

Werk

Jahr: 1937

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:13

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0013

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0013

LOG Id: LOG_0020

LOG Titel: Das Gesetz von Helmholtz und seine Anwendung auf Geotektonik

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

scheint eine systematische Weiterführung solcher und ähnlicher Versuche sehr vielversprechend zu sein, auf der einen Seite für die geophysikalische Erforschung des grönländischen Inlandeises, auf der anderen aber auch für das Studium der Ausbreitung langer elektromagnetischer Wellen in Isolatoren von höherer Dielektrizitätskonstante. Nach den angeführten Arbeiten von J. Granier, B. de Lenaizan und J. Errera über die Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante des Eises von der Wellenlänge und Temperatur dürfte es möglich sein, Gletschereistemperaturen tieferer Schichten aus geeignet angelegten Sondierungen mit langen elektrischen Wellen zu erschließen. Besonders bei sehr langen Wellen, also ziemlich niederfrequenten Schwingungen von 100 bis 400 km, die außerdem den Vorteil geringerer Reichweite haben, ist die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante sehr groß. Für beispielsweise $\lambda = 300$ km schwankt sie von -2° bis -47.50° zwischen 72 und 5. Weiter soll hier zunächst nicht darauf eingegangen werden.

Aber hinsichtlich der Untersuchung von Ausbreitungsvorgängen langer Wellen sei noch auf folgendes hingewiesen: Es läßt sich leicht einrichten, daß der Übertritt der elektromagnetischen Wellen von Luft in Eis so nahe am erzeugenden Dipol erfolgt, daß man die experimentell noch wenig erforschten Entstehungs- und Ablösungsvorgänge der Raumwellen am Dipol näher untersuchen kann, was naturgemäß bei Hertz'schen Wellen auf sehr große experimentelle Schwierigkeiten stößt.

Das Gesetz von Helmholtz und seine Anwendung auf Geotektonik

Von Dr. S. W. Tromp

Es wird eine Übersicht gegeben der verschiedenen Hypothesen, welche die Schwereanomalien in Faltegebirgen zu erklären versuchen. Die Haupteinwände gegen die „Gebirgswurzel“-Theorien und die Haupt„gesetze“, die von den gebirgsbildenden Kräften erfüllt sein müssen, werden besprochen. Nach dem Verfasser können nur Theorien, die die Dicke der Sialkruste als konstant und die Ausgleichsfläche als undulierend annehmen, diese Gesetze erklären.

Verschiedene Hypothesen sind aufgestellt worden, um die beobachteten Schwereanomalien, z. B. in Faltegebirgen, zu erklären.

1. Geodätische Theorien. *a) Theorien, die die Anomalien mit den isostatischen Reduktionsmethoden verknüpfen.* Hopfner nimmt an, daß die Anomalien durch die Undulationen des Geoids hervorgerufen seien, weil bei der Bestimmung der Anomalien g_0'' (bezogen auf das Geoid) und γ_0 (bezogen auf das Referenzellipsoid) verglichen werden, wobei zwei verschiedene Bezugsflächen Verwendung finden. Hopfner erklärt die Anomalien mittels der Formel von Bruns:

$$B_1 = -\frac{2N}{r} g,$$

worin N = Hebung oder Senkung des Geoids in Metern in bezug auf das Ellipsoid, r = Erdradius.

Wenn wir die Massen zwischen Geoid und Ellipsoid in Betracht ziehen, finden wir $B_2 = -5/4 \frac{N}{r} g$. Hieraus folgt: $B_1 = -0,000309 N \text{ cm/sec}^2$ und $B_2 = -0,000193 N \text{ cm/sec}^2$. Heiskanen wies darauf hin, daß nach dem Theorem von Stokes N im allgemeinen sehr klein sein wird, so daß die hierdurch verursachten Anomalien ebenfalls klein sind.

b) *Theorien, die einen Teil der Anomalien der Erdgestalt zuschreiben, einem Ellipsoid mit drei Hauptachsen.* Nach dieser Theorie sind die positiven Anomalien des Atlantischen Ozeans durch dieses Ellipsoid hervorgerufen. Die Schwereexpeditionen auf See von Vening Meinesz zeigen jedoch, daß diese Vorstellung nicht richtig ist.

2. Geophysikalische Theorien. Diese verknüpfen die Anomalien mit Störungen des isostatischen Gleichgewichts.

A. Theorien, die das spezifische Gewicht der Sialkruste als konstant und ihre Dicke als variabel annehmen.

a) Bildung einer Sial-Wurzel von der Sialkruste aus nach unten.

1. *Theorie von G. B. Airy (1855) und A. Heim.*

2. *Theorie von F. A. Vening Meinesz (1929) (Escher, Kuenen, Umbgrove).* Erklärung der negativen Anomalien: Durch Bildung einer Wurzel unter den Faltegebirgen als Folge regionaler Knickung der Kruste. — Erklärung der positiven Anomalien: α) Durch *Kompression*:

$$d = 15000 \frac{A}{h} \text{ kg/sec}^2,$$

worin A = Anomalie in mgal, h = Dicke der Kruste in km. —

β) Durch *Konvektionsströme*:

$$A = \frac{32}{3} \pi K^2 \frac{k(D^2 + H^2)}{gD^2H} v_m,$$

worin K^2 = Newtonsche Gravitationskonstante, k = Viskosität, D = Durchmesser einer absteigenden Stromröhre, H = Dicke der strömenden Schicht, v_m = Maximale Abwärtsgeschwindigkeit in der Mitte der Röhre.

3. *Theorie von P. P. Bijlaard (1935).* Erklärt die negativen Anomalien durch Bildung einer Wurzel als Folge lokaler plastischer Deformationen.

b) Bildung einer Sial-Wurzel vom Sima aus aufwärts (infolge Magma-Differenzierung).

Theorie von R. W. van Bemmelen (1931). Anomalie, hervorgerufen durch An- oder Abwesenheit einer kreiszylindrischen Schicht:

$$\vartheta_g = 2\pi\sigma f [\sqrt{b^2 + c^2} - \sqrt{b^2 + (c+h)^2} + h],$$

worin ϑ = Schwerebeschleunigung in Dyn, σ = Spezifisches Gewicht der Schicht, h = Dicke der Schicht in cm, c = Tiefe der Schicht unter der Erdoberfläche in cm, b = Radius der fehlenden zylindrischen Schicht = Hälfte der Ausdehnung der Zone negativer Anomalien.

B. Theorien, die das spezifische Gewicht der Sialkruste als variabel annehmen.

a) Theorien, die die Dicke der Sialkruste als variabel annehmen und die Ausgleichsfläche als eben (nur das spezifische Gewicht des Sial ist variabel).

1. *Theorie von J. H. Pratt (1855)*. Höhe der Blöcke umgekehrt proportional ihrem spezifischen Gewicht.

2. *Theorie von J. F. Hayford und W. Bowie (1910)*. Anziehung eines vertikalen Zylinders auf eine Einheitsmasse in der Achse außerhalb des Zylinders in Dyn:

$$K = 2\pi k\delta \left\{ \sqrt{c^2 + h^2} - \sqrt{c^2 + (h+t)^2} + t \right\},$$

worin k = Gravitationskonstante, δ = Dichte, c = Radius des Zylinders, t = Länge eines zylindrischen Elementes, h = Abstand der Einheitsmasse vom nächsten Punkt des Zylinders.

b) Theorien, die die Dicke der Sialkruste als konstant und die Ausgleichsfläche als undulierend annehmen (spezifisches Gewicht von Sial und Sima variabel).

Theorie von S. W. Tromp (1933).

In den Veröffentlichungen „Het mechanisme en de oorzaken der gebergtevorming“ (Martinus Nijhoff, Den Haag, 1933) und „On the mechanism of the geological undulation phenomena in general and of folding in particular and their application to the problem of the ‚roots of mountains‘ theory“ (Sijthoff's Uitg. Mij., Leiden, 1937) zeigte der Verfasser, daß keine von den Theorien, die das spezifische Gewicht der Sialkruste konstant und die Dicke als variabel ansehen, die sogenannten „Gebirgswurzel“-Theorien, den Mechanismus der Gebirgsbildung und die Ursachen der Schwereanomalien vollständig erklären kann. Gegen diese Theorien sind verschiedene Einwände zu erheben:

1. Der Untergrund einer Geosynklinale, der während der vorhergehenden Orogenese konsolidiert wurde (die sogenannte „Hauptschicht“ von Vening Meinesz), erhebt sich in Wirklichkeit einige Kilometer über den Meeresspiegel, nachdem er vorher einige Kilometer unter den Meeresspiegel gesunken ist. Nach der „Gebirgswurzel“-Theorie sollte er nur sinken.

2. Die in der Geosynklinale abgelagerten Sedimente (die sogenannte „obere Schicht“ von Vening Meinesz) steigen in Wirklichkeit bei der Orogenese, während sie nach der Knickungstheorie zu gleicher Zeit teils steigen teils absinken. Höchstens mögen die Sedimente als Keil zwischen die Blöcke der „Hauptschicht“ gepreßt werden und so während der Hebung dieser Blöcke zurückbleiben.

3. Nach der „Gebirgswurzel“-Theorie könnten die ältesten, unmittelbar auf der Unterlage der Geosynklinale abgelagerten Sedimente überhaupt nicht auf-

wärts bewegt werden, während sie in Wirklichkeit große Gebiete der Faltengebirge einnehmen.

4. Nach den Untersuchungen von Orstrand im Moffat-Tunnel bei Denver (Colorado) sollten die Isogeothermenflächen, die unter den Faltengebirgen konvex sind, nur unterhalb der isostatischen Ausgleichsfläche konkav werden, während im Falle einer abwärts gebogenen Wurzel diese Inversion weit oberhalb dieser Fläche eintreten müßte.

5. Die Anzahl der Intrusionen wächst während der Aufwärtsfaltung der Geosynklinale. Im Falle einer nach unten gebogenen Wurzel würden wir eine Abnahme erwarten.

6. Die seismischen Untersuchungen weisen darauf hin, daß sich in einer Tiefe von 40 bis 50 km eine Unstetigkeitsfläche befindet, die sich durch ganz Eurasien erstreckt, und daß oberhalb dieser Fläche sehr unregelmäßige sekundäre Grenzflächen vorkommen. Nach der „Gebirgswurzel“-Theorie wäre diese Unstetigkeitsfläche unter den Alpen in größerer Tiefe zu erwarten, wenn wir z. B. Deutschland mit den Alpen vergleichen.

Der Verfasser leitet von den beobachteten geologischen Erscheinungen folgende fünf Haupt„gesetze“ ab, die von den gebirgsbildenden Kräften erfüllt sein müssen. Diese Gesetze sind:

1. Das Bikausalitätsgesetz von C. E. Dutton (1889) mit vier Teilgesetzen, den Oszillationsgesetzen:

- a) dem Gesetz der abwechselnden Oszillationen,
- b) dem Gesetz der veränderlichen Intensität der Oszillationen,
- c) dem Gesetz der ungleichen Oszillationsgeschwindigkeit,
- d) dem Gesetz der veränderlichen Streichrichtung der Oszillationen.

2. Das Unstetigkeitsgesetz von E. Argand (1916) (mit dem „Teilgesetz“ der differentiellen Bewegungen).

3. Das Gesetz, daß gebirgsbildende Kräfte in einer Tiefe von etwa 40 km besonders wirksam sind.

4. Das Gesetz der Intensität gebirgsbildender Kräfte, die seit dem Algonkium konstant geblieben sind.

5. Die Gesetze von der Richtung des Druckes:

- a) das Gesetz vom einseitigen Druck,
- b) das Gesetz der Reaktionskräfte,
- c) das Gesetz der veränderlichen Richtungen.

Nach dem Verfasser ist unter allen Undulationsmechanismen bisher nur einer bekannt, der alle diese Gesetze erfüllt und die anderen Merkmale der gebirgsbildenden Kräfte aufweist, nämlich der Mechanismus von Helmholtz. Die diesem Mechanismus entsprechenden geologischen Erscheinungen mögen im folgenden beschrieben werden.

Spannungen in der Kruste verursachen flache primäre Knickfalten. Während der Orogenesen wird sich die Sialkruste ziemlich schnell relativ zum Sima bewegen. Dies bewirkt, daß nach dem Gesetz von Helmholtz an der Grenzfläche des Sial und Sima Undulationen entstehen, die oszillierend sind. Diese verstärken die primären Knickfalten. Die Bewegungen der Sialkruste sind wahrscheinlich verursacht durch die kontinentverschiebenden Kräfte, die besonders in der NS- und EW-Richtung wirken. Durch die polverschiebenden Kräfte werden sie periodisch beschleunigt. Diese Polverschiebungen sind wahrscheinlich das Ergebnis einer Verschiebung der äußeren Kruste relativ zum Kern und nicht einer Verlagerung der Erdachse im Raum, da der letztere Vorgang viel mehr Energie erfordert. Nach dem Prinzip von Königsberger und Hungerer können plastische Deformationen hervorgerufen werden durch lang andauernde elastische Deformationen. Daher können die Polverschiebungen aufgefaßt werden als plastische Deformationen infolge mehr oder weniger elastischer Deformationen, den Polschwankungen, hervorgerufen durch kleine Kräfte, die lange Zeit in derselben Richtung wirken. Die elastischen Deformationen der Erde, die Polschwankungen, werden verursacht durch Massenverschiebungen (Regen, Schnee, Sedimentation, Kontinentalverschiebungen usw.).

Die Helmholtz'schen Wellen, besonders die durch rasche Kontinentalverschiebungen verursachten, sind in den meisten Faltengebirgen sehr schwach.

In der Amerikanischen Kordilliere z. B. beträgt die Amplitude dieser Wellen 5 bis 10 km, die Wellenlänge ist etwa 1200 km; im Ostindischen Archipel beträgt die Amplitude 5 bis 6 km, die Wellenlänge ist etwa 600 km. Die Senkungsgeschwindigkeit der Geosynklinale beträgt 0.05 bis 0.1 mm/Jahr. Infolge dieser Undulationen wird in den Wellenbergen Druckentlastung eintreten, während in den Wellentälern Zunahme der Dichte stattfindet. Die verschiedenen Vorgänge in den Wellenbergen können folgendermaßen beschrieben werden:

1. Das Sima, das sich infolge der Erhöhung des Schmelzpunktes durch die Belastung der Kruste in einem zähflüssigen Zustand befindet, wird schmelzen, sobald Druckentlastung eintritt. Dies verursacht Ausdehnung und Volumvermehrung um 15% oder mehr (besonders wenn wir die Ausdehnung der eingeschlossenen Gase in Betracht ziehen). Das spezifische Gewicht wird um 0.4 oder mehr abnehmen. Das geschmolzene Sima wird sich in der Nähe der Kruste und auf dem Wege zur Oberfläche differenzieren.

2. Der Inkompressibilitätsfaktor für Sima bei einer Temperatur knapp unter dem Schmelzpunkt wird sehr klein sein, wenn Druckentlastung erfolgt. Durch die tangentialen Spannungen in der Kruste und die Adhäsionskräfte zwischen Sial und Sima wird das Sima unter den Wellenbergen auf höchstens sein dreifaches ursprüngliches Volumen ausgedehnt.

3. Die Viskosität wird sehr rasch abnehmen, während die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt.

Die negative Anomalie über dem Wellenberg wird hervorgerufen durch Wegströmen des sich ausdehnenden Sima vom Wellenberg zum Wellental. Dies gibt Veranlassung zu Intrusionen und Ergüssen im Wellental (Vorland-Vulkanismus) wie zu Verdichtung, bis die höchste Kompressibilität erreicht ist. Die Strömungsgeschwindigkeit vom Wellental zum Wellenberg ist klein infolge der großen Viskosität des Sima im Wellental. Diese Erscheinung wird von größerer Bedeutung sein, wenn die maximale Kompressibilität erreicht ist und die abwärtsdrückende Komponente der tangentialen Kräfte aufgehört hat. Durch hydrostatische Kräfte wird nunmehr das leichte Material des Wellenberges durch das schwere Material des Wellentales ersetzt, wodurch ein Steigen der Kruste im Wellental und ein Sinken des Wellenberges eingeleitet wird (die Geschwindigkeit des Sima, das vom Wellenberg wegströmt, ist größer als die Geschwindigkeit des vom Wellental wegfließenden Sima).

Positive und negative Anomalien werden beide abnehmen. Dieselben Erscheinungen finden unter geoantiklinalen Zonen statt, wenn die Kruste in verschiedenen Blöcken aufsteigt. Schmale Zonen negativer Anomalien werden auf diese Weise zwischen breiten Zonen positiver Anomalien entstehen.

Die regionalen positiven Anomalien im Atlantischen Ozean werden wahrscheinlich hervorgerufen durch die Verengung der gedehnten Kruste zwischen Europa und Amerika, was ein Aufsteigen des Sima unter dem Atlantischen Ozean zur Folge hat. Druckentlastung entlang Bruchzonen (Atlantische Schwelle) kann das Sima aktivieren und zum Abfließen bringen, wodurch lokale Verminderung der regionalen positiven Anomalien eintritt. Näheres in meiner Veröffentlichung „On the mechanism of the geological undulation phenomena etc.“

Aus dem Englischen übersetzt von Heinrich Jung, Göttingen.

Bemerkungen zu den vorstehenden Ausführungen von S. W. Tromp

Die Erklärung der Faltengebirge durch Helmholtzsche Wellen, die an der Grenzfläche zweier gegeneinander bewegter Flüssigkeitsschichten entstehen, ist recht interessant, doch dürften sich bei näherer Prüfung der quantitativen Verhältnisse gewisse Schwierigkeiten ergeben. Hier sei nur eine kleine Betrachtung über die Wellenlängen angegeben. Nach den Ausführungen von Herrn Tromp ist die Wellenlänge in den amerikanischen Kordilleren 1200 km, im Sunda-Archipel 600 km. Nach der Theorie gilt die Beziehung

$$w_1^2 s_1 + w_2^2 s_2 = \frac{g\lambda \cdot (s_2 - s_1)}{2\pi} *), \quad s_2 > s_1.$$

*) W. Wien: Lehrbuch der Hydrodynamik, S. 182.