungen, was von uns bereits in Angriff genommen worden ist, andererseits durch Vergrößerung der Zahl der Beobachtungsstationen, wozu internationale Zusammenarbeit unerlässlich ist.

2. daß kein Grund vorliegt, die apparativen Ergebnisse als durch elastische Trägheitswirkungen merklich verfälscht anzusehen oder die bisher immer übliche Entwicklung in Partialtiden zu verlassen und durch eine Vergleichung mit der Gesamtwirkung des Gestirns zu ersetzen, was im Gegenteil zu bedenklichen Verfälschungen führen würde.

Marburg/Lahn, Physikalisches Institut der Universität.

## Der Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung bei tektonischen Vorgängen\*)

Von Sigismund Kienow, Göttingen — (Mit 13 Abbildungen)

Die bei den Versuchen an Gesteinsmaterial von v. Kármán, Böker u. a. gewonnenen Ergebnisse werden mit Hilfe kontinuumsmechanischer Methoden verallgemeinert, so daß sie zur Behandlung tektonischer Probleme geeignet erscheinen. Bei der Extrapolation auf sehr kleine Geschwindigkeiten werden an plastischem Ton gewonnene Erfahrungen herangezogen. Mit Hilfe der so erhaltenen Resultate werden einige aus geologischen Feldbeobachtungen bekannte Erscheinungen auf physikalische Probleme zurückgeführt und damit der Rechnung zugänglich gemacht. Schließlich wird die Grabenbildung als ein Beispiel plastischer Deformation in der Erdkruste behandelt.

**I. Einleitung.** In einer kritischen Betrachtung zweier Diskussionen über tektonische Hypothesen stellt S. von Bubnoff (1932) zwei Methoden der kau-

\*) Die vorliegende Arbeit wurde ausgeführt mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der ich auch an dieser Stelle herzlich danke. Außerdem bin ich Herrn Prof. Dr. Prager und Dr. Schlechtweg (Institut für angewandte Mechanik, Göttingen) für ihre wertvolle Hilfe zu Dank verpflichtet.