

Werk

Jahr: 1931

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:7

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0007

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0007

LOG Id: LOG_0014

LOG Titel: Zur Frage der Beschaffenheit des Erdinnern

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

Literaturverzeichnis

- 1) E. Wiechert: Untersuchung der Erdrinde mit Hilfe von Sprengungen. (Sonderdruck Geologische Rundschau, Bd. XVII, 1926, Heft 5.)
- 2) Derselbe: Seismische Beobachtungen von Steinbruchsprengungen. (Zeitschr. f. Geophys., Jahrg. V, S. 159.)
- 3) B. Broekamp u. K. Wöleken: Bemerkungen zu den Beobachtungen bei Steinbruchsprengungen. (Ebenda S. 163.)
- 4) J. Brand: Ein Beitrag zum Studium der Bodenunruhe nicht seismischen Ursprungs. (Dissertation Göttingen 1925.)
- 5) L. Mintrop: Über die Ausbreitung der von den Massendruckten einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingung. (Dissertation Göttingen 1911.)

Von der vorliegenden Arbeit wurde Teil II noch unter Leitung von Herrn Prof. Wiechert begonnen. Die weiteren Untersuchungen wurden dann später auf Veranlassung von Herrn Prof. Angenheister ausgeführt.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Januar 1930.

Zur Frage der Beschaffenheit des Erdinnern

Von **H. Haalek**, Potsdam — (Mit 4 Abbildungen)

Die bisherige Annahme über die Dreiteilung des Erdkörpers: Gesteinsmantel (Silikathülle bis 1200 km Tiefe), Zwischenschicht (Sulfidoxyschicht bis 2900 km Tiefe mit Unterteilungen in 1700 und 2450 km Tiefe) und Metallkern (Nickeleisen) kann nicht als sicher begründet angesehen werden. Es lassen sich vielmehr einige Gründe dafür anführen, nach welchen folgende Zweiteilung des Erdkörpers als wahrscheinlicher angesehen werden kann: Der Mantel (bis 2900 km Tiefe) zeigt das aus der metallurgischen Praxis bekannte Dreiphasensystem: Silikatschmelze (bis 1200 km Tiefe), Sulfidoxyschmelze (bis 1700 oder 2450 km Tiefe) und Metallschmelze (bis 2900 km Tiefe). In dieser Tiefe überschreiten Druck und Temperatur einen kritischen Wert, so daß die Materie sprungweise in einen wesentlich anderen, unbekanntem Zustand übergeht. Es besteht die Möglichkeit, das Vorhandensein des magnetischen Erdfeldes auf den Zustand der Materie im Erdkern zurückzuführen.

Über die Verteilung der physikalischen Eigenschaften innerhalb des Erdkörpers erhalten wir auf Grund der Wirkungen, welche an der Erdoberfläche der direkten oder indirekten Beobachtung zugänglich sind, Anhaltspunkte, aus denen sich mit recht guter Sicherheit eine Reihe von Aussagen über die Beschaffenheit des Erdinnern ableiten lassen. Darüber hinaus besteht die Aufgabe darin, sich stützend auf die ermittelten Größen ein Bild von dem physikalischen Aufbau des festen Erdkörpers zu konstruieren.

Betrachten wir zunächst die physikalischen Eigenschaften, soweit sie durch die geophysikalischen Beobachtungstatsachen als sicher belegt angesehen werden

können*) — von der äußeren Gesteinsrinde der Erde bis etwa 70 km Tiefe werde im folgenden abgesehen —:

1. Die Verteilung der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Erdbebenwellen mit der Tiefe zeigt folgende graphische Darstellung (Fig. 1), welche den seismischen Forschungsergebnissen entsprechend gelten kann:

Unstetige Änderungen sind in 1200, 1700, 2450 und 2900 km Tiefe vorhanden. Unter diesen nimmt diejenige in 2900 km Tiefe eine ganz besondere

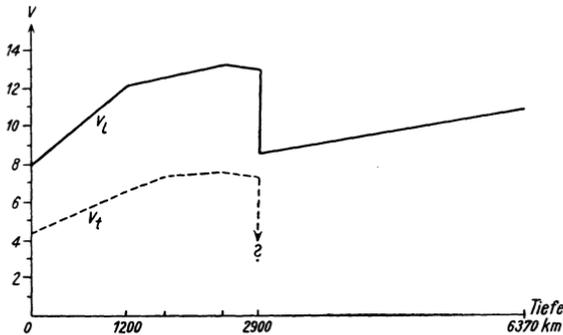


Fig. 1. Verteilung der Geschwindigkeit (in km pro Sek.) der longitudinalen (v_l) und transversalen (v_t) Erdbebenwellen mit der Tiefe

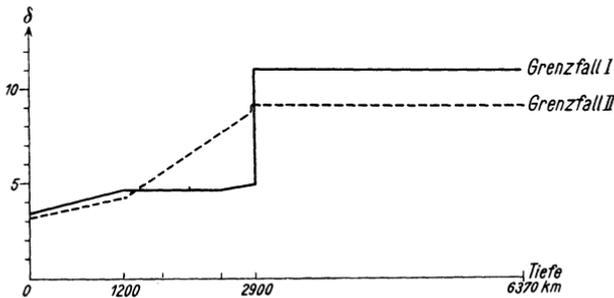


Fig. 2. Abhängigkeit der Dichte δ von der Tiefe

Stellung ein, da in dieser die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen plötzlich sprungweise von 13 auf 8.5 km abnimmt und das Vorhandensein von Transversalwellen für größere Tiefen bis jetzt nicht hat festgestellt werden können.

2. Die Verteilung der Dichte im Innern der Erde beeinflusst eine Reihe von Erscheinungen, welche der Beobachtung zugänglich sind. Es lassen sich eine ganze Reihe von Dichtegesetzen aufstellen, welche alle den Beobachtungstatsachen gerecht werden. Sie weichen nicht sehr erheblich voneinander ab.

*) Siehe z. B. B. Gutenberg: Lehrbuch der Geophysik, S. 434ff. Berlin 1929.

Fig. 2 zeigt zwei als ziemlich extrem anzusehende Fälle, innerhalb deren irgendwie die wirkliche Änderung der Dichte mit der Tiefe liegen muß: Am wenigsten sicher bekannt ist danach die Dichteverteilung in der Zwischenschicht von 1200 bis 2900 km Tiefe.

3. Über die Zunahme des Drucks mit der Tiefe lassen sich verhältnismäßig sicher begründete Aussagen machen, da einmal die Annahme der für hydrostatischen Druck geltenden Beziehungen recht gesichert erscheint, andererseits

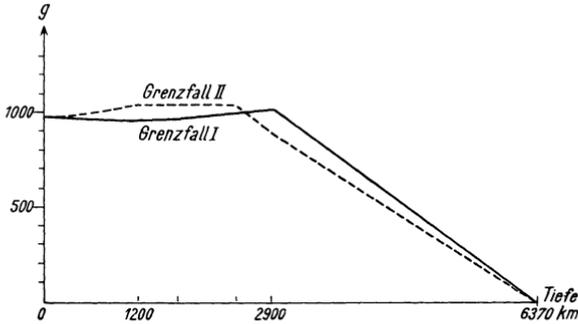


Fig. 3 a. Änderung der Schwerkraft g (in Hal) mit der Tiefe

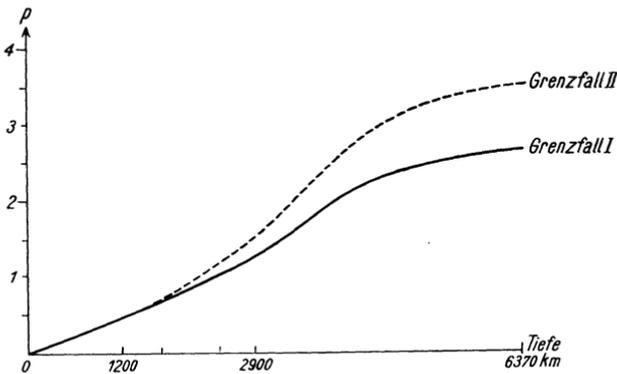


Fig. 3 b. Zunahme des Druckes p (in Millionen Atm.) mit der Tiefe

seits die Werte von der Annahme des Dichtegesetzes, welches man den Berechnungen zugrunde legt, nicht sehr erheblich beeinflußt werden. Fig. 3 a zeigt die Änderung der Schwerkraft, Fig. 3 b die ungefähre Druckzunahme nach dem Erdmittelpunkt unter Annahme der in Fig. 2 dargestellten Dichtegesetze:

4. Die Temperatur im Innern der Erde ist dagegen nur sehr wenig sicher zu beurteilen. Durch Beobachtung läßt sich nichts weiter feststellen, als daß nahe der Erdoberfläche bis zu einer Tiefe von etwa 3 km die Temperatur um rund 3°C je 100 m mit der Tiefe zunimmt. Alle Annahmen über die Temperaturen

im Erdinnern beruhen auf wenig sicher begründeten Vermutungen. Zweifellos läßt die Temperaturzunahme schon in geringer Tiefe stark nach, und im Erdinnern wird die Temperatur wohl kaum einen Wert von 2000 bis 8000° C übersteigen, wobei der niedrigere Wert wohl als der wahrscheinlichere angesehen werden muß.

Außer diesen physikalischen Eigenschaften des Erdinnern wissen wir aus der Beobachtung der Erdgestalt, der Ebbe- und Flutbewegung der festen Erde und der Polhöheschwankungen noch, daß der Erdkörper den säkularen Kräften plastisch nachgibt, sich dagegen kurzperiodisch wirkenden Kräften gegenüber (wozu noch die Newcombsche Periode der Polhöheschwankungen von 430 Tagen zu rechnen ist) wie ein elastischer Körper verhält von einer mittleren Elastizität, welche diejenige des Stahls um das Zwei- bis Dreifache übertrifft. Das sind aber Ergebnisse, die nur als Bestätigung einiger aus seismischen Beobachtungen gewonnenen Schlußfolgerungen angeführt werden können, im übrigen aber nichts wesentlich Neues über das Innere der Erde aussagen.

Damit sind die aus den geophysikalischen Beobachtungstatsachen zu folgernden Aussagen über die Beschaffenheit des Erdinnern erschöpft. Um ein vollständiges Bild von dem Aufbau des festen Erdkörpers entwerfen zu können, reichen die angeführten Daten nicht aus. Man muß daher, soweit es zugänglich ist, Ergebnisse anderer Forschungsgebiete der Physik mit heranziehen, einmal über das Verhalten der Stoffe bei zunehmenden hohen Drucken und Temperaturen, besonders bei Prozessen, welche dem Entwicklungsgang der Erde in irgendeiner Weise ähnlich sind, sodann aus den Ergebnissen der astrophysikalischen Forschung über die physikalischen Eigenschaften anderer Himmelskörper, wozu auch die Frage der stofflichen Zusammensetzung der Meteoriten gehört. Hier stößt man aber sofort auf große Schwierigkeiten, da man auf so beträchtliche Extrapolationen angewiesen ist, daß sie irgendwelche Analogieschlüsse als höchst gewagt erscheinen lassen: Das Verhalten der Materie bei zunehmendem Druck und Temperatur läßt sich experimentell verfolgen bis zu einigen Tausend Atmosphären Druck und etwa 1000° bis 2000° C Temperatur, in besonderen Einzelfällen wohl bis auf etwa 20000 Atm. Druck. Im tiefen Erdinnern herrschen aber noch höhere Temperaturen und Drucke, welche bis auf einige Millionen Atmosphären ansteigen! Trotzdem lassen sich einige weitere, genügend gesicherte Anhaltspunkte in bezug auf die Beschaffenheit des Erdinnern gewinnen.

Zunächst können wir als sicher annehmen, daß die Erde — bzw. die äußeren Teile — sich aus einem schmelzflüssigen Zustand abgekühlt hat. Dabei muß, worauf V. M. Goldschmidt hingewiesen hat, ein Prozeß vor sich gegangen sein, der den bekannten metallurgischen Schmelzoperationen entspricht: Bei hohen Temperaturen sind die Gemengteile völlig miteinander mischbar, bei der Abkühlung jedoch nur sehr unvollständig, und sie zerfallen dann in die drei Flüssigkeiten: Silikatschmelze, Sulfidoxyschmelze und Metallschmelze, welche Zonen man in der metallurgischen Praxis als „Schlacke“, „Stein“ und „Eisensau“ bezeichnet. Diese Dreiteilung können wir infolge ihres

Abkühlungsprozesses bei der Erde als sicher vorhanden annehmen. Eine gewisse Stütze findet diese Einteilung durch die unverkennbaren Parallelen mit der Klassifikation der Meteoriten: Das Material der Steinmeteoriten entspricht einem extrem basischen Eruptivgestein der äußeren Silikathülle der Erde; die Siderolithe, ein Gemenge von Nickeleisen und Silikaten, könnten der oberen Grenze der Sulfidoxyschale gleichgesetzt werden, während die Eisenmeteoriten (Siderite) der Metallschmelze entsprechen würden. Unbewiesene Voraussetzung bei solchen Analogieschlüssen ist freilich die Annahme, daß die Meteoriten Fragmente von kosmischen Körpern ähnlich der Erde darstellen, welche sich im Augenblick des Verfalls bereits in abgekühltem Zustand befunden haben.

Auf dieser Grundlage ist das Bild, welches wir uns nach dem gegenwärtigen Stande der geophysikalischen Forschung von der Beschaffenheit des Erdinnern machen können, dann weiter ausgebaut worden besonders von Tammann und Goldschmidt, indem man die Entmischungsvorgänge bei erstarrendem Schmelzfluß, besonders bei hohen Drucken, die Verteilung der die Erde aufbauenden Elemente usw. weiter untersuchte. Wenn auch in manchen Zügen das Bild naturgemäß noch recht hypothetisch bleibt, so ist es im großen und ganzen doch sehr überzeugend und hat sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich. Doch betrachten wir einmal die folgende Frage:

In welchen Tiefen befinden sich die Grenzflächen zwischen der Silikathülle und der Sulfidoxyschicht bzw. der Sulfidoxyschicht und der Metallschmelze?

Diese Grenzflächen werden als identisch mit den Unstetigkeitsflächen in 1200 und in 2900 km Tiefe angenommen, indem man die Unstetigkeitsflächen in 1700 und 2450 km Tiefe als weitere Unterteilungen der Sulfidoxyschicht ansieht. Man findet diese Ansicht so allgemein und selbstverständlich, daß sie außer Zweifel zu sein scheint. Ist diese Annahme nun wirklich so fest begründet, daß sie als vollkommen gesichert betrachtet werden kann?

Gehen wir mal von dieser Ansicht ab und denken uns die bisherige Ansicht über die Beschaffenheit des Erdinnern in diesem einen Punkte wie folgt geändert:

Die Silikathülle werde wie bisher bis 1200 km Tiefe angenommen; auf ihr folgt die Sulfidoxyschicht bis zu einer Tiefe von 1700 oder bis 2450 km, darauf die Metallschmelze bis 2900 km Tiefe. In dieser Tiefe erreichen Druck und Temperatur einen solchen kritischen Wert, daß die Materie ihre Eigenschaften sprungweise erheblich ändert und in einen anderen Zustand übergeht. Lassen sich für eine solche Hypothese stichhaltige Gründe anführen?

Zunächst ist zu beachten, daß weder die Beobachtungstatsachen noch die Ergebnisse der physikalischen Betrachtungen, soweit sie als gesichert angesehen werden können, zu einer solchen Annahme in Widerspruch stehen. Diese genügen sowohl der Auffassung über den Schalenbau der Erde in der ursprünglichen wie in der obigen geänderten Form.

Da die Gemengteile des Schmelzflusses bei hohen Temperaturen sich vollständig mischen und erst bei der Abkühlung sich mehr und mehr voneinander trennen, so ist anzunehmen, daß die Trennungsflächen um so weniger scharf ausgeprägt sind, in je größerer Tiefe sie liegen. Es ist daher wahrscheinlicher, daß die Trennungsfläche zwischen Sulfidoxydschmelze und Metallschmelze ähnlich ist derjenigen zwischen der Silikatschmelze und der Sulfidoxydschmelze, wobei die letztere, da in geringerer Tiefe außer in etwa 50 km keine Unstetigkeitsflächen festzustellen sind, wohl mit Recht in 1200 km Tiefe angenommen werden kann. Vielleicht dürfte sogar die erstere wegen der höheren Temperatur und des stärkeren Drucks in der größeren Tiefe weniger scharf sein. Diese Tatsache spricht unzweifelhaft dafür, daß die Trennungsfläche zwischen Sulfidoxydschmelze und Metallschmelze eher mit den in 1700 oder in 2450 km Tiefe festgestellten Unstetigkeitsflächen identisch ist als mit derjenigen in 2900 km Tiefe. Die Ausnahmestellung, welche die letztere gegenüber den anderen festgestellten Unstetigkeitsflächen einnimmt, deutet vielmehr auf eine Grenzfläche viel tiefer gehender Natur.

Eigenschaften und Zustand der Materie im Erdkern sind vollkommen unbekannt; es läßt sich nicht beurteilen, wieweit es berechtigt ist, aus dem Verhalten der Materie unter steigenden Drucken und Temperaturen bei Laboratoriumsuntersuchungen auf das Verhalten bei solchen Temperaturen und Drucken, wie sie im Erdinnern von 2900 km Tiefe an herrschen müssen, zu extrapolieren. Wahrscheinlich werden aber die Eigenschaften der Materie bei steigendem Druck und Temperatur sich nicht allmählich, sondern wie in dem bekannten Bereich sprunghaft ändern, sobald diese einen kritischen Wert überschreiten. Solche kritischen Werte wären dann in 2900 km Tiefe etwa bei rund 1.5 Millionen Atmosphären Druck und 2000 oder mehr Grad Celsius Temperatur anzunehmen. Denken wir uns eine Masse einem unbegrenzt immer stärker werdenden Druck ausgesetzt, so wird eine Kompression nur in geringem Maße stattfinden, da die Moleküle bzw. Atome außerordentlich widerstandsfähige Gebilde sind. Schließlich muß aber doch mal ein kritischer Wert erreicht werden, über den hinaus der Bau der Atome nicht mehr widerstandsfähig genug ist und eine Umwandlung vor sich geht, welche sowohl den Schalen- als auch den Kernbau der Atome ändert. Der direkten oder indirekten Beobachtung wird ein solcher Prozeß niemals zugänglich sein, da experimentell solche Bedingungen nicht hergestellt werden können. Es bleiben über die Beschaffenheit des Erdkerns also nur unbeweisbare Hypothesen übrig.

Ein Weg, um solche Hypothesen physikalisch zu begründen, zeigt sich durch gewisse andere, bis jetzt noch unerklärliche Erscheinungen der kosmischen Physik: Es besteht eine ziemliche Wahrscheinlichkeit, daß der Erdkern den Träger des durch die Erdrotation verursachten, rotationssymmetrischen Teiles des permanenten magnetischen Erdfeldes bildet. Das gleiche scheint bei der an der Sonne festgestellten Magnetisierung der Fall zu sein: Der Träger des Magnetfeldes der Sonne, welches demjenigen der Erde in Form und Richtung sehr

ähnlich ist, liegt wahrscheinlich in einem tieferen Niveau noch unter der umkehrenden Schicht, also im Sonnenkern, der sehr wahrscheinlich mit einer einheitlichen Geschwindigkeit von etwa 20 Tagen rotiert*). Eine Möglichkeit, das Vorhandensein des Erd- bzw. Sonnenmagnetismus auf die Beschaffenheit der Materie im Erd- bzw. Sonnenkern zurückzuführen, wurde bereits diskutiert**). Es läßt sich aber denken, daß noch andere Deutungsmöglichkeiten (vielleicht in Verbindung mit erdelektrischen Erscheinungen) vorhanden sein werden.

Potsdam, Mai 1930.

On the distribution of permanent repeat-stations

By **J. A. Fleming**, Acting Director, and **H. W. Fisk**, Chief of Land Survey Section,
Department of Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution of Washington

(With 2 Illustrations)

The Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington esteems it a high honor and a privilege to be represented among the contributors to the Festschrift to be issued on the occasion of the seventieth birthday of Professor Adolph Schmidt. In forming the original conception of the Department as an organization for studying the problem of terrestrial magnetism on a world-wide and comprehensive scale, in laying and in executing the plan for a magnetic survey of the Earth, and in the theoretical discussions undertaken from time to time, the wise counsel, the broad experience, and the friendly interest of Professor Schmidt have been inspirations contributing largely to such success as has been achieved. As founder and for many years director of the Department, Dr. Bauer often turned to him for constructive and helpful suggestions, always sure of a friendly and helpful response.

The following contribution finds its special fitness in a publication dedicated to Professor Schmidt, in that it emphasizes one of the needs for which he has worked for many years, namely, a more satisfactory distribution of stations supplying reliable magnetic information. Since the publication in 1896 of his note „On the distribution of magnetic observatories over the globe“, there has been a great increase not only in the number of active observatories but also in the number of spots where magnetic measurements have been carefully made, and secular variation, which he perceived to be a phenomenon of outstanding significance in 1898, has become of increasingly greater interest as it has become better known.

*) Vgl. G. Angenheister: Das Magnetfeld der Erde und der Sonne. Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-Phys. Kl., 1924.

***) Vgl. Jahrg. 5, Heft 8 dieser Zeitschr.