

## Werk

**Jahr:** 1926

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:2

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0002

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0002](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0002)

**LOG Id:** LOG\_0041

**LOG Titel:** Über Isostasie

**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)

möglich ist; in manchen Fällen ist dies vorteilhaft. Mit Hilfe zweier solcher Geräte kann die Richtung, aus der das Geräusch kommt, bestimmt werden, und schließlich auch die Lage. Die angestellten Versuche ergaben, daß das Auffallen eines 7.5-kg-Gewichtes aus 0.75 m Höhe auf trockenem Grasboden noch in 80 bis 90 m gehört werden konnte. Im Bergwerk ist die Empfindlichkeit bedeutend größer. In einem Gartengelände konnte eine kleine Bruchstelle, die sich nur durch den Wasserverlust an der Wasseruhr bemerkbar machte, eines Bleirohres, das etwa  $1\frac{1}{3}$  m tief eingebettet war, örtlich genau festgelegt werden.

Bei einiger Änderung kann auch elektrische Fernbeobachtung ermöglicht werden, die sich aber bisher nicht so empfindlich zeigte.

Erwähnen möchte ich noch, daß ich eine elektromagnetisch-schreibstiftschreibende Schreibweise, ähnlich der bekannten elektromagnetisch-lichtpunkt-schreibenden, für Seismographen und Erschütterungsmesser versucht habe, da mir eine solche sehr viele Vorteile zu bieten scheint. Die bisherigen, freilich nicht ausgedehnten Versuche haben einen Erfolg nicht gebracht, aber sie lassen hoffen, daß eine Registrierung dieser Art wohl doch noch verwirklicht wird\*).

#### Literatur.

Mit obigen Zeilen stehen folgende Veröffentlichungen von mir in gewisser Verbindung:

Emergenzwinkel von Erdbebenstrahlen und Poissonsche Konstante in der obersten Erdschicht Phys. Zeitschr. 1919, S. 574—579.

Instrumente für die Beobachtung von Erschütterungen. Zeitschr. f. techn. Physik 1922, Nr. 5 u. 7.

Zur Untersuchung von Seismographen und Erschütterungsmessern. „Feinmechanik“ 1922, Nr. 7.

---

## Über Isostasie.

Von W. Schweydar. — (Mit einer Abbildung.)

Der Verlauf der Schwerkraft im Küstengebiet wird auf Grund der Hypothese von Airy berechnet zum Vergleich der analogen Untersuchung von Helmert auf Grund der Prattischen Hypothese. Das Ergebnis weicht von dem Helmertischen namentlich über dem Küstenfuß stark ab. Die durchschnittliche Dicke der Kontinente wird zu etwa 200 km berechnet. Die Airy-Hypothese erklärt besser die Schwerkraft auf den kleinen ozeanischen Inseln. Die Erde ist noch nicht im hydrostatischen Gleichgewicht; das Streben nach dem letzteren bedingt horizontale Kräfte, welche die Grundlage zur Erklärung der Faltungen geben können. Die beobachteten geringen Störungen der Schwere in Gebirgen können durch Kompressionen und Dilatationen infolge von elastischen Deformationen erklärt werden.

Die folgende Untersuchung ist bereits vor einer Reihe von Jahren ausgeführt, aber nicht ganz abgeschlossen worden. Immerhin liegen einige wesentliche Ergebnisse vor, die, wie ich hoffe, umsomehr Interesse haben

---

\*) Über obige Gegenstände habe ich in der Göttinger Tagung d. Deutsch. Geophys. Ges. am 9. Dez. 1925 in Kürze berichtet. In einem der folgenden Hefte der „Zeitschr. f. Feinmechanik u. Präzision“, herausgeg. von Prof. Dr. G. Berndt-Dresden, werden die einzelnen Teile der obigen Mitteilung unter Zuhilfenahme von Figuren eingehender besprochen.

werden, als durch die kürzlich erschienenen Arbeiten von Heiskanen die Frage aufgeworfen wurde, ob die Airysche oder die Prattische Hypothese für die Erklärung der Variation der Schwerkraft vorzuziehen ist.

Auf Grund der geringen Störungen der Schwerkraft durch die Gestaltung der Erdoberfläche kam man zu der Vorstellung, daß die Massenanhäufung der Kontinente durch weniger dichte Massen in der Tiefe kompensiert sein muß. Es sind hauptsächlich zwei Hypothesen diskutiert worden, die von Pratt und Airy. Die Prattische Hypothese ist durch ihre Bevorzugung seitens Helmert und Hayford fast allgemein angenommen und vielfach in populären Schriften als eine bewiesene Tatsache hingestellt worden. Man hat hierbei vergessen, daß der Schluß von der Variation der Schwerkraft auf die Massenverteilung in der Erde vieldeutig ist.

Helmerts Auffassung geht dahin, daß im normalen Zustande, d. h. vor der Bildung der kontinentalen Erhebung, die Massen der Erdkrinde durch zwei Niveauebenen begrenzt waren. Durch Erhebung eines Teiles der Massen sind die Kontinente aus den normal geschichteten Massen herausgewachsen, wobei gleichzeitig eine Dichteverminderung eintrat. Die Massen sind überall dieselben geblieben. Hiernach muß es eine Ausgleichsfläche geben, auf der überall dieselbe Druck herrscht. Die Tiefe dieser Fläche ist von Helmert und Hayford zu etwa 120 km berechnet worden. Es sei gleich hier erwähnt, daß die Übereinstimmung in dem Ergebnis von Helmert und Hayford für die Tiefe der Ausgleichsfläche nicht als ein Beweis für die Richtigkeit angesehen werden darf. Die Erhebungen der Massen auf den Kontinenten in Form von Gebirgen und Hochplateaus denkt man sich in ähnlicher Weise aus den Kontinenten herausgewachsen bei weiterer Dichteverminderung unterhalb.

Airy beschäftigt sich hauptsächlich mit der Isostasie der Kontinente und denkt sich diese wie Schollen auf den dichteren Schichten schwimmend. Helmert lehnte die letztere Hypothese ab, weil die Erklärung der Kompensation der Gebirge von diesem Gesichtspunkt aus schwierig wird. Helmert kann sich offenbar die Gebirge nicht als eingesunkene Massen denken, deren Dichte geringer ist als ihre Umgebung. Im Gegensatz hierzu setzt Heiskanen auch für die Gebirge die Airysche Hypothese voraus. Diese Vorstellung erscheint mir sehr schwierig und muß hauptsächlich vom Standpunkt der Geologie aus diskutiert werden.

Während Heiskanen die Airysche Hypothese für praktische Reduktion der Schwermessungen benutzt, habe ich diese mehr vom geologisch-physikalischen Standpunkt aus betrachtet und möchte die Ergebnisse kurz mitteilen.

Gegen die Prattische Vorstellung scheinen mir folgende Bedenken vorzuliegen:

1. Helmert hat die Tiefe der Ausgleichsfläche aus drei Mittelwerten der Schwerestörung in Küstengebieten abgeleitet. Meißner untersuchte dagegen die Küsten gesondert und fand eine große Schwankung in der Tiefe der Ausgleichsfläche. Dies erscheint mir ein Widerspruch, da die Ausgleichsfläche eine Niveauebene sein muß und wir wissen, daß die Niveauebenen in der Nähe der Erdoberfläche nur sehr geringe Abweichungen ( $\pm 100$  m) gegen ein Rotations-

ellipsoid haben. Daher dürfte die Tiefe der Ausgleichsfläche auch nur geringe Tiefenschwankungen aufweisen.

2. Die Prattische Hypothese kann die Schwerkraft auf den kleinen ozeanischen Inseln nicht erklären. Helmert meint, daß die Inseln nur zu etwa zwei Drittel kompensiert sind, daß also nur ein Teil der Inselmasse aus der Erdkruste herausgewachsen ist. Diese Erklärung ist nicht befriedigend.

Die Schwierigkeiten treten nicht auf, wenn man die Airysche Vorstellung zugrunde legt. Unter dieser Annahme habe ich die Schwerkraft von Küstenpunkten berechnet. Unter normaler Schwerkraft verstehe ich die Schwerkraft auf der Oberfläche einer idealen Erde, bei welcher alle Schichten gleicher Dichte konzentrisch angeordnet sind und die Dichte von innen nach außen abnimmt. Man kann sich vorstellen, daß die Massen, welche die Kontinente bilden, aus der Tiefe aufgestiegen sind und nicht ganz die Oberfläche ausfüllen konnten. Sie schwimmen auf der Oberfläche des Sima. Die Inseln sind kleine schwimmende Blöcke. Rechnerisch erhält man angenähert den normalen Wert, wenn man die Massen der Kontinente gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt. Um einen Vergleich der Prattischen mit der Airyschen Vorstellung zu erhalten, habe ich den Verlauf der Schwerkraft in der Nähe der Küste unter derselben Annahme über die Form des Kontinents und der Küste berechnet, die Helmert\*) zwecks Berechnung der Ausgleichstiefe aus den Schwerkraftswerten in der Nähe der Küste, also unter Vernachlässigung der mittleren Festlandshöhe über dem Meer, gemacht hat. Von der Krümmung der Erdoberfläche wird abgesehen und die Küste als geradlinig betrachtet. Bezeichnet  $s_0$  die Dichte des Sima,  $s$  die Dichte des Kontinents,  $t$  die mittlere Tiefe des Meeres und  $T + t$  die Dicke des Kontinents, so ist  $T(s_0 - s) = t(s - 1.03)$ , wobei die Dichte des Meeres zu 1.03 angenommen ist. Für die Berechnung der Änderung der Schwerkraft durch diesen Kontinent habe ich wie Helmert  $t = 4$  km und  $s = 2.73$  angenommen. In großer Entfernung von der Küste auf dem Ozean sowohl wie mitten im Kontinent wird die Schwerkraft nicht geändert. Berücksichtigt man die Krümmung der Erde und gibt dem Kontinent endliche Form, so ergibt sich eine kleine positive Störung mitten im Kontinent. Besonderes Interesse haben die Küstenpunkte. Helmert faßt in der Encyklopädie die beobachteten Schwerewerte in der Nähe der Küste zu fünf Gruppen zusammen und bildet hieraus durch Mittellung drei Gruppen. Bezeichnet  $a$  die Entfernung von der Küste,  $n$  den Böschungswinkel,  $\Delta g$  die Störung der Schwerkraft, so sind die von Helmert benutzten Werte die folgenden:

Gruppe	$a$	$n$	$\Delta g$	
	km		beobachtet	berechnet
1	27	2° 3'	+ 0.051	+ 0.051
2	32	0° 35'	+ 0.039	+ 0.030
3	115	1° 6'	+ 0.026	+ 0.026

Die letzte Spalte unter „ $\Delta g$  berechnet“ gibt die mit Hilfe der Airyschen Hypothese berechneten Werte. Ihre gute Anpassung an die Beobachtung wurde

\*) Helmert: Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. Encykl. d. math. Wissensch. VI., 1. B., Heft 2, S. 139.

gewonnen durch die Annahme für die Dicke der Kontinente  $t + T = 204$  km. Hieraus folgt dann  $s_0 - s = 0.034$ . Die hier berechnete Dicke der Kontinente muß als roher Mittelwert angesehen werden. Diese Dicke kann von Kontinent zu Kontinent oder auch bei ein und demselben Kontinent verschieden sein, ohne das Gesetz der Isostasie zu stören. Gleichzeitig kann aber die Variation der Dicke die großen Schwankungen der  $\Delta g$  erklären im Gegensatz zu der Pratt'schen Hypothese, wo die Ausgleichsfläche eine Niveaufläche sein muß.

Die folgenden Kurven zeigen den Verlauf der Schwerkraft im Küstengebiet nach den beiden Hypothesen. Während Helmert über dem Küstenfuß für  $\Delta g$  nur  $-0.047$  mit der Pratt'schen Hypothese erhält, ergibt die Airysche Hypothese  $-0.143$ . Diese große Differenz mag zuerst befremden, aber sie ist ganz erklärlich, wenn man genauer den Gang der Rechnung bei Helmert

(Encyklop., S. 138) verfolgt. Nach Helmerts Vorstellung ist der über die Simaoberfläche herausragende Teil des Kontinents aus den darunterliegenden Teilen emporgestiegen, so daß in jeder Säule gleicher Grundfläche über der Ausgleichsfläche dieselbe Masse ist. Da die Höhe der Säulen unter der Küstenböschung variiert, so variiert auch die Dichte in horizontaler Richtung, während im Rahmen der

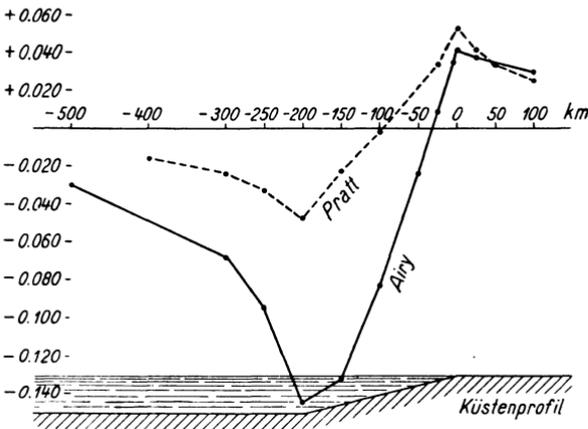


Fig. 1.

Airyschen Theorie der schwimmende Block überall gleiche Dichte hat. Die Konsequenz der Pratt'schen Hypothese, die zu einer horizontalen Variation der Dichte im Küstengebiet führt, erscheint nicht befriedigend.

Aus dem Obigen geht hervor, daß Messungen der Schwerkraft auf dem Meere und zwar hauptsächlich über dem Küstenfuß von größter geophysikalischer Bedeutung sind. Es ist zu hoffen, daß das neue Verfahren von Vening-Meinesz uns recht bald das Beobachtungsmaterial verschafft, das für die Diskussion der vorliegenden Probleme notwendig ist. Aus den Beobachtungen von Hecker hat Schiötz über dem Küstenfuß den Wert  $\Delta g = -0.060$  abgeleitet, der sich mehr dem Helmertschen Wert nähert als dem von mir berechneten. Doch ist der Schiötzsche Wert sehr unsicher, so daß man nicht berechtigt ist, ihn zu einer Entscheidung zu verwerten. Wenn man für den Augenblick aus Mangel an anderen Beobachtungswerten annimmt, daß der Schiötzsche Wert von dem wahren Wert nicht allzusehr abweicht, so würde nach meinen Berechnungen auf Grund der Airyschen Hypothese folgen, daß die Form der Kontinente von der oben schematisch angenommenen stark ab-

weicht. Die Kontinente müssen an ihren Rändern bedeutend schwächer sein als in den mittleren Teilen. Ich habe auch die Berechnung der Schwerestörungen unter der Annahme durchgeführt, daß die Dichte im Kontinentalblock mit der Tiefe zunimmt und zwar nach einem Gesetz, das dem Gesetz von Roche entspricht. Eine solche Annahme kann die Differenz zwischen dem Wert von Schiötz und dem hier berechneten nicht erklären.

Die Inselschwerkräfte faßte Helmert in drei Gruppen zusammen (Encyklop., S. 129 ff). Für die erste Gruppe ist der Mittelwert für die Pfeilerhöhe 3.7 km, für den Böschungswinkel  $3^{\circ} 50'$  und die beobachtete Schwereänderung  $+ 0.252$  CGS. Für die Dichte des Inselpfeilers nimmt Helmert 2.83 an. Faßt man im Sinne der Airyschen Vorstellung die Insel als einen kleinen auf der Simaoberfläche schwimmenden Block auf, so bietet die Erklärung der Schwerestörung keine Schwierigkeiten. Für die Berechnung der Schwerkraft habe ich dieselbe einfache Form der Insel angenommen wie Helmert, einen zylindrischen Sockel, auf dem ein Kegel ruht, dessen Spitze im Meeresniveau liegt. Den für die Gruppe 1 von Helmert ermittelten Wert der Schwerestörung von  $+ 0.252$  erhält man genau, wenn man für die Höhe des Sockels 100 km und die Dichte der Insel 3.05 nimmt.

Die Hypothese von Airy scheint mir mit Rücksicht auf die eingangs erwähnten Mängel der Prattischen Hypothese besser für die Erklärung des Baues der Inseln und Kontinente geeignet zu sein.

Auch bei den großen Gebirgen werden nur kleine Störungen der Schwerkraft beobachtet. Die Werte sind aber so wenig einheitlich, daß auch deshalb Bedenken gegen die Annahme der Pratt-Helmertschen Ausgleichsfläche entstehen. Im Rahmen der Airyschen Theorie müßte man annehmen, daß auch die Gebirge leichtere Massen darstellen, welche auf einer dichteren Unterlage schwimmen. Es ist zweifelhaft, ob eine solche Annahme vom geologischen Standpunkt berechtigt ist. Die Gebirge kann man sich durch horizontal wirkende Kräfte entstanden denken, wenigstens rein hypothetisch. Ich lasse es dahingestellt, wie diese horizontalen Kräfte zu erklären sind. Jedenfalls liegen elastische Deformationen vor, die immer mit Kompressionen und Dilatationen, also mit Dichteänderungen, verknüpft sind, in der Weise, daß eine neutrale Schicht vorhanden ist, in welcher keine Dichteänderung auftritt. Mit diesen Dichteänderungen sind kleine Änderungen der Schwerkraft verknüpft, weil Dichtevergrößerungen und -verminderungen auftreten. Die resultierenden Schwerestörungen können in den verschiedenen Gebirgen ganz verschieden sein. Entsprechend den Beobachtungen wird man ein Gesetz, das für alle Gebirge gemeinsam gültig ist, nicht aufstellen können. Eine Überschlagsrechnung ergibt Werte  $\Delta g$ , wie sie beobachtet werden.

Helmert fand aus der Verteilung der Schwerkraft auf der Erdoberfläche, daß der Äquator elliptisch ist. Die große Achse liegt etwa im Meridian von Ferro, d. i.  $17^{\circ}$  westl. Länge v. Gr., die kleine Achse im Meridian  $73^{\circ}$  östl. Länge v. Gr. (Vorderindien). Die Differenz der Längen der Achsen beträgt 230 m. Bezeichnen  $A, B, C$  die Hauptträgheitsmomente der Erde ( $B, A$  die Momente um die Äquatorachsen), so findet Helmert  $B - A = 1_{46} (C - A)$ .

Heiskanen\*) hat eine ähnliche Untersuchung ausgeführt und gefunden, daß die längere Äquatorachse  $18^{\circ}$  östl. v. Gr. und die kleinere  $72^{\circ}$  westl. v. Gr. liegt. Der Längenunterschied der Achsen ist 690 m. Im großen und ganzen wird also hierdurch das Resultat von Helmert bestätigt, doch darf man nicht vergessen, daß die Verteilung der Beobachtungen der Schwerkraft für eine solche Untersuchung nicht sehr günstig ist, und daß das von Heiskanen benutzte Material keine wesentliche Verbesserung gegenüber dem von Helmert benutzten darstellt. Ich habe früher vorgeschlagen, die Elliptizität des Erdäquators zu untersuchen aus der Form der Bahnkurven der Rotationspole\*\*). Diese prinzipiell bessere Methode wurde praktisch von Lambert\*\*\*) durchgeführt auf Grund des umfangreichen Materials des internationalen Breitendienstes. Wenn auch die Ergebnisse aus den verschiedenen Beobachtungsabschnitten stark abweichen, so geben doch die Resultate im Mittel eine Bestätigung der Helmert'schen Werte. Die Beobachtungen von 1900 bis 1911 an allen sechs Breitenstationen ergaben für die Richtung der kleinen Äquatorachse etwa  $10^{\circ}$  östl. v. Gr.; die Zusammenfassung der Beobachtungen von 1900 bis 1917 ergab für dieselbe Richtung  $20^{\circ}$  westl. v. Gr. Das Mittel entspricht sehr nahe dem Mittel aus den Ergebnissen von Helmert und Heiskanen. Hiernach scheint die Erde ein dreiachsiges Ellipsoid zu sein. Nach der Theorie der Gleichgewichtsfiguren ist eine solche Gestalt der Erde wegen der Beträge der Abplattung und Rotationsgeschwindigkeit nicht denkbar. Ich habe nun im Lichte der Airyschen Hypothese berechnet, um wieviel die Kontinente die Trägheitsmomente der Erde ändern und die Niveaufläche deformieren. Die Rechnung ergibt, daß  $B - A$  nur etwa  $\frac{1}{1000}$  von  $C - A$  ist und daß die große Achse etwa dort liegt, wo die obigen Methoden die kleine Achse angeben. Die Elliptizität des Äquators kann also unter der Vorstellung des hydrostatischen Aufbaus der gesamten Erde nicht erklärt werden.

Ich nehme an, daß die Kontinente zum Teil noch nicht die hydrostatische Lage erreicht haben. Dort, wo die kleine Achse bestimmt wird, muß ein Defizit an Masse sein und hauptsächlich in einem Bezirk in der Nähe des Äquators. Es wäre theoretisch möglich, daß ein größerer Kontinent im Aufsteigen begriffen ist, also z. B. im Gebiet des Indischen Ozeans. Wenn die Kontinente noch nicht hydrostatisch gelagert sind, so müssen sie in einer Bewegung begriffen sein, um die Gleichgewichtslage zu erreichen. Wenn zu irgend einer Zeit der Schwerpunkt der verdrängten Simamasse und der Schwerpunkt des Kontinents nicht in einer Vertikalen gelegen haben oder augenblicklich noch nicht liegen, so entsteht ein Drehmoment, welches den Kontinentalblock zu drehen bestrebt ist, um die beiden Schwerpunkte vertikal übereinander zu bringen. Es sind also horizontal wirkende Schwerkkräfte vorhanden, die große Beträge haben können und geeignet sind, die großen Faltungen der Erde zu erklären.

\*) W. Heiskanen: Untersuchung über Schwerkraft und Isostasie. Veröff. d. Finnischen Geodät. Institut. Nr. 4, 1924.

\*\*) W. Schweydar: Die Bewegung der Drehachse der elastischen Erde im Erdkörper und im Raume. A. N. Bd. 203, S. 109, 1916.

\*\*\*) W. D. Lambert: An investigation of the latitude of Ukiah, Calif. and of the motion of the pole. U. S. Coast and Geod. Survey., 1922.