

# ALFRED WEGENER

DIE ENTSTEHUNG DER  
KONTINENTE UND  
OZEANE

Alfred Wegener

**Die Entstehung der  
Kontinente und Ozeane**

«Public Domain»

**Wegener A.**

Die Entstehung der Kontinente und Ozeane / A. Wegener — «Public Domain»,

## Содержание

Vorwort	5
Erstes Kapitel.	7
Zweites Kapitel.	15
Drittes Kapitel.	21
Allgemeines	22
Erscheinungen der Kontinentaltafeln	27
Конец ознакомительного фрагмента.	31

# Alfred Wegener

## Die Entstehung der Kontinente und Ozeane

### Vorwort

Das vorliegende Buch ist die – völlig umgearbeitete und wesentlich vermehrte – zweite Auflage meiner gleichnamigen, 1915 in der Sammlung „Vieweg“ (Nr. 23) erschienenen Schrift, die vergriffen ist. Die Übernahme der neuen Auflage in die Sammlung „Wissenschaft“ erfolgte wegen des vergrößerten Umfanges; sie erscheint aber auch durch die starke Veränderung gerechtfertigt, die sie bei der Neubearbeitung erfahren hat und durch welche sie den Charakter eines neuen Buches annimmt.

Die Theorie der Kontinentalverschiebungen ist in allen Teilen schärfer gefaßt, und ihre Prüfung durch Heranziehung von Beobachtungsmaterial erheblich weiter im einzelnen durchgeführt, als es mir bei der ersten Auflage möglich war. Insbesondere konnten die Polverschiebungen und auch die Ursache der Kontinentalverschiebungen weit ausführlicher behandelt werden; dies sind wohl die beiden Punkte, in denen die Theorie am weitesten fortgeführt werden konnte. Die im Vorwort der ersten Auflage als *experimentum crucis* bezeichneten Änderungen der transatlantischen Längenunterschiede haben sich zwar für die zunächst in Betracht gezogene Strecke Europa–Nordamerika bisher nicht bestätigen lassen, dagegen haben die endgültigen Ergebnisse der Danmark-Expedition eine um so glänzendere Bestätigung für die Strecke Europa–Grönland gebracht.

Seit der ersten Auflage ist im In- und Auslande eine umfangreiche Literatur über die Kontinentalverschiebungen entstanden, deren Aufzählung mehrere Seiten füllen würde. Eine Reihe bekannter Fachgelehrter, allen voran *Dacqué*, hat sich trotz der Neuheit dieser Gedankengänge mit Interesse, ja teilweise mit vorbehaltloser Anerkennung dazu geäußert. Naturgemäß ist aber die Zahl der Zweifler noch immer groß, zumal die Theorie von verschiedenen Seiten, namentlich den Geologen *Diener*, *Semper* und *Sörgel* heftig angegriffen worden ist. Der teilweise verfehltete Ton dieser Angriffe ist bereits von anderer Seite getadelt worden<sup>1</sup>. Was an tatsächlichen Einwänden vorgebracht wurde, ist in der vorliegenden Neubearbeitung sorgfältig berücksichtigt. Leider beruht ein großer Teil der Einwände auf bloßen Mißverständnissen, ja sogar Versehen, die sich bei größerer Sorgfalt der Kritik leicht hätten vermeiden lassen. Obwohl auch hierauf bereits von anderer Seite hingewiesen worden ist<sup>2</sup>, sind diese Mißverständnisse doch unerkannt in zahlreiche Referate übergegangen. Ich bin deshalb bestrebt gewesen, die betreffenden Fragen in der vorliegenden Darstellung möglichst unzweideutig zu behandeln.

Wie die erste Auflage durch die selbstlose geologische Beratung und Mitarbeit von *Cloos* gefördert, um nicht zu sagen, ermöglicht wurde, so ist die zweite gekennzeichnet durch die nicht minder wertvolle Mitarbeit eines Klimatologen; ihre Ausarbeitung geschah nämlich in täglichem Gedankenaustausch mit *W. Köppen*, und ich hatte die Genugtuung, daß dieser, anfangs kühl und zweifelnd, sich mit wachsender Wärme in die Ideenwelt der Verschiebungstheorie vertiefte und schließlich mit hoher Freude zu der Überzeugung hindurchdrang, daß hier der rote Faden im Labyrinth der Paläoklimatologie gefunden sei. Mehrere Kapitel entstanden in so engem Gedankenaustausch mit ihm, daß die Grenze des geistigen Eigentums nicht mehr feststellbar ist. Seine wichtigsten Ideen über diesen Gegenstand wird *Köppen* noch in zwei besonderen Abhandlungen in „*Petermanns Mitteilungen*“ veröffentlichen.

---

<sup>1</sup> *Von Hofsten*, Wegeners förskjutningsteori och de djurgeografiska landförbindelsehypoteserna. *Ymer* 1919, Heft 4, S. 278-301.

<sup>2</sup> *W. Köppen*, Über Isostasie und die Natur der Kontinente. *Geogr. Zeitschr.*, Bd. 25, Heft 1, 1919, S. 39-48.

Von anderen Fachleuten bin ich namentlich den Herren *Andree, Irmscher, Michaelsen* und *Tams* für geistige Unterstützung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet.

Der Leser sei nachdrücklichst darauf hingewiesen, daß eine große Zahl von Fragen – wenn man nicht auf eigenes Urteil verzichten will – durchaus die Benutzung eines Erdglobus erfordern. Ein Atlas reicht wegen der Verzerrung durch die Projektion nicht aus. Die Kritik der ersten Auflage krankt geradezu an der Nichtbenutzung des Globus.

*Hamburg-Großborstel*, im April 1920.

*Alfred Wegener.*

## Erstes Kapitel.

### Landbrücken, Permanenz der Ozeane und Isostasie

Die heutige Geologie steht im Zeichen eines Wechsels ihrer zusammenfassenden Grundanschauungen. Bis heute herrscht noch, wenn auch nicht mehr unbestritten, die von *Dana*, *Albert Heim* und *Eduard Suess* vertretene Theorie einer Schrumpfung der Erde. Wie ein trocknender Apfel durch den Wasserverlust des Innern faltige Runzeln an der Oberfläche bekommt, so sollten sich durch die Abkühlung und damit verbundene Schrumpfung des Erdinnern die Gebirgsfalten an der Oberfläche bilden. *Suess* fand den kürzesten Ausdruck: „Der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir beiwohnen“<sup>3</sup>. Noch in der 1918 erschienenen 5. Auflage von *E. Kayser*s Lehrbuch der Allgemeinen Geologie wird diese Lehre vorbehaltlos angenommen. Man wird gewiß gern einräumen, daß diese Theorie das historische Verdienst hat, lange Zeit hindurch eine ausreichende Zusammenfassung unseres geologischen Wissens darzustellen. Heute ist sie aber bereits weit entfernt davon, dieser Aufgabe zu genügen, worin wohl die meisten Geologen und jedenfalls alle Geophysiker einig sind. Man hat sich aber bisher meist damit beschieden, daß „die Kontraktionstheorie längst nicht mehr voll anerkannt wird, und einstweilen keinerlei Theorie gefunden ist, die sie vollständig ersetzen und alle Umstände erklären kann“<sup>4</sup>.

Von geophysikalischer Seite wird abgestritten, daß die Erde sich merklich abkühlt, weil durch den Zerfall der radioaktiven Stoffe in der Erdkruste so viel Wärme frei werde, daß die Temperatur sogar umgekehrt im Steigen sein könnte<sup>5</sup>. Und die Geologen müssen zugeben, daß schon im Algonkium große Inlandeismassen die damaligen Polargebiete bedeckten, die Bodentemperatur also nicht viel anders gewesen sein kann als heute. Aber noch viel schlimmer steht es mit der eigentlichen Beobachtungsgrundlage der Schrumpfungshypothese, nämlich dem Gebirgszusammenschub. Denn es stellt sich als immer unmöglicher heraus, diese riesenhaften Zusammenschübe auf Rechnung einer Abkühlung der Erde zu setzen. Die Arbeiten von *Bertrand*, *Schardt*, *Lugeon* u. a. haben zu einer ganz neuen und eigenartigen Auffassung eines großen Teiles der Alpenfaltung geführt, indem hier statt eigentlicher Falten schuppenartige „Deckfalten“ oder Überschiebungen angenommen werden. Hierdurch wird der Betrag des Zusammenschubes noch wesentlich größer, als früher angenommen wurde. *Heim* hat nach der älteren Auffassung für den Schweizer Jura eine Verkürzung auf  $\frac{4}{5}$ , für die Alpen auf  $\frac{1}{2}$  berechnet, dagegen nach den neuen Anschauungen für letztere  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{8}$ <sup>6</sup>. Da die heutige Breite etwa 150 km beträgt, so wäre also hier ein Rindenstück von 600 bis 1200 km Breite (5 bis 10 Breitengraden) zusammengeschoben. Jeder Versuch, solche Größen auf eine Temperaturerniedrigung des Erdinnern zurückzuführen, muß scheitern. *Kayser* bemerkt zwar, daß ein Zusammenschub um 1200 km nur 3 Proz. des Erdumfanges ausmacht, so daß sich auch der Radius um 3 Proz. verringert haben müßte, allein anschaulich werden diese Zahlen erst, wenn man die Temperaturen berechnet, die ihnen entsprechen. Legt man einen Mittelwert aus den vier linearen Ausdehnungskoeffizienten von Nickel (0,000013), Eisen (0,000012), Kalkspat (0,000015) und Quarz (0,000010) zugrunde [0,0000125], so kommt man – allein um die tertiäre Faltung zu erzielen – auf einen Temperaturverlust der Erde von etwa 2400°. Es bedarf keiner Erläuterung, daß man damit namentlich für die älteren Zeiten, in denen die Faltung viel universeller wirksam war, zu ganz absurden Temperaturen käme. Es ist auch nicht einzusehen, wie es physikalisch möglich sein soll, wie *Heim* will, daß die Schrumpfung eines ganzen größten Kreises gerade an einer Stelle zum

---

<sup>3</sup> *E. Suess*, Das Antlitz der Erde 1, 778, 1885.

<sup>4</sup> *E. Böse*, Die Erdbeben (Sammlung „Die Natur“, o. J.), S. 16; vgl. auch die Kritik bei *Andrée*, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.

<sup>5</sup> v. *Wolff*, Der Vulkanismus 1, 8. Stuttgart 1913.

<sup>6</sup> *A. Heim*, Bau der Schweizer Alpen. Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. Zürich 1908, 110. Stück, S. 24.

Austrag kommt. Wie *Ampferer*<sup>7</sup>, *Reyer*<sup>8</sup>, *Rudzki*<sup>9</sup>, *Andrée*<sup>10</sup> u. a. gefordert haben, müßte vielmehr die ganze Erdoberfläche gleichmäßig von der Runzelung betroffen werden, was ja auch der trocknende Apfel zeigt.

Noch weit größere Bedenken stehen der Auffassung der Kontinente als stehengebliebene, der Ozeane als abgesunkene Schollen beim „Zusammenbruch“ nach der Schrumpfungshypothese entgegen. Nach *Lyells* Vorgang nahm man einen schrankenlosen Wechsel zwischen dem Auftauchen von Tiefseeböden über Wasser und dem Versinken von Kontinenten bis zum Tiefseeboden an, gestützt einerseits auf die marinen Ablagerungen auf den heutigen Kontinenten und andererseits auf die Verwandtschaft der fossilen Fauna und Flora heute getrennter Kontinente, welche einen Brückenkontinent an Stelle des Ozeans zwischen ihnen zu erfordern schien. Doch muß man gerechterweise anerkennen, daß die Vertreter der Schrumpfungshypothese das besondere Problem, welches in den Kontinentalschollen steckt, als solches anerkannt haben. 1878 mußte *A. Heim* bekennen, „daß, bevor genauere Beobachtungen über die kontinentalen Schwankungen der Vorzeit gemacht sind,... und bevor wir vollständigere Messungen über die Beträge des ausgeglichenen Zusammenschubes der meisten Gebirge haben, kaum ein wesentlich sicherer Fortschritt in der Erkenntnis des ursächlichen Zusammenhangs von Gebirgen und Kontinenten und der Form der letzteren untereinander zu erwarten sein wird“<sup>11</sup>. Und 1918 schreibt *E. Kayser*: „Gegenüber dem Rauminhalt dieser Steinkolosse erscheinen alle festländischen Erhebungen unbedeutend und geringfügig. Selbst Hochgebirge wie der Himalaya sind nur verschwindende Runzeln auf der Oberfläche jener Sockel. Schon diese Tatsache läßt die alte Ansicht, nach der die Gebirge das maßgebende Gebälk der Kontinente darstellen sollten, heute unhaltbar erscheinen... Wir müssen vielmehr umgekehrt annehmen, daß die Kontinente das Ältere und Bestimmende, die Gebirge aber nur nebensächliche jüngere Gebilde darstellen“<sup>12</sup>. Man kann in diesen beiden Zitaten wohl das Zugeständnis erblicken, daß die Kontinentalschollen der Schrumpfungshypothese Schwierigkeiten machen. Es dürfte in der Tat schwer sein, vom Boden dieser Hypothese aus zu irgendwelchen bestimmten Vorstellungen über die Entstehung der Kontinente zu kommen. Davon, daß einzelne Schollen beim Zusammenbruch bis zum Tiefseeboden absinken, andere unter Wirkung des Gewölbedruckes als Stufen stehenbleiben, kann doch bei den ungeheuren, hier in Betracht kommenden Flächen nicht die Rede sein. Die marinen Ablagerungen auf dem Lande haben sich überdies mit verschwindend wenigen Ausnahmen als Flachseerzeugnisse erwiesen, wie sie sich heute auf den randlichen Überflutungen der Kontinentalschollen, den Schelfen, bilden. Früher für Tiefseeablagerungen gehaltene Sedimente haben sich durch neuere Forschungen als Flachseesedimente erwiesen, wie es z. B. für die Schreibkreide von *Cayeux* nachgewiesen ist. Bei einer kleinen Anzahl, wie den kalkarmen Radiolariten der Alpen und gewissen roten Tonen, die an den roten Tiefseeton erinnern, nimmt man zwar auch heute noch große Entstehungstiefen an, vor allem, weil das Seewasser erst in großer Tiefe auflösend auf den Kalk wirkt. Aber die Deutung dieser Funde ist noch umstritten, meist kommt man mit Tiefen von 1000 bis 2000 m aus, die also noch immer zu der Kontinentalstufe gerechnet werden können, und jedenfalls ist die räumliche Erstreckung dieser Sedimente eine ganz verschwindende<sup>13</sup>.

Es ist deshalb auch heute ein allgemein anerkannter Satz, daß die auf den Kontinenten abgelagerten Sedimente grundsätzlich nicht der Tiefsee, sondern seichten Überflutungen durch

---

<sup>7</sup> *Ampferer*, Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt **56**, 539-622. Wien 1906.

<sup>8</sup> *Reyer*, Geologische Prinzipienfragen, S. 140 f. Leipzig 1907.

<sup>9</sup> *Rudzki*, Physik der Erde, S. 122. Leipzig 1911.

<sup>10</sup> *Andrée*, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.

<sup>11</sup> *A. Heim*, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, 2. Teil, S. 237. Basel 1878.

<sup>12</sup> *E. Kayser*, Lehrb. d. allgem. Geol., 5. Aufl., S. 132. Stuttgart 1918.

<sup>13</sup> Eine ausführliche Diskussion dieser etwaigen Tiefseeablagerungen findet man in *Dacqué*, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 215. Jena 1915.



Epikontinentalmeere entstammen. Die heutigen Kontinente haben also zu keiner Zeit der Erdgeschichte den Boden der Tiefsee gebildet, sondern waren stets Kontinentalschollen, und *Lyells* Vorstellung von einem wiederholten Absinken und Auftauchen ist also jedenfalls dahin einzuschränken, daß es sich nur um wechselnde Überflutungen von permanenten Kontinentalschollen handelt.

Ganz und gar unbrauchbar aber erweist sich die Schrumpfungshypothese, um die neueren Ergebnisse der Geophysik aufzunehmen, die uns ein ganz anders geartetes Bild von der Natur der Erdrinde entrollen. Diese Ergebnisse werden zusammengefaßt in der Lehre von der Isostasie, d. h. dem Druckgleichgewicht oder dem Schwimmen der Erdrinde (Lithosphäre) auf einer magmatischen, schwereren Unterlage (Barysphäre). Wie ein Stück Holz bei Belastung tiefer in das Wasser eintaucht, so taucht auch die Lithosphäre der Erde an der Stelle, wo die z. B. mit einer Inlandeiskappe belastet wird, nach dem *Archimedischen* Gesetz tiefer in das schwere Magma der Barysphäre ein, um nach dem Abschmelzen des Eises die während der Depression gebildeten Strandlinien mit emporzuheben. So zeigen die aus den Strandlinien abgeleiteten Isobarenkarten *de Geers* für die letzte Vereisung Skandinaviens eine Depression des zentralen Teiles um mindestens 250 m, die nach außen allmählich geringer wird<sup>14</sup>, und für die „große“ Eiszeit sind noch höhere Werte anzunehmen. Dieselbe Erscheinung hat *de Geer* auch für das nordamerikanische Vereisungsgebiet nachgewiesen. *Rudzki* hat gezeigt, daß man unter Annahme der Isostasie hieraus plausible Werte für die Dicke der Inlandeisschicht berechnen kann, nämlich 930 m für Skandinavien und 1670 m für Nordamerika, wo die Senkung 500 m betrug<sup>15</sup>. Da die Barysphäre nicht leichtflüssig wie Wasser, sondern sehr zähflüssig ist, so hinken alle solche isostatischen Ausgleichsbewegungen stark nach; die Strandlinien haben sich meist erst nach Abschmelzen des Eises, aber vor der Hebung gebildet, und auch heute steigt Skandinavien, wie die Nivellements zeigen, noch um etwa 1 m im Jahrhundert<sup>16</sup>. Auch sedimentäre Ablagerungen haben, wie wohl *Osmond Fisher* zuerst erkannte, eine Senkung der Scholle zur Folge. Jede Aufschüttung von oben führt zu einer freilich etwas nachhinkenden Senkung der Scholle, so daß die neue Oberfläche wieder fast in der alten Höhe liegt. Vom spezifischen Gewicht der Ablagerung hängt es ab, ob die alte Höhe überschritten wird oder nicht. Da Sedimente wohl stets leichter sind als das Urgestein, welches das eigentliche Material der Lithosphäre darstellt, so läßt sich eine Mulde (Geosynklinale) trotz Nachgebens der Unterlage allmählich ausfüllen, aber die Mächtigkeit der hierzu nötigen Ablagerungen wird erheblich größer sein müssen als die ursprüngliche Tiefe der Mulde, weil sich diese während des Prozesses weiter vertieft. Auf diese Weise können viele Kilometer mächtige Ablagerungen entstehen, die alle gleichwohl in flachem Wasser gebildet sind.

Ihre physikalische Begründung fand diese von *Pratt* herrührende Lehre von der Isostasie (das Wort wurde erst 1892 von *Dutton* geprägt) durch die Schweremessungen. *Pratt* hatte schon 1855 festgestellt, daß der Himalaja nicht die erwartete Anziehung auf das Lot ausübt, und dem entsprach die später überall bestätigte Tatsache, daß die Schwerkraft bei großen Gebirgen nicht wesentlich von ihrem gewöhnlichen Werte abweicht, so daß die Gebirgsmassive durch unterirdische Massendefekte irgendwelcher Art kompensiert erscheinen, wie die Arbeiten von *Airy*, *Faye*, *Helmert* u. a. zeigten. Nachdem der Gedanke an unterirdische Hohlräume hatte aufgegeben werden müssen, blieb nur die von *Heim* wohl zuerst ausgesprochene Annahme, daß die leichte Lithosphäre unter den Gebirgen verdickt sei und das schwere Magma hier in größere Tiefe dränge. Auch auf den Ozeanen hat sich gezeigt, daß die Schwerkraft ungefähr ihren Normalwert besitzt, trotz des sichtbaren Massendefekts, den die großen Ozeanbecken darstellen. Die früheren Messungen auf Inseln ließen zwar noch verschiedenartige Deutungen zu; nachdem es aber *Hecker* gelungen war, statt der an Bord nicht

---

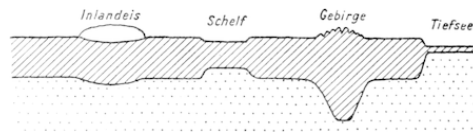
<sup>14</sup> *G. de Geer*, Om Skandinaviens geografiska Utveckling efter Istiden. Stockholm 1896.

<sup>15</sup> *Rudzki*, Physik der Erde, S. 229. Leipzig 1911.

<sup>16</sup> Die auffallend gleichartige Zerrissenheit der symmetrisch angeordneten Fjordküsten von Norwegen und Labrador, ferner der Westküste Nordamerikas zwischen 48 und 58° nördl. Br. und der Westküste Südamerikas zwischen 42 und 55° südl. Br. dürfte neben der Gletschererosion wohl auch auf diese noch nicht ausgeglichene Senkung durch Inlandeis zurückzuführen sein.

verwendbaren Pendel nach einem Vorschlage von *Mohn* die Schwere durch gleichzeitige Ablesungen am Quecksilberbarometer und am Siedethermometer zu bestimmen, konnte er diese Messungen auch an Bord eines Dampfers ausführen und so eindeutige Resultate erhalten <sup>17</sup>. Aus diesem Ergebnis muß also, umgekehrt wie bei den Gebirgen, geschlossen werden, daß der sichtbare Massendefekt der Ozeanmulde durch einen unterirdischen Massenüberschuß kompensiert wird, was zu der Annahme führte, daß die Lithosphäre unter den Ozeanen sehr viel dünner sei als unter den Kontinenten, so daß hier das schwere Magma dem Beobachter um so viel näher läge. (Eine ebenso gute Lösung ist aber die später zu begründende neue Annahme, daß die Lithosphäre hier ganz fehlt.) Eine schematische Darstellung dieser durch die Isostasielehre begründeten Vorstellung von der Natur der Lithosphäre, die schon 1855 von *Airy* entwickelt und später von *Stokes* ausgebaut wurde, gibt [Fig. 1](#). Die neuere Entwicklung dieser Isostasielehre betrifft vor allem die Frage ihres Gültigkeitsbereiches. Für größere Schollen, wie z. B. einen ganzen Kontinent oder einen ganzen Tiefseeboden, muß ohne weiteres Isostasie angenommen werden. Aber im kleinen, bei einzelnen Bergen, verliert dies Gesetz seine Gültigkeit. Solche kleineren Teile können durch die Elastizität der ganzen Scholle getragen werden, genau wie ein Stein, den man auf eine schwimmende Eisscholle legt. Die Isostasie vollzieht sich dann zwischen Scholle plus Stein als Ganzem und dem Wasser. So zeigen die Schweremessungen auf den Kontinenten bei Gebilden, deren Durchmesser nach Hunderten von Kilometern mißt, sehr selten eine Abweichung von der Isostasie; beträgt der Durchmesser nur Zehner des Kilometers, so herrscht meist nur eine teilweise Kompensation, und beträgt er nur einige Kilometer, so fehlt die Kompensation meist ganz <sup>18</sup>.

Fig. 1.



Schnitt durch die Lithosphäre nach der Isostasielehre.

Es leuchtet unmittelbar ein, daß sich diese Lehre von der Isostasie in keiner Weise mit der Schrumpfungshypothese und ihrer Vorstellung vom „Gewölbedruck“ und dem „Zusammenbruch des Erdballes“ vereinigen läßt. Die geologische Wissenschaft ist damit vor die Aufgabe gestellt, eine neue Grundhypothese zu schaffen, welche die Schrumpfungshypothese ersetzen und das gesamte Tatsachenmaterial unter Einschluß des geophysikalischen zu einem Gesamtbilde vereinigen kann.

<sup>17</sup> Die geschichtliche Entwicklung ging infolge falscher theoretischer Berechnungen einen Umweg, den wir hier übergehen (vgl. *Köppen*, Über Isostasie und die Natur der Kontinente, Geogr. Zeitschr. **25**, 40, 1919). Außerdem ist *Heckers* Resultat, weil zehnmal ungenauer als die Pendelmessungen, angegriffen worden, aber mit Unrecht. Leider haben diese Verhältnisse bei solchen Geologen, denen die Voraussetzungen zu einem eigenen Urteil über die mathematischen Ableitungen fehlen, vielfach Verwirrung gestiftet. Eine Weiterentwicklung der *Heckerschen* Methode wäre deshalb jedenfalls wünschenswert.

<sup>18</sup> In diesen Verhältnissen gibt sich der Übergang von der Herrschaft der Massenkkräfte (Schwere) zu der der Molekularkräfte (Festigkeit) zu erkennen. Für große Dimensionen gibt die Erdrinde der Schwerkraft nach, sie verhält sich plastisch, es herrscht Isostasie; für kleine Dimensionen ist sie starr, es fehlt die Isostasie. Aus demselben Grunde haben ja auch sehr kleine Weltkörper, wie manche Planetenmonde und einige der kleinen Planeten, und um so mehr natürlich die Meteoriten, nicht mehr die Kugelform; denn diese bedeutet Isostasie. Beim Monde herrscht, wenn man ihn als Ganzes nimmt, Isostasie; die großen Unebenheiten seiner Oberfläche entsprechen aber dem Umstande, daß die Massenkkräfte dort bereits erheblich geringer sind als auf der Erde, so daß die Molekularkräfte mehr hervortreten. Auch die Höhe der Gebirge ist eben, wie schon die von *Penck* hervorgehobenen gleichförmigen Gipfelhöhen der Alpen nahelegen, keine zufällige Größe, sondern es ist dafür gesorgt, daß auch die Berge nicht in den Himmel wachsen, indem nach Überschreiten einer gewissen Schollenmächtigkeit die Massen namentlich auf der Unterseite der Scholle seitlich auseinanderfließen und sich einebnen. – Aus diesen Überlegungen geht auch hervor, daß alle Hypothesen, welche die Erde als einen Kristall irgendwelcher Art auffassen, unhaltbar sind. So würde der jüngst von *Kohn* angenommene Eisenkristall im Erdinnern (*H. Kohn*, Die Entstehung der heutigen Oberflächenformen der Erde und deren Beziehungen zum Erdmagnetismus, Ann. d. Natur- u. Kulturphilosophie **12**, 88-130, 1913) aus eigenem Antrieb die Kugelform annehmen, und auch das viel befürwortete Kontraktionstetraeder (vgl. *Dacqué*, Grundlagen u. Methoden d. Paläogeographie, S. 55. Jena 1915) läßt sich nur mit hinreichend kleinen Gummiballonen erzeugen, ist aber bei Weltkörpern unmöglich.

Aber statt dessen sehen wir heute nur zwei Teillösungen des Problems in einem für beide gleich hoffnungslosen Kampf gegeneinander verstrickt, nämlich die Hypothese der Brückenkontinente und die Hypothese der Permanenz der Ozeane und Kontinente.

Die Verfechter der Brückenkontinente halten sich an die heute wohl als gesichert zu betrachtende Tatsache, daß die enge Verwandtschaft der Fauna und Flora heute weit getrennter Kontinente durchaus breite Landverbindungen für die Vorzeit erfordert<sup>19</sup>. Die immer reichlicher zuströmenden Einzelfunde lassen das Bild dieser Zusammenhänge immer deutlicher vor unseren Augen erwachsen, und heute schon herrscht bei den wichtigsten dieser Landbrücken unter den verschiedenen Fachgelehrten eine sehr weitgehende Übereinstimmung. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf die im vierten Kapitel gegebene tabellarische Übersicht über die ablehnende oder zustimmende Stellung von 20 Fachgelehrten zu den einzelnen Brücken. Als gesichert gelten eine bisweilen behinderte Landverbindung zwischen Nordamerika und Europa, die erst in der Eiszeit endgültig abbrach, ferner eine solche zwischen Afrika und Südamerika, die, schon mit der Kreide behindert, im Eozän endgültig abbrach, eine dritte, die „lemurische“ Brücke zwischen Madagaskar und Vorderindien, die im Untereozän abbrach, aber noch bis zum Miozän einen beschränkten Formenaustausch zuließ, und endlich eine „gondwanische“ Brücke zwischen Afrika plus Madagaskar und Australien, die im Lias oder Unterdogger abbrach und vermutlich Antarktika enthielt.

Auch zwischen Südamerika und Australien muß unbedingt früher eine bequeme Landverbindung geherrscht haben, aber die Ansicht, daß diese durch einen Brückenkontinent im südlichen Pazifik gebildet worden sei, wird nur von ganz wenigen Fachgelehrten vertreten. Die meisten nehmen an, daß diese Verbindung über Antarktika ging, welches gerade auf der kürzesten Verbindung zwischen den beiden Kontinenten liegt.

Daneben ist natürlich eine große Anzahl von Brücken anzunehmen, die heute durch Schelfmeere ersetzt sind. Die Anhänger der Hypothese der Brückenkontinente haben bisher gar keinen Unterschied gemacht zwischen Brücken über Tiefsee und Brücken über Schelfe. Für die ersteren werden in diesem Buche neue Anschauungen entwickelt, für die letzteren aber, dies sei besonders betont, bleiben die bisherigen Anschauungen vom Versinken und Wiederauftauchen des trockenen Landes in vollem Umfange bestehen, und wir haben z. B. nicht das geringste einzuwenden gegen die bisherige Vorstellung, daß an der Beringstraße vom Eozän bis zum Quartär Landverbindung zwischen den beiden großen Kontinentalschollen geherrscht hat, und daß sie erst dann versank, ebenso wie sie bereits früher, namentlich in der Trias, zeitweise versunken gewesen war<sup>20</sup>. Nur das Versinken von Landbrücken bis zum Tiefseeboden ist es, was, wie gezeigt werden wird, der Kritik nicht standzuhalten vermag, aber ohne daß wir deshalb die Landverbindung entbehren können.

Gegenüber diesen Anhängern der Hypothese der Brückenkontinente verfechten die Anhänger der Permanenzhypothese den Satz: „Die großen Tiefseebecken bilden permanente Erscheinungen der Erdoberfläche und haben mit geringen Änderungen ihrer Umrisse schon seit der ersten Sammlung

---

<sup>19</sup> „Allerdings gibt es heute auch noch einige Gegner der Landbrücken. Unter ihnen ist besonders *G. Pfeffer* hervorzuheben. Er geht davon aus, daß verschiedene jetzt auf die Süderdeile beschränkte Formen auf der Nordhalbkugel fossil nachgewiesen sind. Für diese ist es nach ihm unzweifelhaft, daß sie einst mehr oder weniger universal verbreitet waren. Ist nun schon dieser Schluß nicht unbedingt zwingend, so noch viel weniger der weitere, daß wir eine universale Ausbreitung auch in allen den Fällen diskontinuierlicher Verbreitung im Süden annehmen dürften, in denen ein fossiler Nachweis im Norden noch nicht stattgefunden hat. Wenn er so alle Verbreitungseigentümlichkeiten ausschließlich durch Wanderungen zwischen den Nordkontinenten und ihren mediterranen Brücken erklären will, so steht diese Annahme durchaus auf ganz unsicherem Boden...“ (*Arlt*, Südatlantische Beziehungen, Peterm. Mitteil. **62**, 41-46, 1916). Daß jedenfalls die Verwandtschaften der Südkontinente sich einfacher und vollständiger durch unmittelbare Landzusammenhänge erklären lassen, als durch parallele Abwanderung vom gemeinsamen Nordgebiet, bedarf keiner Erörterung.

<sup>20</sup> Unter den zahlreichen Mißverständnissen, auf denen sich *Dieners* Ablehnung unserer Vorstellungen stützt (Die Großformen der Erdoberfläche, Mitteil. d. k. k. Geol. Ges. Wien **58**, 329-349, 1915), und die größtenteils bereits von *Köppen* (Über Isostasie und die Natur der Kontinente, Geogr. Zeitschr. **25**, 39-48, 1919) zurückgewiesen sind, befindet sich auch das folgende: „Wer Nordamerika an Europa heranschiebt, zerreißt seinen Zusammenhang mit der asiatischen Kontinentalscholle an der Beringstraße.“ Dieser durch die Merkatorkarte nahegelegte Einwand schwindet, wenn man den Globus zur Hand nimmt; es handelt sich im wesentlichen um eine Drehung Nordamerikas etwa um Alaska. Näheres siehe Kap. 4.

des Wassers an derselben Stelle gelegen, an der sie jetzt liegen“<sup>21</sup>. Sie gehen aus von der oben erörterten Tatsache, daß auf den Kontinenten keine Tiefseeablagerungen in irgendwie beträchtlicher Ausdehnung vorkommen, daß also die Kontinentalschollen als solche unbestritten permanent sind. Hierdurch entsteht aber für die Konstruktion von Brückenkontinenten eine große Verlegenheit. Denn wenn deren Erhebung nicht durch anderweitige entsprechende Senkungen kompensiert wird, so enthalten die übrigbleibenden, sehr verkleinerten Tiefseebecken bei weitem nicht Raum genug für die Wassermenge der Ozeane. Es müßten dann – mit Ausnahme hoher Gebirge – alle Kontinente einschließlich der emporgehobenen Brückenkontinente, mit einem wenn auch nicht sehr tiefen Meere vollständig überflutet gewesen sein. Eine solche allgemeine Überflutung durch eine „Panthalassa“ wird aber in der Geologie nur für die allerälteste Zeit angenommen, und es ist klar, daß wir durch diese Konsequenz für die in Frage kommenden Zeiten, wo wir gerade Landbrücken zwischen trockenen Kontinenten brauchen, ad absurdum geführt werden. Um dieser von *Willis* und *Penck* betonten Schwierigkeit zu entgehen, müßten wir die sehr unwahrscheinliche, sonst durch nichts begründete Annahme machen, daß die Gesamtwassermenge der Erde sich gerade in entsprechendem Tempo vermehrt hat, wie die Landbrücken abgesunken sind. Diese Hypothese ist aber ernstlich noch von niemand vertreten worden.

Weiter fußen die Anhänger der Permanenzhypothese auch auf den geophysikalischen Ergebnissen, die wir oben skizziert haben. Ein Absinken von Kontinenten zum Tiefseeboden erscheint unmöglich. Zwar läßt sich ein Untertauchen von Landgebiet bis zur Schelftiefe durchaus physikalisch erklären. Es kommen dafür sogar mehrere Ursachen in Betracht, deren jede für sich allein ausreichen dürfte. Einmal kann durch Zugkräfte eine Zerrung der ja plastisch zu denkenden Kontinentalscholle eintreten, welche mit Höhenschrumpfung verbunden sein muß; und zweitens besteht durchaus die Möglichkeit, daß es bei größeren Polverlagerungen in dem Quadranten, von dem sich der Pol fortbewegt, infolge des Nachhinkens der Erde bei der Einstellung auf das neue Rotationsellipsoid zu großen Überflutungen kommt, worauf *Simroth*<sup>22</sup> u. a. hingewiesen haben. (Und umgekehrt in dem Quadranten, auf den sich der Pol zubewegt, zu großen Trockenlegungen). Dieses „Absinken“ bis zu Schelftiefen hat zweifellos z. B. an der schon oben erwähnten Beringstraße, in der Nordsee und dem Kanal, im Ägäischen Meere, in der Bassstraße zwischen Tasmanien und Australien, und an vielen anderen Stellen stattgefunden und ist geophysikalisch auch durchaus einwandfrei. Für diese Fälle gilt zweifellos das allgemeine Gesetz, daß die so erzeugten Abweichungen vom mittleren Kontinentalniveau um so seltener auftreten, je größer sie sind<sup>23</sup>. Etwas ganz anderes wäre aber ein Absinken bis zur Tiefseestufe, welche 5000 m unterhalb der Kontinentalstufe, von dieser durch ein Häufigkeitsminimum getrennt, liegt. Die Größe dieser Senkung sowohl wie die Gleichartigkeit der erreichten Tiefe dürften für diejenigen, welche auch hier am Versinken der Landbrücken festhalten wollen, sehr schwer zu erklären sein.

Aus diesen Widersprüchen gibt es nur einen Ausweg: wenn wir annehmen, daß die Kontinentalschollen nicht nur in vertikaler Richtung zu isostatischen Ausgleichsbewegungen befähigt sind, sondern auch zu Bewegungen in horizontaler Richtung. Tun wir diesen nur durch seine Neuheit seltsam erscheinenden, in Wahrheit aber geophysikalisch wie geologisch durchaus vorbereiteten Schritt, so haben wir die Möglichkeit, breite Landverbindungen auch da zu rekonstruieren, wo heute die Tiefsee liegt, und zwar ohne in Konflikt mit der Isostasie zu kommen, und ohne daß uns die

---

<sup>21</sup> *Bailey Willis*, Principles of palaeogeography. Sc. **31**, N. S., Nr. 790, S. 241-260, 1910. Dies ist wohl die schroffste Fassung. Andere Autoren, wie z. B. *Sörgel* (Die atlantische „Spalte“, kritische Bemerkungen zu A. Wegeners Theorie von der Kontinentalverschiebung, Monatsber. der D. Geol. Ges. **68**, 200-239, 1916), versuchen einen Mittelweg zu finden, indem sie die Brückenkontinente möglichst zu schmalen Brücken am Rande der Ozeanbecken zusammenschrumpfen lassen. Aber sie erschweren dadurch unnötig die Erklärung der Verwandtschaften und geben dabei den Vorzug der schrofferen Fassung der Permanenzlehre auf, den geophysikalischen Ergebnissen gerecht zu werden.

<sup>22</sup> *Simroth*, Die Pendulationstheorie, S. 8. Leipzig 1907.

<sup>23</sup> Vielleicht existiert ein kleines sekundäres Häufigkeitsmaximum beim Meeresniveau wegen der Abrasion durch die Brandung.

Wassermenge der Erde Schwierigkeiten macht. Wir nehmen also an, daß die nordamerikanische Kontinentalscholle früher dicht neben der europäischen gelegen, ja mit ihr eine einzige Scholle gebildet hat, daß diese große Scholle sich spaltete und die beiden Teile sich im Laufe der Zeiten weiter und weiter voneinander entfernten. Ebenso nehmen wir an, daß Südamerika und Afrika einst unmittelbar zusammenhingen, sich abspalteten und immer mehr voneinander entfernten. Um das alte Gondwanaland zu rekonstruieren, schieben wir auch Antarktika und Australien konzentrisch auf Südafrika zusammen und nehmen auch hier eine Aufspaltung einer einzigen großen Kontinentalscholle an. Um Lemuria zu rekonstruieren, brauchen wir dagegen nur die Falten von Hochasien zu glätten, wodurch Vorderindien schon von selbst zur Berührung mit Madagaskar und dies mit Afrika gebracht wird.

Es wird Aufgabe der folgenden Abschnitte sein, zu zeigen, daß diese Verschiebungstheorie eine große Reihe überraschender Vereinfachungen liefert, und daß sie geeignet ist, die Gesamtheit unserer heutigen Kenntnisse zu einem Bilde zusammenzufassen. Eine so kleine Schrift wie die vorliegende kann dazu natürlich nur eine Skizze liefern, die Ausführung erfordert liebevolle Einzelarbeit auf einer langen Linie.

Einige geschichtliche Bemerkungen seien vorausgeschickt. Die Vorstellung einer Verschiebung der Erdrinde in horizontaler Richtung über die magmatische Unterlage fort ist schon vielfach erörtert worden, namentlich von *Evans* und *Kreichgauer*, nach welchen sich die ganze Rinde als einheitliche Kugelschale verschieben sollte<sup>24</sup>. Von direkten Anklängen an die im folgenden vertretenen Anschauungen sind mir nur folgende Schriften zu Gesicht gekommen:

*H. Wettstein*<sup>25</sup> stellt sich die Erdrinde als fließend vor. Die Kontinente, deren Schelfe er allerdings nicht mit berücksichtigt, sind horizontal verschiebbar und erleiden bei den Verschiebungen starke Deformationen. Alle Kontinente wandern nach Westen, gezogen durch die Flutkräfte der Sonne im festen Erdkörper<sup>26</sup>. Die Ozeane hält er jedoch für versunkene Kontinente, und über die „geographischen Homologien“ und andere Probleme des Erdantlitzes äußert er phantastische Vorstellungen, die wir hier übergehen.

Im Jahre 1907 hat *Pickering*<sup>27</sup> die wegen der Parallelität der Küsten ja naheliegende Vermutung ausgesprochen, Amerika sei von Europa-Afrika abgerissen und um die Breite des Atlantik fortgezogen worden. Aber er denkt sich diesen Vorgang leider verbunden mit der von *G. H. Darwin* angenommenen einstmaligen Abschleuderung der Mondmasse von der Erde<sup>28</sup>, deren Spur man noch im pazifischen Becken sehe, und verlegt damit die Entstehung des Atlantik in eine graue Vorzeit.

Am nächsten kommt eine Arbeit von *Taylor*<sup>29</sup> der Verschiebungstheorie. Er nimmt speziell im Tertiär bedeutende horizontale Verschiebungen der Kontinente an und bringt sie teilweise mit den großen tertiären Faltungssystemen in Zusammenhang. Für die Lostrennung Grönlands von Nordamerika kommt er zur gleichen Vorstellung wie die Verschiebungstheorie. Beim Atlantik nimmt er jedoch an, daß nur ein Teil seiner Breite durch Fortziehen der amerikanischen Schollen entstanden

<sup>24</sup> *D. Kreichgauer*, Die Äquatorfrage in der Geologie, 394 S. Steyl 1902.

<sup>25</sup> *H. Wettstein*, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie, 406 S. Zürich 1880.

<sup>26</sup> Ein Westwärtswandern der Kontinente infolge von Sonnenanziehung hat in neuerer Zeit auch *E. H. L. Schwarz* angenommen (*G. J.* 1912, S. 294-299).

<sup>27</sup> *The Journ. of Geol.* **15**, Nr. 1, 1907; auch *Gaea* **43**, 385, 1907.

<sup>28</sup> Die Geologen sollten im Gebrauch dieser von *Schwarzschild*, *Liapunow*, *Rudzki*, *See* u. a. für unrichtig gehaltenen Idee vorsichtiger sein. *See* sagt sehr treffend (*Astr. Nachr.* **181**, 370, 1909): „In der herkömmlichen Betrachtungsweise, nach welcher die Monde sich von den Planeten, die jetzt ihre Bewegung regieren, abgelöst haben, wie es von *Laplace* und seinen Nachfolgern mehr als ein Jahrhundert lang angenommen wurde, gab es keinen anderen Weg als den, welchen die Meisterhand von *George Darwin* vorgezeichnet hat. Wenn aber heute unsere Anschauungen andere geworden sind und wir klar erkennen, daß alle anderen Satelliten eingefangen sind, entsteht natürlich die Frage, ob wirklich ausreichende Gründe für die Annahme beigebracht werden können, daß der Mond eine Ausnahme in der Kosmogonie des Sonnensystems bilden solle. Nach sehr sorgfältiger Erwägung aller in Frage kommenden Verhältnisse glaube ich, wir müssen diese Vorstellung aufgeben und den Mond in dieselbe Klasse mit den anderen Satelliten setzen.“

<sup>29</sup> *F. B. Taylor*, Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan. *B. Geol. S. Am.* **21** (2), 179-226, Juni 1910.

sei, während der Rest abgesunken sei und die mittelatlantische Bodenschwelle darstelle. Er sieht in der „Polflucht“ des Landes das gestaltende Prinzip für die Anordnung der großen Gebirgsketten auf der Erde und begegnet sich dabei mit *Kreichgauer*. Die Verschiebung von Kontinenten spielt bei ihm eine untergeordnete Rolle und wird nur sehr kurz begründet.

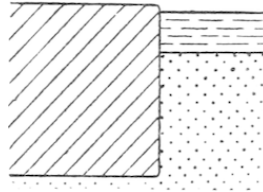
Als Geophysiker lernte ich diese Arbeiten naturgemäß erst kennen, als ich mich bei der Ausarbeitung der Verschiebungstheorie in der geologischen Literatur umsah. Die erste Idee der Kontinentalverschiebungen kam mir einst bei Betrachtung der Weltkarte unter dem unmittelbaren Eindruck von der Parallelität der atlantischen Küsten. Erst nach Jahr und Tag, als ich zufällig mit den paläontologischen Ergebnissen über frühere Landverbindungen im Süd- und Nordatlantik bekannt wurde, entschloß ich mich, die in Betracht kommenden Wissenschaften systematisch auf die Wahrscheinlichkeit solcher großen Verschiebungen zu durchmustern. 1912 erfolgten die ersten beiden Veröffentlichungen der Verschiebungstheorie<sup>30</sup>, denen 1915 die ausführlichere Darstellung in der ersten Auflage dieser Arbeit folgte.

---

<sup>30</sup> Am 6. Jan. 1912 hielt ich einen Vortrag „Die Herausbildung der Großformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage“ in der Geologischen Vereinigung in Frankfurt a. M., am 10. Jan. 1912 einen solchen über „Horizontalverschiebungen der Kontinente“ in der Ges. z. Beförderung d. gesamten Naturw. zu Marburg. Der Inhalt erschien unter dem Titel: Die Entstehung der Kontinente, Geol. Rundsch. **3**, H. 4, S. 276-292, 1912, und etwas ausführlicher unter gleichem Titel in Peterm. Mitt. 1912, S. 185-195, 253-256, 305-309.

## Zweites Kapitel. Die Natur der Tiefseeböden

Fig. 2.



Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

Die Theorie von der Verschiebung der Kontinente findet ihre tiefere physikalische Begründung erst durch eine neue Auffassung über die Natur der Tiefseeböden, die wir in dem Satz formulieren können: *Die Tiefseeböden sind nicht Teile der Lithosphäre, sondern bestehen bereits aus dem schwereren Material der Barysphäre.* Die oberste Erdoberfläche, die Lithosphäre, soll also nicht mehr die ganze Erde umspannen, sondern in Gestalt der Kontinentalschollen nur noch etwa ein Drittel der Erdoberfläche bedecken, während auf den übrigen zwei Dritteln der Erdoberfläche bereits die Barysphäre entblößt ist. Fig. 2 zeigt schematisch einen Vertikalschnitt durch einen Kontinentalrand nach der neuen Anschauung.

Der entscheidende Grund für die Richtigkeit dieser neuen Annahme ist die Existenz eines doppelten Häufigkeitsmaximums in den Höhenstufen der Erdkruste. Aus der Statistik dieser Höhenstufen geht mit außerordentlicher Deutlichkeit hervor, daß die ganze Erdoberfläche in zwei um rund 5000 m verschiedenen Niveauflächen angeordnet ist, die abwechselnd nebeneinander vorkommen und uns als Oberflächen der Kontinente und Tiefseeböden entgegentreten. Die bekannte „hypsometrische Kurve der Erdoberfläche“ (Fig. 3) gibt ein anschauliches Bild davon. Zahlenmäßig stellt sich die Häufigkeit folgendermaßen<sup>31</sup>:

Tiefe									Höhe				
unter 7	6–7	5–6	4–5	3–4	2–3	1–2	0–1		0–1	1–2	2–3	3–4	über 4 km
0,2	0,7	2,1	<b>36,0</b>	13,0	6,5	4,0	9,2		<b>22,3</b>	4,0	1,0	0,5	0,5 Proz.

Das mittlere Krustenniveau, das bei 2,3 km Tiefe liegt, kommt also nur selten vor, und es bestehen zwei Häufigkeitsmaxima für die Höhen 0–1 km und die Tiefen 4–5 km; auf diese beiden Abschnitte entfallen allein fast 60 Proz. der gesamten Erdoberfläche. Wir können die Lage der Maxima noch genauer ermitteln, wenn wir innerhalb ihrer Stufen noch Unterstufen bilden. Es ergibt sich dabei:

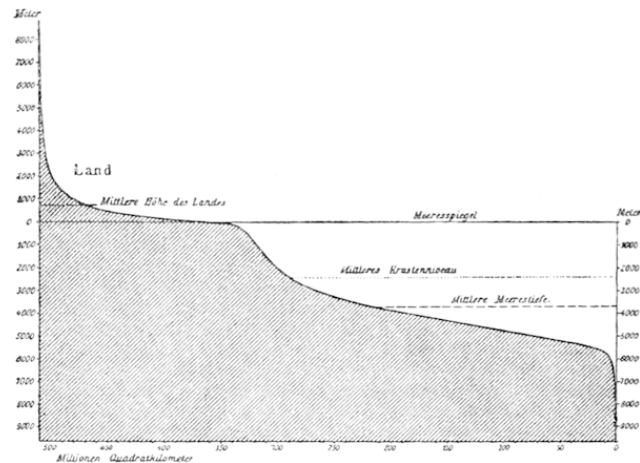
4,8–5	4,6–4,8	4,4–4,6	4,2–4,4	4,0–4,2	km	Tiefe
9,4	<b>12,1</b>	6,0	4,7	3,8		Proz.

und

–0,2–0	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0	km	Höhe
6,0	<b>10,0</b>	5,2	3,2	2,1	1,8		Proz.

<sup>31</sup> Nach W. Trabert, Lehrb. d. kosm. Physik, S. 277. Leipzig und Berlin 1911.

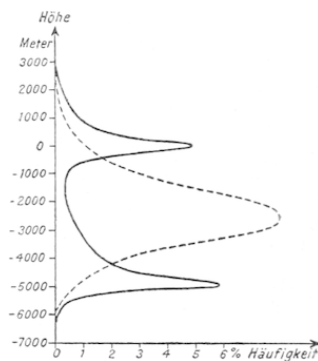
Fig. 3.



Hypsometrische Kurve der Erdoberfläche, nach Krümmel.

Die beiden Maxima liegen also bei einer Tiefe von etwa 4700 m und einer Erhebung von etwa 100 m. Bei der großen Wichtigkeit, welche der Gegenstand besitzt, seien diese Verhältnisse nochmals in anderer Weise in Fig. 4 veranschaulicht. Die als Abszissen dienenden Prozentzahlen beziehen sich auf Höhenstufen von 100 m Dicke. Bei diesen Zahlen ist noch zu beachten, daß mit der Zunahme der Lotungen der Steilabfall vom Kontinental- oder Schelfrand zur Tiefsee sich immer schroffer zeigt, wie jeder Vergleich älterer Tiefenkarten mit den neuen von Groll<sup>32</sup> entworfenen zeigt. Es ist daher zu erwarten, daß die beiden Häufigkeitsmaxima sich in Zukunft als noch steiler herausstellen werden, als sie es nach den bisher vorliegenden Beobachtungen tun.

Fig. 4.



Die beiden Häufigkeitsmaxima der Höhen.

Auf dem ganzen Gebiet der Geophysik gibt es wohl kaum eine zweite Erscheinung, die ein so klares Gesetz erkennen läßt wie diese Höhenstatistik der Erdrinde. Es ist deshalb sehr merkwürdig, daß bis zu meinen ersten Veröffentlichungen darüber anscheinend noch von keiner Seite her ein Versuch zu einer Erklärung dieses Gesetzes gemacht worden ist, obwohl es doch schon so lange bekannt ist. Nur Sörgel<sup>33</sup> hat in seiner Polemik gegen die hier vertretenen Kontinentalverschiebungen den Versuch gemacht, dieses doppelte Niveau auf andere Weise zu erklären, in der richtigen Erkenntnis, daß die von mir gegebene einfache Erklärung eine starke Stütze

<sup>32</sup> Groll, Tiefenkarten der Ozeane, Veröffentl. d. Inst. f. Meereskunde, N. F. A, H. 2, Juli 1912. Berlin, Mittler & Sohn.

<sup>33</sup> W. Sörgel, Die atlantische „Spalte“, kritische Bemerkungen zu A. Wegeners Theorie von der Kontinentalverschiebung. Monatsschr. d. D. Geol. Ges. 68, 200-239, 1916.



für die Verschiebungstheorie darstellt. Aber seine Darstellung ruht auf einer irrigen Überlegung. Durch Hebungen und Senkungen, also Störungen des vorgegebenen Gleichgewichtsniveaus, können nur dann zwei verschiedene Häufigkeitsmaxima der Höhen entstehen, wenn physikalische Ursachen für die Bevorzugung dieser beiden bestimmten Höhen vorhanden sind. Ist dies, wie bei uns, nicht der Fall, so regelt sich die Häufigkeit der Höhen nach dem *Gaußschen* Fehlergesetz, d. h. wir erhalten nur *ein* Häufigkeitsmaximum etwa in der Gegend des mittleren Krustenniveaus (-2300 m), und die Störungen werden um so seltener, je größer sie sind (vgl. die gestrichelte Linie in [Fig. 4](#)).

Die statt dessen vorhandene Duplizität des Häufigkeitsmaximums verlangt also auch eine Duplizität des ungestörten Ausgangsniveaus. Handelt es sich aber wirklich um zwei verschiedene Niveauflächen, die nebeneinander vorkommen, so bedeutet dies, daß wir es mit zwei verschiedenen Schichten des Erdkörpers zu tun haben: Die Kontinente gehören der Lithosphäre, die Tiefseeböden der Barysphäre der Erde an. Dieser Schluß erscheint uns durchaus unvermeidlich<sup>34</sup>.

Daß die Schweremessungen über den Ozeanen durch diese Annahme des gänzlichen Fehlens der Lithosphäre ebenso gut dargestellt werden wie durch die frühere Annahme, daß dieselbe hier nur wesentlich dünner sei, liegt auf der Hand. Denn sie besagen ja nur, daß das Gestein unter den Ozeanen schwerer ist als das unter den Kontinenten.

Noch aus einem anderen Grunde erscheint diese neue Auffassung der Tiefseeböden unabweisbar. Es war schon oben darauf hingewiesen worden, daß es nach den neueren Ergebnissen der tektonischen Forschungen, insbesondere über den Deckfaltenbau der Gebirge, nach dem Urteil aller Spezialforscher unmöglich ist, diese gewaltigen Zusammenschübe auf Rechnung einer Kontraktion des Erdkörpers zu setzen. Wir verzichten hier auf eine Wiedergabe der Beweisführung, weil dies anscheinend ein heute allgemein anerkannter Satz ist. Wenn dies aber richtig ist, wenn also die Erde nicht in dem Maße kleiner geworden ist, wie ihre Rinde sich zusammenschob, so ist es ein logisch unvermeidbarer, nur bisher noch nicht gezogener Schluß, daß dann den großen Zusammenschüben andere Stellen gegenüberstehen müssen, wo die Rinde aufriß und die Erdoberfläche nicht mehr vollständig bedeckt. Auch dieser Schluß ist so einfach und selbstverständlich, daß ich nicht sehe, wie man ihn umgehen könnte.

Nach *E. Kayser*<sup>35</sup> sind die ältesten archaischen Gesteine überall auf der Erde stark gestört und gefaltet und finden sich ungefaltete Ablagerungen erst hier und da im Algonkium. Viele Gebiete erfuhren auch mehrmalige Faltungen, z. B. wurde das Alpengebiet bereits einmal im Karbon gefaltet. Ziehen wir in Betracht, daß nach unseren bisherigen Erfahrungen ein Zusammenschub auf die Hälfte des ursprünglichen Areals einen nicht unwahrscheinlichen Wert für eine einmalige Faltung darstellt, so erscheint es durchaus erklärlich, daß die Lithosphäre heute nur noch ein Drittel der Erdoberfläche bedeckt<sup>36</sup>.

Die Frage nach der Natur der Tiefseeböden wäre sehr leicht zu lösen, wenn man Proben des anstehenden Gesteines von dort erhalten könnte. Leider ist das bisher nicht möglich. Allein man hat mit Dredschzügen große Mengen von Gesteinsbrocken und kleinen und kleinsten Splittern heraufgebracht, und man hat namentlich den roten Tiefseeton einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Nach *Krümmel*<sup>37</sup> hat sich *Wyville Thomson*, der Leiter der Challenger-Expedition, nachdem er anfänglich anderer Meinung gewesen war, später der schon 1877 von *John Murray* vertretenen Ansicht angeschlossen, daß der rote Ton von der Zersetzung vulkanischen Materials

<sup>34</sup> Dies verhindert natürlich nicht, daß die barysphärische Oberfläche der Tiefseeböden bisweilen mit lithosphärischem Abfall von den Kontinentalschollen bedeckt sein kann. Vergleichen wir die etwa 100 km mächtigen Kontinentalschollen mit tafelförmigen Eisbergen (die etwa 200 m tief in das Wasser eintauchen), so würde dieser Abfall den kleineren Kalbeisbrocken und Meereisschollen entsprechen, welche die Wasseroberfläche zwischen ihnen bedecken können.

<sup>35</sup> *E. Kayser*, Lehrb. d. allgem. Geol., 5. Aufl., S. 904. Stuttgart 1918.

<sup>36</sup> Die 510 Mill. Quadratkilometer der Erdoberfläche gliedern sich nach *Krümmel* in 149 Mill. Quadratkilometer Land, 30 Mill. Schelf und 331 Mill. Tiefsee. Die Kontinentalschollen machen also heute 35 Proz. der ganzen Erdoberfläche aus.

<sup>37</sup> *Krümmel*, Handb. d. Ozeanographie 1, 193 u. 197. Stuttgart 1907.

herrühre. Beseitigt man die 6,7 Proz. Kalk, so bleiben Mineralien von sehr verschiedenem Ursprung. „Die Hauptmasse freilich ist, wie schon das Dredschmaterial erweist, vulkanisch, namentlich überwiegen Bimssteine aller Arten und Dimensionen..., sodann begegnen die Trümmer von Sanidin, Plagioklas, Hornblende, Magnetit, vulkanischem Glas und dessen Zersetzungsprodukt Palagonit, auch Lavabrocken von Basalten, Augitandesiten usw.“ *John Murray* meint, daß die vulkanischen Aschen am meisten vertreten seien; „nach seines Arbeitsgenossen *Renard* Ansicht aber sind es noch mehr die submarinen Eruptionen“. *John Murrays* Ansicht ist wohl wenig wahrscheinlich. Denn wenn wirklich die ungeheuren Flächen der Tiefsee in solcher Weise mit Vulkanaschen überlagert wären, dann müßten diese Aschenregen doch wohl größere Spuren auch auf dem Lande hinterlassen haben. Aber auch *Renards* Ansicht kann in dieser Form kaum das Richtige treffen. Denn wenn es bloße Ausbrüche sind, wie sie auch auf dem Festlande sich vollziehen, warum bedecken diese Produkte auf dem Tiefseeboden so ungeheure Flächen? Viel einfacher und natürlicher ist unsere Annahme, daß der Tiefseeboden grundsätzlich aus diesem Material besteht. Vielleicht sehen wir auf Island, wie vorgreifend erwähnt sei, ein Stück solchen Tiefseebodens, der durch darunter geflossenes oder geschobenes lithosphärisches Material [Sial]<sup>38</sup> gehoben ist. Vielleicht ist eine ähnliche Entstehung auch für das merkwürdige „Senkungsdreieck“ im Winkel zwischen Abessinien und der Somalihalbinsel (zwischen Ankober, Berbera und Massaua) anzunehmen. Das ganze Land besteht auch hier aus jungen vulkanischen Laven und sieht nach *Traversi* aus wie eine durch eine riesige Feuersbrunst zerstörte Gegend, hat also große Ähnlichkeit mit den isländischen Lavawüsten. Man darf hier vielleicht annehmen, daß das untergeschobene Sial von der Unterseite des abessinischen Gebirgslandes stammt, welch letzteres vielleicht eine Stauchung darstellt, die bei einer Drehung (Schleppung) der Somalihalbinsel nach Norden im Zusammenhang mit dem großen lemurischen Zusammenschub entstand. Auch die Abrolhos-Bank an der brasilianischen Küste dürfte in ähnlicher Weise auf ein Herausquellen flüssiger Sialmassen von der Unterseite der südamerikanischen Scholle zurückzuführen sein und würde vielleicht, wenn sie sich über den Meeresspiegel erhöbe, eine ähnliche Basalthaube zeigen. Vielleicht ist auch der Schelf der Seychellen in gleicher Weise am Rande von Madagaskar entstanden und sodann von diesem abgetrieben.

Einen weiteren Beweis für die Richtigkeit unserer Anschauung liefert, worauf mich *A. Nippoldt* aufmerksam machte, der Erdmagnetismus.

In der Theorie des Erdmagnetismus wird allgemein angenommen, daß die Abweichung der magnetischen Pole von den Rotationspolen der Erde durch die unregelmäßige Verteilung der Kontinentaltafeln und Tiefseeböden erzeugt wird. *Henry Wilde* (Roy. Soc. Proc. June 19, 1890 und January 22, 1891) hat ein viel diskutiertes magnetisches Modell der Erde gebaut, bei welchem er die größte Annäherung an die wirkliche Verteilung des Erdmagnetismus dadurch erzielte, daß er die Ozeanflächen mit Eisenblech belegte. *A. W. Rücker*<sup>39</sup> beschreibt diesen Versuch mit den Worten: „Herr *Wilde* hat ein gutes magnetisches Modell der Erde mit einer Versuchsanordnung vorgeführt, die aus der Wirkung eines primären Feldes einer gleichförmig magnetisierten Kugel und eines sekundären Feldes von Eisenmassen bestand, welche nahe der Oberfläche lagen und durch Induktion magnetisiert wurden. Die Hauptmasse des Eisens ist unter den Ozeanen angebracht... Herr *Wilde* legt das Hauptgewicht auf die Bedeckung der Ozeane mit Eisen.“ Auch *Raclor*<sup>40</sup> hat neuerdings bestätigt, daß dieser Versuch von *Wilde* in rohen Zügen das Verteilungsbild des Erdmagnetismus gut darstellt, so daß geschlossen werden muß, daß unter den Ozeanen eisenhaltigeres Gestein liegt als unter den Kontinenten. Da bekanntlich allgemein angenommen wird, daß bereits in dem Silikatmantel der Erde der Eisengehalt mit der Tiefe wächst und das Erdinnere weiterhin überhaupt

<sup>38</sup> Über Sial = Lithosphäre und Sima = Barysphäre vgl. Kap. 3.

<sup>39</sup> *A. W. Rücker*, The secondary magnetic field of the earth. *Terrestrial Magnetism and atmospheric. Electricity* **4**, 113-129, March-December 1899.

<sup>40</sup> *C. R.* **164**, 150, 1917.

vorwiegend aus Eisen besteht, so besagt dies, daß die Tiefseeböden eine tiefere Schicht der Erde darstellen und aus den eisenhaltigen Gesteinen der im nächsten Kapitel zu besprechenden Simagruppe (Hauptvertreter: Basalt) bestehen. Der Erdmagnetismus begegnet sich also in diesem Resultat mit den Schweremessungen, welche ein schwereres Gestein verlangen (was gleichfalls für Basalt erfüllt ist). Aber sein Ergebnis ist viel eindeutiger; denn bekanntlich erlischt der Magnetismus bei der Temperatur der Rotglut, welche unter Zugrundelegung der gewöhnlichen geothermischen Tiefenstufe<sup>41</sup> bereits in etwa 15 bis 20 km Tiefe erreicht wird. Der starke Magnetismus der Tiefseeböden muß also gerade schon in den obersten Gesteinschichten vorhanden sein, ein deutliches Anzeichen dafür, daß hier in der Tat die schwächer magnetische Lithosphäre ganz fehlt.

Ein weiteres, wenn auch weniger deutliches Anzeichen für die Richtigkeit unserer Auffassung bildet die Schlichtheit des Tiefseebodens. Schon vor langer Zeit ist man darauf aufmerksam geworden, daß der Tiefseeboden über weite Strecken oft erstaunlich geringe Höhenunterschiede zeigt, ein Umstand, der nicht ohne praktische Bedeutung für die Kabellegung ist. Z. B. sind unter den 100 Lotungen, welche für das Kabel zwischen den Midway-Inseln und Guam auf einer Strecke von 1540 km ausgeführt wurden, die Extremwerte (5510 und 6277 m) nur um 767 m verschieden. Auf einer 10 Seemeilen langen Teilstrecke, bei der das Mittel aus 14 Lotungen 5938 m ergab, waren die größten Abweichungen +36 und -38 m<sup>42</sup>. Allerdings ist der Satz von der Schlichtheit des Tiefseebodens in neuerer Zeit etwas eingeschränkt worden, da sich herausstellte, daß das Lotungsnetz meist noch zu weitmaschig ist, um solche Schlüsse zu gestatten, und daß man auch auf dem Lande bei ähnlich zerstreuten einzelnen Höhenmessungen einen irrtümlichen Eindruck großer Schlichtheit gewinnen kann. Mit *Krümmel* sind aber wohl die meisten Forscher von der zeitweilig übertriebenen Skepsis zu der Auffassung zurückgekehrt, daß – abgesehen von den Tiefseerinnen – dennoch ein solcher grundsätzlicher Unterschied zwischen Land und Tiefsee besteht, während doch wegen des Gewichtsverlustes unter Wasser die Böschungen dort viel steiler sein könnten als in der Luft. In dieser größeren Schlichtheit tut sich eine größere Plastizität, ein höherer Grad von Flüssigkeit der Tiefseeböden kund.

Eine Äußerung der Schlichtheit ist auch das Fehlen von Faltengebirgen auf dem Meeresboden. Während die Kontinentalschollen von alten und jungen Faltungen kreuz und quer gerunzelt sind, kennen wir von den ungeheuren Flächen der Tiefsee trotz aller Lotungen bisher kein einziges Gebilde, welches wir mit einiger Wahrscheinlichkeit als ein Kettengebirge ansprechen könnten. Einige wollen zwar die Mittelatlantische Bodenschwelle und den Rücken zwischen den beiden vor Java liegenden Rinnen als entstehende Faltengebirge auffassen, allein diese Ansicht zählt nur so wenig Anhänger, daß wir uns hier mit einem Hinweis auf *Andrées* Kritik begnügen können<sup>43</sup>. Wie erklärt sich dieses Fehlen, da doch Zusammenschübe auch beim Tiefseeboden anzunehmen sind? Die Antwort ergibt sich von selbst, wenn wir die Isostasie bei der Gebirgsbildung berücksichtigen. Gebirgsbildung ist Faltung unter Wahrung der Isostasie. Da der weitaus größte Teil der 100 km dicken Kontinentalschollen in das barysphärische Magma eintaucht, muß auch der größte Teil der Schollenverdickung bei Faltung nach unten gerichtet sein. Nur ein sehr kleiner Teil des Zusammenschubes wird als Erhebung sichtbar, denn nach der Forderung der Isostasie muß das Verhältnis zwischen oberhalb und unterhalb des Barysphärenniveaus immer das gleiche bleiben. Geht aber bei den Kontinentalschollen bereits der größte Teil des Zusammenschubes nach unten, so kann ein Zusammenschub in der Barysphäre überhaupt nicht mehr zu einer Erhebung führen. Das Material weicht hier nur nach unten oder der Seite aus, ebenso wie das Wasser zwischen zwei sich nähernden Eisbergen. Deshalb wird durch das

<sup>41</sup> Nach *J. Friedlaender*, Beitr. z. Geophys. **11**, Kl. Mitt. 85-94, 1912, ist jedoch die Wärmeleitfähigkeit der vulkanischen Tiefengesteine kleiner, so daß für Laven die geothermische Tiefenstufe sogar nur 17 m beträgt. Damit würde die Dicke der magnetischen Schicht sogar nur 8 bis 9 km betragen.

<sup>42</sup> *Krümmel*, Handb. d. Ozeanographie **1**, 91. Stuttgart 1907.

<sup>43</sup> *K. André*, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung, S. 86 ff. Berlin 1914.

Fehlen von Faltengebirgen auf dem Tiefseeboden die Vorstellung bestätigt, daß hier die magmatische Barysphäre entblößt ist.

Es ist zu erwarten, daß sich auch auf dem Gebiet der Erdbebenkunde noch eine weitere unabhängige Kontrolle für unsere Vorstellungen ergibt, denn die Erdbebenwellen müssen offenbar, wenn das Gesteinsmaterial grundsätzlich verschieden ist, auch verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten über den Ozeanen und den Kontinenten haben. Eine befriedigende Untersuchung über diese Frage steht noch aus, aber es lassen sich doch schon Anzeichen für das tatsächliche Bestehen eines solchen Unterschiedes erkennen. So erhielt *F. Omori*<sup>44</sup> für den sogenannten ersten Vorläufer beim

Guatemala-Beben (19. April 1902)	$v = 16,02$	km/Sek.
San Franzisko-Beben (18. April 1906)	$v = 13,97$	"
Indischen (Kangra-) Beben (4. April 1905)	$v = 11,36$	"

Die Bebenstrahlen verliefen im ersten Fall vorzugsweise über Tiefseeflächen, im zweiten Fall teils über Kontinente, teils über Tiefsee, im dritten vorzugsweise über Kontinente. Leider wird die Beweiskraft dieses Ergebnisses dadurch beeinträchtigt, daß die Mehrzahl der Geophysiker *Omoris* Ansicht, nach welcher sich diese ersten Vorläufer längs der Erdoberfläche fortpflanzen, nicht teilt, sondern annimmt, daß sie auf dem kürzesten Wege durch das Erdinnere fortschreiten, so daß die Lithosphäre jedenfalls nur auf Teilstrecken zur Geltung kommen kann. Die „Hauptwellen“, welche anerkanntermaßen Oberflächenwellen darstellen, haben aber im Seismogramm immer einen so unscharfen Einsatz, daß es sehr schwierig ist, die genauen Geschwindigkeiten aus den Zeitunterschieden ihres Eintreffens bei den verschiedenen Stationen zu bestimmen. Auch hängt ihre Geschwindigkeit, wie die Theorie lehrt, in solcher Weise von den verschiedenen Elastizitätskoeffizienten des Materials ab, daß die Einwirkung der größeren Dichte der Tiefseeböden durch diejenige ihrer größeren Plastizität teilweise wieder aufgehoben wird. Immerhin ist zu berücksichtigen, daß man dieser Frage bisher in der Seismologie noch keine genügende Beachtung geschenkt hat, und ich halte es durchaus für möglich, daß sich auch aus den bisher vorliegenden Registrierungen bereits ein solcher Geschwindigkeitsunterschied der Oberflächenwellen über Kontinenten und Tiefseeböden ergeben könnte. Desgleichen würde es sich verlohnen, die so auffällig verschiedenartigen Absorptionswerte, die sich in der Abnahme der Wellenamplitude äußern, nach diesen Gesichtspunkten zu untersuchen. —

Die in diesem Kapitel angeführten Beweise für die barysphärische Natur der Tiefseeböden reden eine sehr eindeutige und eindringliche Sprache. Daher hat denn auch dieser Teil unserer Vorstellungen bisher am wenigsten Widerspruch erfahren, und eine Reihe namhafter Gelehrter hat sich bereits mit ihm einverstanden erklärt.

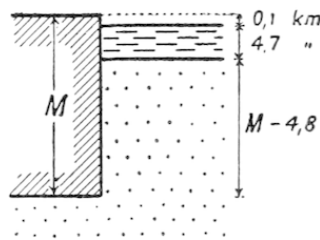
<sup>44</sup> *F. Omori*, On the dependence of the transit velocity of seismic waves on the nature of path. Bull. of the Imp. Earthquake Invest. Committee 3, 61-67. Tokyo 1909.

## **Drittes Kapitel. Geophysikalische Erläuterungen**

Die Ausführungen dieses Kapitels gehören nur zum kleinen Teile zur eigentlichen Beweisführung der Verschiebungstheorie. Zum größeren Teile setzen sie diese als gegeben voraus und stellen den Versuch dar, die von dieser Theorie angenommene Plastizität oder Zähflüssigkeit der Erdrinde durch Anwendung auf bekannte morphologische Erscheinungen der Erdoberfläche zu veranschaulichen. Ich habe selber bei den später zu besprechenden Rekonstruktionen anfangs bisweilen große Schwierigkeiten gehabt, ein anschauliches Bild von den großen plastischen Deformationen zu gewinnen, denen die Kontinentalschollen offenbar ausgesetzt gewesen sind, und für manche Stellen der Erdoberfläche bin ich auch heute noch keineswegs hierin zur Klarheit gelangt. Auch die Kritik, welche meine früheren Veröffentlichungen erfahren haben, zeigt aufs deutlichste, wie schwer es ist, sich diese Dinge richtig vorzustellen, die unseren gewöhnlichen Erfahrungen so fern liegen. Die folgenden Erläuterungen mögen also namentlich das Mißverständnis beseitigen, als seien die Kontinentalschollen starre Klötze, die sich nur dort deformiert hätten, wo diese Deformation durch Faltungen nachweislich geworden ist.

## Allgemeines

Fig. 5.



Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

Im dritten Bande seines großen Werkes: „Das Antlitz der Erde“ (S. 626) zeigt *E. Suess*, daß die nicht sedimentären Gesteine in zwei Gruppen zerfallen, nämlich in die sauren, d. h. an Kieselsäure reichen gneisartigen Urgesteine, und die basischen vulkanischen Tiefengesteine. Letztere nennt er „Sima“ nach den Anfangsbuchstaben der Hauptkomponenten Silicium und Magnesium, erstere „Sal“ nach Silicium und Aluminium. Einer Anregung *Pfeffers* folgend, möchte ich statt dessen, um die Identität mit dem lateinischen Wort für Salz zu vermeiden, „Sial“ schreiben. Es ist wahrscheinlich, daß wir berechtigt sind, diese beiden Bezeichnungen auch für das Gesteinsmaterial der Tiefseeböden und der Kontinentalschollen anzuwenden. Was letztere betrifft, so muß man sich zunächst klar werden über die Rolle, welche die Sedimente in ihrem Aufbau spielen. Als größte Mächtigkeit der Sedimente kann man etwa 10 km betrachten, ein Wert, den die amerikanischen Geologen für die paläozoischen Sedimente der Appalachen berechnet haben; die andere Grenze ist Null, da an vielen Orten das Urgebirge jeder Sedimentdecke bar ist. *Clarke* schätzt die mittlere Mächtigkeit auf den Kontinentalschollen zu 2400 m. Da die Gesamtdicke der Kontinentalschollen aber, wie gleich zu zeigen ist, auf etwa 100 km veranschlagt werden darf, so bedeutet diese Sedimentdecke nur eine oberflächliche Verwitterungsschicht, bei deren völliger Entfernung überdies die Schollen zur Wiederherstellung der Isostasie fast bis zur früheren Höhe aufsteigen würden, so daß am Relief der Erdoberfläche wenig geändert würde. Als Material der Kontinentalschollen ist deshalb in erster Linie das Urgestein (Hauptvertreter: Gneis) zu betrachten, dessen „Ubiquität“ heute trotz gewisser Bedenken nicht abzuleugnen ist. Es ist gerade das Material, welches wir mit „Sial“ bezeichnen wollen. Als Material der Tiefseeböden aber haben wir uns, wie schon früher erwähnt, offenbar basaltartige Gesteine zu denken, die schwerer und eisenhaltiger sind. Basalt ist aber der Hauptvertreter der Simagruppe. Natürlich kann der Tiefseeboden noch besondere mineralogische Merkmale aufweisen, da ja schon atlantische und pazifische Laven solche Unterschiede zeigen. Aber wir sind jedenfalls wohl berechtigt, die beiden von *Suess* bezeichneten Klassen von Gesteinen auf die Herkunft von verschiedenen Schichten der Erde zu beziehen und diese Schichten mit der Lithosphäre und der Barysphäre zu identifizieren.

Es ist von größter Bedeutung, die spezifischen Gewichte von Gneis und Basalt zu vergleichen. Für ersteren fanden *Whitmann*, *Cross* und *Gilbert* im Mittel aus zwölf Proben 2,615. Andere Messungen geben Werte zwischen 2,5 und 2,7. Da alle Proben der Oberfläche entstammen, das spezifische Gewicht aber wohl überall mit der Tiefe wächst, darf man als Mittel für die ganze Scholle vielleicht 2,8 annehmen. Simische Gesteine, wie Basalt, Diabas, Melaphyr, Gabbro, Olivinfels, Andesit, Porphyrit, Diorit und andere, haben ein spezifisches Gewicht von etwa 3,0, nur selten bis 3,3. Da dies Material wohl meist etwa von der Unterseite der Kontinentalschollen stammt, darf man für die höher gelegenen Simaschichten unter den Ozeanen wohl ein etwas geringeres Gewicht, vielleicht 2,9,

annehmen<sup>45</sup>. Wir können diese spezifischen Gewichte mit der Eintauchtiefe der Kontinentalschollen vergleichen und auf diese Weise eine wenn auch nicht sehr scharfe Kontrolle für unsere Vorstellungen gewinnen. Da die Gewichte der kontinentalen und der ozeanischen Massensäulen, bis zur Unterseite der Kontinentalschollen hinab gemessen, gleich sein müssen, so erhalten wir für die Mächtigkeit  $M$  der letzteren, wie [Fig. 5](#) zeigt, die folgende Gleichung, in welcher  $a$ ,  $b$ ,  $c$  die spezifischen Gewichte des Sials, des Simas und des Seewassers bezeichnen:

$$M a = (M - 4,8) + 4,7 c$$

oder

$$M = \frac{4,8 b - 4,7 c}{b - a}$$

Das spezifische Gewicht des Seewassers ist  $c = 1,03$ ; setzt man  $a = 2,8$ ,  $b = 2,9$ , so ergibt sich für die Schollenmächtigkeit der, wie wir gleich sehen werden, ganz plausible Wert 91 km. Es ist klar, daß dieser Wert sich sehr stark ändert, wenn die doch sehr unsicheren Ausgangswerte nur um ein wenig geändert werden, so daß man ihn durchaus nicht für zuverlässig halten darf. Er kann nur so viel zeigen, daß sich die spezifischen Gewichte mit den übrigen Vorstellungen in Einklang bringen lassen.

Um die Dicke der Kontinentalschollen zu bestimmen, gibt es genauere Methoden. *Hayford* hat aus den Lotabweichungen an mehreren hundert Stationen in den Vereinigten Staaten die sogenannte „Tiefe der Ausgleichsfläche“ (nämlich des Druckes), welche identisch mit der unteren Fläche der Kontinentalschollen ist, berechnet und sie zu 114 km gefunden. Und fast die gleiche Zahl, nämlich 120 km, fand *Helmert* aus Schweremessungen (Pendel) an 51 Küstenstationen. Die gute Übereinstimmung beider auf so verschiedenem Wege gewonnener Zahlen gibt ihnen natürlich eine erhöhte Sicherheit, darf aber nicht dazu verleiten, den Kontinentalschollen etwa überall dieselbe Mächtigkeit zuzuschreiben. Das würde sich schon mit der Isostasie nicht vertragen. Bei Schelfen muß die Mächtigkeit viel geringer, bei Hochländern, wie Tibet, viel größer veranschlagt werden, so daß etwa 50 bis 200 km als Grenzen anzunehmen sind.

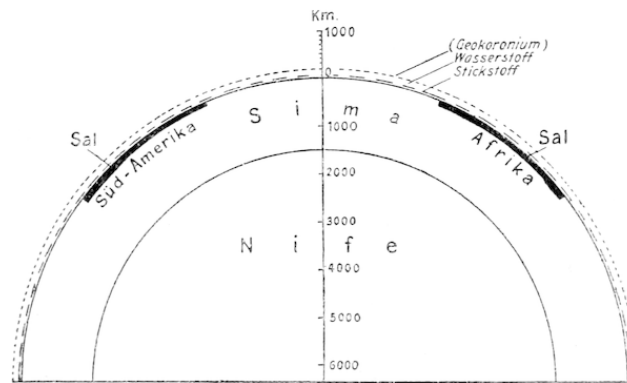
Man sollte erwarten, daß auch die Erdbebenforschung imstande sein müsse, die Dicke der Kontinentalschollen durch die Reflexionen zu bestimmen, welche die Erdbebenstrahlen an inneren Schichtgrenzen der Erde erfahren. Man ist aber hier noch nicht zu ganz eindeutigen Resultaten gekommen. Aus Eigenschwingungen der Lithosphäre schloß *Wiechert* auf eine Dicke derselben von weniger als 100 km, ein Wert, den *Benndorf* für zu klein hält. *Mohorovičič* findet aus Reflexionen eine Schichtgrenze bei 50 km Tiefe. Die Herdtiefe der Erdbeben lag in den bisher gemessenen Fällen zwischen 1,5 und 170 km, was andeutet, daß letzterer Wert etwa die Maximalgrenze der Schollendicke darstellt. Es ist nicht unmöglich, daß bei künftiger Unterscheidung zwischen sialischen Kontinentalschollen und simischem Meeresboden auch hier eine bessere Übereinstimmung erzielt wird. Es ist aber vielleicht auch denkbar, daß das Material der Kontinentalschollen an ihrem Unterrande bereits so wenig von dem darunter liegenden verschieden ist, daß der Charakter der Schichtgrenze hier beinahe verwischt ist.

Um die im vorangehenden besprochenen Verhältnisse zu veranschaulichen, ist in [Fig. 6](#) ein Querschnitt der Erde auf einem größten Kreise durch Südamerika und Afrika in getreuen Größenverhältnissen gegeben. Gebirge, Kontinente und ozeanische Vertiefungen bilden so

<sup>45</sup> Daß auch in der Simazone das spezifische Gewicht mit der Tiefe zunimmt, geht schon daraus hervor, daß die Erdbebenforschung als Mittel für den ganzen, 1500 km dicken Silikatmantel der Erde den Wert 3,4 liefert.

geringfügige Unebenheiten, daß sie sich innerhalb der Kreislinie abspielen, welche in der Figur die Erdoberfläche bezeichnet. Der hauptsächlich aus Nickel und Eisen bestehende Kern der Erde trägt nach *Suess* die Bezeichnung Nife. Zum Vergleich sind auch die Hauptschichten der Atmosphäre eingetragen: Die Stickstoffsphäre bis 60 km Höhe, darüber bis 200 km die Wasserstoff- und über ihr die hypothetische Geokoroniumsphäre. Die Zone der Witterungserscheinungen, die nur bis 11 km Höhe reicht (Troposphäre), ist zu dünn, um zur Darstellung zu gelangen.

Fig. 6.



Schnitt im größten Kreise durch Südamerika und Afrika in getreuen Größenverhältnissen.

Von Interesse sind ferner die Schmelztemperaturen. Die zusammengesetzten Silikatgesteine haben, wie die Versuche von *Doelter* und *Day* zeigen, keinen scharfen Schmelzpunkt, sondern nur ein mitunter sehr großes Schmelzintervall; man kann sagen, daß Diabas bei  $1100^{\circ}$ , die Vesuvlaven bei etwa  $1400$  bis  $1500^{\circ}$  schmelzen. Diese Zahlen gelten allerdings für Atmosphärendruck, so daß man für 100 km Tiefe wohl einige  $100^{\circ}$  zu addieren hat<sup>46</sup>. Auf der anderen Seite geben die heute tiefsten Bohrlöcher Czuchow II und Paruschowitz V in Oberschlesien für die obersten 2 km der Erdkruste eine Temperaturzunahme von  $3,1^{\circ}$  pro 100 m Tiefe<sup>47</sup>. Diese Messungen sind allerdings in Sedimenten ausgeführt, die wohl geringere Wärmeleitfähigkeit besitzen, was zur Folge haben muß, daß sich die Isothermen in ihnen zusammendrängen. Im Urgestein des Gotthard-, Mönch- und Simplontunnels ergab sich nur  $2,2$ ,  $2,2$  und  $2,4^{\circ}$  pro 100 m. Da hier wieder wegen der konvexen Bergform ein abnorm schwaches Gefälle angenommen werden darf, so wird man  $2,5^{\circ}$  pro 100 m als einen guten Durchschnittswert für die Kontinentalschollen betrachten. Bei linearer Extrapolation kämen wir hiermit für 100 km Tiefe bereits auf  $2500^{\circ}$ , also weit über den Schmelzpunkt der Gesteine. Indessen wird die zentrale Temperatur der Erde heute im Gegensatz zu früheren zügellos hohen Schätzungen meist nur zu etwa  $3000$  bis  $5000^{\circ}$  angenommen, so daß wir anzunehmen hätten, daß das Temperaturgefälle mit zunehmender Tiefe schnell abnimmt. Dann erhalten wir für 100 km Tiefe etwa Werte zwischen  $1000$  und  $2000^{\circ}$ , so daß die Annahme, am Unterrand der Kontinentalschollen sei etwa der Schmelzpunkt erreicht, nicht unwahrscheinlich wird. Im Einzelfall freilich werden große Abweichungen davon möglich sein. Insbesondere wird die Schmelzisothe mitunter weit in die Kontinentalscholle hinaufwandern können. Die „Granitaufschmelzungen“, deren Deutung durch die Beobachtungen von *Cloos* in Südafrika von den bisherigen Zweifeln befreit ist, zeigen ja, daß diese Isothermenfläche sogar bis zur Erdoberfläche heraufwandern kann. Gewisse Anzeichen dafür, daß

<sup>46</sup> Bei allen Stoffen, welche beim Erstarren spezifisch schwerer werden, also in ihrer eigenen Flüssigkeit untersinken, steigt der Schmelzpunkt ein wenig mit stark zunehmendem Druck. Zu diesen Stoffen gehören wahrscheinlich die meisten Gesteine. Bei Diabas steigt der Schmelzpunkt nach *Barus* um  $0,025^{\circ}$  pro Atmosphäre, was *Vogt* auf  $0,005^{\circ}$  verbessert. Dagegen sinkt der Schmelzpunkt mit stark zunehmendem Druck ein wenig bei allen solchen Stoffen, welche beim Erstarren leichter werden und also auf ihrer eigenen Flüssigkeit schwimmen. Zu dieser Gruppe gehört namentlich das Eis, aber auch Eisen und andere, vielleicht alle Metalle.

<sup>47</sup> *Michael* und *Quitow*, Die Temperaturmessungen im Tiefbohrloch Czuchow in Oberschlesien. Jahrb. d. Kgl. Preuß. Geolog. Reichsanstalt 1910.



geschmolzene sialische Massen von der Unterseite der Kontinentalscholle bei deren Verschiebung zurückbleiben und zum Vorschein kommen, oder, wie unter einem Gebirge, sich seitlich ausbreiten können, haben wir bereits im vorigen Kapitel besprochen.

Wichtig ist, daß nach *Doelter*<sup>48</sup> der Schmelzpunkt der sialischen Gesteine allgemein um etwa 200 bis 300° höher liegt als der der simischen, so daß bei gleicher Temperatur magmatisches Sima und festes Sial nebeneinander bestehen können.

Endlich müssen wir, um die großen, später zu erörternden Deformationen der Erdrinde zu verstehen, uns noch Rechenschaft geben von dem Starrheitsgrade der Erde oder, vom umgekehrten Standpunkt betrachtet, von der Zähigkeit dieser zähen Flüssigkeit. Aus dem Starrbleiben gegenüber den schnellen Erdbebenwellen und dem Fließen gegenüber der bei der Rotation auftretenden Zentrifugalkraft läßt sich die Zähigkeit der Erde höchstens in gewisse Grenzen einschließen. Die Mondflut im festen Erdkörper aber, welcher der Erdkörper nur zum Teil nachgibt, ermöglichte es *Lord Kelvin*, v. *Rebeur-Paschwitz*, *Hecker* und *Schweydar*, durch Messung dieses Teiles eine quantitative Bestimmung der Zähigkeit des Erdkörpers durchzuführen. Es ergab sich, daß die Erde im Durchschnitt aller Schichten die Zähigkeit von Stahl besitzt. Zu demselben Ergebnis gelangte man auch noch auf einem anderen Wege, nämlich aus der Diskussion der Polschwankungen. Diese zerfallen in zwei übereinanderliegende Perioden, nämlich eine „erzwungene“ Schwingung von Jahresperiode, welche nach *Spitaler* und *Schweydar* auf die jährliche Verlagerung der Luftmassen und die damit verbundene geringe Veränderung der Trägheitsachse der Erde zurückzuführen ist, und als Hapterscheinung eine „freie“ Schwingung von 14 Monaten, welche einem Kreisen des Rotationspoles um den Trägheitspol entspricht. Nach *Eulers* theoretischer Berechnung unter Annahme einer vollkommen starren Erde sollte die Periode dieser Schwingung nur 10 Monate betragen. *Newcomb* vermutete, daß sie durch die Plastizität der Erde verlängert sei, die eine teilweise Neu Anpassung der Ellipsoidform der Erde an die jeweilige neue Rotationsrichtung gestattet, und *Hough* und *Schweydar* berechneten hieraus, daß sich die Erde dann wie Stahl verhalten müsse. Letzterer machte auch einen Versuch, die Schichtung im Erdkörper zu berücksichtigen, und fand für den von *Wiechert* aus Erdbebenbeobachtungen wahrscheinlich gemachten Eisenkern das Dreifache, für den 1500 km dicken Silikatmantel ein Achtel der Zähigkeit des Stahles<sup>49</sup>.

Nun müssen wir indessen ein naheliegendes Mißverständnis beseitigen. Für unsere gewöhnlichen Begriffe ist Stahl durchaus ein „starrer Körper“. Wir wissen aber, daß er schon bei solchen Drucken, die wir technisch herstellen können, seine Starrheit verliert und plastisch wird. Wir können nicht eine beliebig hohe Säule aus Stahl errichten, sondern wir kommen an eine Grenze, bei welcher der Fuß dieser Säule anfängt zu „fließen“. Denken wir uns einen ganzen Kontinentalrand aus Stahl, so würde sein oberer Teil zwar starr bleiben, die tieferen Schichten würden aber unter dem Druck der darüber liegenden Massen plastisch werden und seitlich herausquellen. Für die großen Dimensionen des Erdkörpers ist also Stahl kein fester Körper mehr, sondern ein zähflüssiger. Und der Silikatmantel der Erde besitzt, wie erwähnt, nur ein Achtel der Zähigkeit des Stahles.

Die Eigenschaften zähflüssiger Körper sind deswegen paradox, weil es bei ihnen viel mehr auf die Zeitdauer, als auf die Größe der deformierenden Kräfte ankommt. Deshalb fangen solche Körper, wenn man ihnen nur Zeit läßt, unter dem Einfluß der Schwere an zu fließen, auch wenn sie sich gegen Schlag und Stoß wie ein absolut fester Körper verhalten. Ein Stück Kork läßt sich mit Gewalt nicht durch eine Schicht Pech hindurchtreiben, aber wenn man ihm Zeit läßt, genügt sein geringer Auftrieb, um vom Boden eines Gefäßes langsam durch das Pech hindurch aufzusteigen. Einen noch besseren Vergleich bietet Siegelack bei Zimmertemperatur. Wirft man eine Stange Siegelack auf den Boden, so zerspringt sie in scharfkantige Stücke. Läßt man sie aber, an zwei Punkten unterstützt, in der

<sup>48</sup> *Doelter*, Petrogenesis. Die Wissenschaft **13**, Braunschweig 1906.

<sup>49</sup> *Benndorf*, Über die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern. Mitt. d. Geol. Ges. Wien **3**, 1908. – *Pockels*, Die Ergebnisse der neueren Erdbebenforschung in bezug auf die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern. Geolog. Rundsch. **1**, 249-268, 1910.

Schwebe liegen, so kann man schon nach wenigen Wochen ein Durchhängen bemerken, und nach einigen Monaten hängen die nicht unterstützten Teile fast vertikal herab. Aus den Mondgezeiten im festen Erdkörper berechnete *Schweydar*, daß die Zähigkeit des Simas noch etwa 10000mal so groß ist wie die des Siegellacks. Was also beim Siegellack ein Monat, ist beim Sima nahezu ein Jahrtausend. Ein anderes, für die Bewegungen der Erdrinde besonders lehrreiches Beispiel für Zähflüssigkeit bildet das Gletschereis. Auch hier erscheint das Fließen auf den ersten Blick paradox, so daß man besondere Ursachen, wie z. B. Regelation (Wiedergefrieren) dafür annehmen zu müssen glaubte, bis durch Beobachtung der gleichfalls fließenden polaren Gletscher mit ihren tiefen Innentemperaturen in jüngster Zeit eine richtigere Auffassung von der Zähflüssigkeit dieser Gebilde gewonnen worden ist.

Wir müssen nicht nur dem Sima, sondern auch dem Sial einen erheblichen Grad solcher Zähflüssigkeit zuschreiben, denn wir erkennen bei richtiger Deutung des Kartenbildes auch bei den Kontinentalschollen große Deformationen, die nicht immer in Faltungen ihr Äquivalent besitzen und also auf einem Fließen beruhen müssen. Da aber die Kontinentalschollen bis zu einem erheblichen Grade ihre Individualität trotz aller Deformationen im Laufe der Erdgeschichte bewahrt und sich nicht etwa wie eine flüssige Schicht wieder über die Simaoberfläche ausgebreitet haben, so ist doch ein deutlicher Unterschied in bezug auf den Flüssigkeitsgrad des Sials und des Simas festzustellen. Auch bei noch so langen Zeiten bedarf es anscheinend eines gewissen Schwellenwertes der verschiebenden Kräfte, um ein Fließen zu erzeugen, und dieser Schwellenwert scheint beim Sial wesentlich höher zu sein als beim Sima, so daß letzteres bereits unter dem Einfluß der Schwere fließt, während für ersteres doch größere Kräfte erforderlich scheinen.

Eine Wirkung der Zähigkeit des Simas ist das schon besprochene Nachhinken der isostatischen Ausgleichsbewegungen. Noch viele tausend Jahre nach Abschmelzen der Eisbedeckung steigt der herabgedrückte Krustenteil empor. Es ist nicht ohne Interesse, daß der früher für Skandinavien erwähnte Wert von 1 m in 100 Jahren – gleichförmigen Verlauf vorausgesetzt – zu der Annahme führt, daß die Gesamterhebung um 250 m etwa 25000 Jahre gebraucht hat. Da der wirkliche Verlauf aber wohl nicht gleichförmig ist, sondern sich asymptotisch dem Stillstande nähert, ist diese Zahl jedenfalls noch erheblich zu verkleinern. Wir kommen damit auf eine Zeitdauer, die zu unseren Vorstellungen vom Alter der letzten Eiszeit sehr gut paßt.

## Erscheinungen der Kontinentaltafeln

Fig. 7.



Karte der Kontinentalschollen in Merkatorprojektion.

Da unsere ganzen Betrachtungen sich nicht auf die Form der heutigen Küstenlinien, sondern auf die der Kontinentaltafeln einschließlich der Schelfe bezieht, so ist es notwendig, sich von dem gewohnten Bilde der Erdkarte etwas frei zu machen und eine gewisse Vertrautheit mit der Form der vollständigen Kontinentaltafeln zu gewinnen. Es sei deshalb in [Fig. 7](#) eine Erdkarte der Kontinentalblöcke gegeben. In der Regel gibt die 200 m-Tiefenlinie am besten den Rand dieser Tafeln wieder, doch erreichen einige Teile, die noch sicher zu den Kontinentaltafeln gehören, auch 500 m Tiefe. Die größten Abweichungen von den Küstenlinien treten auf in der Umgebung der britischen Inseln, auf der Neufundland-Bank, im Nördlichen Eismeer, wo Spitzbergen, Franz Josef-Land und neusibirische Inseln mit Eurasien verbunden erscheinen, in der Umgebung der Falklandsinseln, die auf dem südamerikanischen Schelf liegen, bei den Sunda-Inseln, die einen großen, mit Asien zusammenhängenden Lappen bilden, und zwischen Australien und Neuguinea, die als eine einzige große Tafel erscheinen. Auch die nordamerikanische Scholle hängt durch den Schelf der Beringstraße unmittelbar mit der asiatischen zusammen.

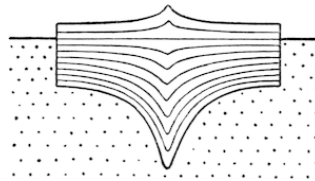
Es ist von Wichtigkeit, den Prozeß der Gebirgsfaltung etwas näher ins Auge zu fassen. Er ist es ja, welcher den Zusammenschub der Lithosphäre zu immer größerer Dicke vorzugsweise bewirkt und damit die Kontinente aus dem Meere auftauchen läßt. Auch Tafelländer lassen ja die Faltung des Urgesteins meist noch deutlich erkennen, durch welche sie dem Urmeere entstiegen sind. Erst nachträglich sind diese anfangs als echte Kettengebirge entstandenen Faltungen durch Verwitterung oder Abrasion wieder eingeebnet worden, so daß man bisweilen aus dem Grade dieser Einebnung bereits einen rohen Schluß auf das Alter der Faltung ziehen kann. Deshalb ist es wichtig, ein möglichst klares Bild von dem Faltungsvorgang zu gewinnen.

*James Hall* wurde zuerst auf die unbestreitbare Tatsache aufmerksam, daß die Mächtigkeit der Sedimente gerade in Faltengebirgen viel größer ist als in den benachbarten ungefalteten Gebieten. Da es sich meist um kilometermächtige Schichten handelt, die gleichwohl alle in flacher See abgelagert sind, deutete *Hall* die Erscheinung ganz richtig in der schon oben besprochenen Weise, daß am Orte des Gebirges anfangs eine Mulde (Geosynklinale) bestanden habe, deren Aufschüttung mit Sediment durch ein isostatisches Sinken der Scholle fast kompensiert wurde. Man kam so zu dem Gesetz: Kettengebirge entstehen aus Schelfen<sup>50</sup>. Daß gerade die Schelfe hier bevorzugt werden, kann

<sup>50</sup> *Haug* (Traité de Géologie 1, Les Phénomènes géologiques, p. 160, Paris 1907) formuliert es: „Les chaînes de montagne se forment sur l'emplacement des géosynclinaux“. Ich halte „Schelfe“ für richtiger als „Geosynklinalen“, da man einen Randschelf, wie

verschiedene Gründe haben. *Reade* wies darauf hin, daß durch die kilometerdicken Ablagerungen das Urgestein in das Gebiet der höheren Temperatur hinabgedrängt und hierdurch plastischer gemacht würde, so daß beim Zusammenschub diese Stelle zuerst nachgeben muß. Vielleicht darf man auch annehmen, daß solche Geosynklinalen von Anfang an durch eine besonders hohe Lage der Isotherme der Schmelztemperatur ausgezeichnet waren, und daß deswegen ein Sinken der Scholle bei Sedimentauflagerung besonders leicht eintreten konnte, weil bei Schollenverdickung die geschmolzenen Massen an der Unterseite der Lithosphäre leichter seitwärts ausweichen konnten. Auch dadurch würde eine Bevorzugung dieser Stellen bei Faltung erklärbar. Außerdem muß aber beachtet werden, daß die Schollendicke aus isostatischen Gründen bei Schelfen viel geringer sein muß, als bei den höheren Teilen der Kontinentalschollen, wodurch die Schelfe als Zonen geringsten Widerstandes an sich schon für die Faltung prädestiniert erscheinen.

Fig. 8.



Zusammenschub unter Wahrung der Isostasie.

Die Faltung selbst geschieht, wie schon früher ausgesprochen, unter Wahrung der Isostasie. Die Rinde schwimmt ja auf der Barysphäre, und daher muß auch bei der entstehenden Verdickung das Verhältnis von oberhalb und unterhalb des barysphärischen Niveaus das gleiche bleiben wie vorher (Fig. 8). Nach oben gestaut werden also nur alle diejenigen Schichten, die schon vorher oberhalb des Tiefseebodens lagen, und diese betragen nur etwa 5 Proz. der ganzen Scholle, während 95 Proz. eingetaucht sind. Was wir also in den Gebirgen sehen, ist nur ein sehr kleiner Teil dieses Zusammenschubes, der weitaus größte Teil sinkt bei der Auffaltung nach unten. Da z. B. ein Schelf von 70 km Schollendicke nur um etwa  $3\frac{1}{2}$  km aus der Barysphäre herausragt, so wird, wenn er mit einer Sedimentschicht von der letzteren Dicke bedeckt ist, die nach oben gerichtete Faltung zunächst nur aus Sediment bestehen, während das darunter liegende Urgestein sich nach unten faltet, bis die Abtragung dies Verhältnis ändert. Die Schraubungen (Torossen) des Meereises im Polarmeer bilden eine Erscheinung, welche der Gebirgsfaltung ganz analog ist, ja geradezu als eine Kopie im kleinen gelten kann. Auch hier sind es schwimmende Schollen, bei denen der Hauptzusammenschub nach unten gerichtet ist, während der nach oben gerichtete Schraubwall nur den kleineren Teil darstellt. Auch die tektonischen Beben treten dabei im kleinen auf. Nur in bezug auf die Zähigkeit des Simas versagt der Vergleich; denn die Eisscholle findet natürlich im Wasser nicht genügend Stirnwiderstand, um einen Schraubwall an der freien Vorderkante zu bilden.

Mit der nach unten gerichteten Verdickung der Scholle wird nun meist noch eine weitere Veränderung vor sich gehen. Wenn, wie früher wahrscheinlich gemacht wurde, am Unterrand der ungefalteten Scholle etwa der Schmelzpunkt der Silikate erreicht ist, so werden die tiefer hinabrückenden Massen geschmolzen werden und sich an der Grenze zwischen der festen Scholle und dem darunter liegenden flüssigen, aber schweren Sima ausbreiten. Besitzt die Scholle keine fortschreitende Bewegung über das Sima, so wird diese Ausbreitung nur die Wirkung haben, daß das Gebirge selbst weniger hoch wird und statt dessen auch die benachbarten Teile der Scholle gehoben werden. Wenn aber, was in der Regel der Fall sein wird, eine solche fortschreitende Bewegung besteht, so müssen offenbar die geschmolzenen Massen einseitig sich ausbreiten, da sie ebenso wie das flüssige Sima zurückbleiben. In diesem Fall entsteht eine unsymmetrische Höhenverteilung,

z. B. den, aus welchem sich die Anden Südamerikas aufgebaut haben, wohl nicht gut als Mulde bezeichnen kann.

indem sich die Hebung nur auf die Rückseite des Gebirges (im Sinne der Bewegungsrichtung der Scholle) beschränkt, vor dem Gebirge dagegen eher eine Senkung (Vortiefe) auftritt. So dürfen wir z. B. bei den Alpen wie auch beim Himalaja annehmen, daß die tief hinabgesenkten und geschmolzenen Schollenteile einseitig nach Norden ausgewichen sind und hier zur Hebung des deutschen Mittelgebirges bzw. von Tibet beigetragen haben. Dementsprechend zeigen auch die Schweremessungen in den Alpen, daß das größte „Massendefizit“ nicht unter der Mittellinie, sondern erheblich weiter nördlich unter dem Gebirge liegt.

Wenn keine derartige Schmelzung an der Unterseite der Schollenverdickung einträte, so könnte man aus der mittleren Höhe des Gebirges und seiner Breite die Größe des Zusammenschubes berechnen. Nimmt man z. B. an, daß das Gebirgsland vor dem Zusammenschub einen Schelf bildete, dessen Oberfläche 200 m unter dem Meere lag (und daß die spezifischen Gewichte des Sials und des Simas 2,8 und 2,9 sind), so folgt für eine mittlere Seehöhe des Gebirges von 2000 (4000) m eine Verkürzung auf 0,6 (0,4) der ursprünglichen Breite. Aus der mittleren Seehöhe der Alpen würde man hiernach für dies Gebirge einen Zusammenschub berechnen, wie er zwar den älteren Anschauungen entsprach, aber mit dem heute erkannten Deckfaltenbau unvereinbar ist. Auch für den Himalaja erhält man durch diese Rechnung im günstigsten Falle nur einen Zusammenschub Lemuriens um 1500 km, was als viel zu klein erscheint. Hierin zeigt sich deutlich der Einfluß der Abschmelzung von unten. Daß diese Vorstellung aber überhaupt unabweisbar ist, zeigt eine Reihe anderer Erscheinungen, welche sich, wie schon erwähnt, wohl nur so erklären lassen, daß die geschmolzenen Sialmassen von der Unterseite einer Kontinentalscholle bei deren Verschiebung auch an ihrem Rande auftauchen können und so unmittelbar in Erscheinung treten (Island, das Dreieck im Winkel zwischen Abessinien und der Somali-Halbinsel, die Abrolhos-Bank, die Seychellen-Bank).

Eine besondere Erwähnung verdient die Staffelung der Gebirgsfalten. Die einzelnen Faltenzüge liegen meist nicht genau hintereinander, sondern gestaffelt, so daß, wenn man ein solches Gebirge weithin verfolgt, immer neue, anfangs noch zurückliegende Ketten an seinen Vorderrand treten, wo sie erlöschen und den nächst hinteren Platz machen. Sind die Faltenzüge gut getrennt, so läßt sich die Staffelung schon auf der topographischen Karte erkennen, wie z. B. zwischen Hindukusch und Baikalsee oder am Nordende der australischen Kordilleren. Sind die Falten eng zusammengeschoben, so ist die Staffelung entsprechend schwerer zu erkennen. Ein einfacher Versuch zeigt, unter welchen Bedingungen die Staffelung zustande kommt. Legen wir beide Hände auf ein ausgebreitetes Tischtuch und nähern sie einander in gerader Richtung, so entsteht meist zwischen ihnen nur eine einzige riesige (Deck-) Falte. Dies entspricht der Faltung ohne Staffelung, wie bei den Alpen. Versuchen wir aber, die beiden Hände aneinander vorbeizuschieben, so entsteht ein hübsches System kleiner, paralleler und namentlich gestaffelter Falten, welches der Staffelfaltung z. B. der Dinarischen Alpen entspricht. Man sieht nun leicht, wie die verschiedenen Arten der Faltung miteinander zusammenhängen: drängen die Schollen gerade gegeneinander an, so entstehen große Deckfalten, wollen sie halbwegs aneinander vorbei, so entstehen kleinere Staffelfalten. Die Fältelung wird immer enger, je mehr die Schollen einander aus dem Wege gehen; schließlich hört die Faltung ganz auf, und es entsteht nur noch eine horizontale Verwerfung (Blattverschiebung). Es ist hiernach klar, daß Staffelfalten besonders auch für das seitliche Ende großer Gebirge charakteristisch sein müssen. Bei den weiter unten zu besprechenden ostasiatischen Girlanden, welche abgelöste Randketten darstellen, ist diese Staffelung besonders deutlich sichtbar gemacht.

Ebenso wie die Faltung der Gebirge vollzieht sich auch ihre sofort einsetzende Abtragung unter Wahrung der Isostasie. In dem Maße, wie der höchste, mittelste Teil des Gebirges durch die Abtragung der Sedimente entlastet wird, steigt die Scholle hier wiederum isostatisch empor, so daß schließlich nach völliger Entfernung des Sediments ein Urgebirge von fast gleicher Höhe emporgewachsen ist. Dabei ist es wichtig, daß sich Sediment und Urgestein bei der Faltung etwas verschieden verhalten: Sediment splittet mehr und fällt daher dem rinnenden Wasser viel schneller

anheim, als das darunter liegende Urgestein, welches bei Faltungen mehr fließt <sup>51</sup>. Daher läßt die Abtragung sehr nach, sobald die Sedimentdecke des Gebirges beseitigt ist. Der Himalaja mit seinen mächtigen Sedimentaufstauungen befindet sich noch im ersten Teile dieser Entwicklung. Die Abtragung ist hier eine gewaltige. Die Gletscher sind unter enormen Schuttmengen begraben. Bei den Alpen ist nur noch im Norden und Süden die Sedimentzone erhalten, in der Zentralkette ist das Sediment beseitigt und das Urgestein emporgestiegen; die Abtragung ist hier viel geringer geworden. Die Schönheit unserer Alpengletscher beruht zum großen Teil auf ihrer Moränenarmut. Und beim norwegischen Gebirge, das viel älter ist, ist die Sedimenthaube bereits ganz beseitigt, und die heutige Abtragung sehr gering.

Durch diese Betrachtungen wird offenbar allen denjenigen Theorien, welche gerade die „Erhebung“ der Gebirge erklären wollen, der Boden entzogen. Denn sobald man überhaupt besondere Kräfte für diese Erhebung annimmt, setzt man fest, daß sie sich entgegen der Isostasie vollzieht, was für größere Gebirge zweifellos nicht der Fall ist.

Von der Natur der Faltungskräfte entwirft die Verschiebungstheorie ein ganz neues Bild. Von einem Gewölbedruck im Sinne der Schrumpfungshypothese ist ja keine Rede mehr, die lithosphärische Haut, die längst nicht mehr die ganze Erde umspannt, schwimmt frei auf einer zähflüssigen Unterlage. Die Kräfte, welche die Gebirge falten, müssen jetzt dieselben sein, welche auch die Horizontalverschiebungen der Kontinente bewirken. Dabei haben wir die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten: Einmal könnte eine ungleiche Verteilung dieser Kräfte selbst bewirken, daß die verschiedenen Teile der Lithosphäre sich verschieden schnell bewegen und also falten müssen. Andererseits kann aber auch bei gleichmäßiger Verteilung der Verschiebungskräfte ein solcher Unterschied in der Bewegung und damit eine Faltung dadurch erzeugt werden, daß die verschiedenen Teile der Lithosphäre bei ihrer Bewegung ungleiche Widerstände erfahren. Gerade diese letztere Erklärung erscheint von besonderer Bedeutung, denn wie die Karte zeigt, treten Faltungen mit Vorliebe am Vorderrande triftender Schollen auf, wo also zu dem überall gleichen Widerstand durch die Reibung an der Unterseite der Scholle noch ihr Stirnwiderstand hinzukommt, der nicht unbeträchtlich sein wird, weil es hier gerade die oberen, ausgekühlten und daher weniger plastischen Simaschichten zu verdrängen gilt. Das riesige Andengebirge z. B. ist – wenngleich auch ihm bereits ältere Faltungen zugrunde liegen – wesentlich tertiären Ursprungs, also gleichaltrig mit der Verschiebung der amerikanischen Schollen nach Westen. Der Schluß eines ursächlichen Zusammenhanges ist hier wohl kaum abzuweisen. Vielleicht noch klarer tritt dieselbe Erscheinung bei der Scholle Australien—Neuguinea auf: Das hohe jugendliche Gebirge auf Neuguinea liegt auf der jetzigen, die älteren Faltungen Neuseelands und Ostaustraliens auf der früheren Vorderseite der triftenden Scholle.

---

<sup>51</sup> Zu diesem Ergebnis kommen unter anderem auch *Ampferer* und *Hammer* (Geologischer Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee, Jahrb. der k. k. Geol. Reichsanstalt **61**, 531-709, 1911, namentlich S. 708-709). Nach ihnen war „unter der oberflächlichen Zone der größeren Schiebungen und Faltungen ein tiefer Herd von magmatischen Bewegungen“ vorhanden, „bei welchem mächtige Teile der oberen Zone in die Tiefe gesaugt wurden“... „Denkt man sich die Decke der jüngeren Schichten wieder in ihrer ursprünglichen Art ausgeglättet, so erhält man einen wohl zwei- bis dreimal breiteren Streifen als bei der Ausglättung der jüngeren kristallinen Falten“, so daß eine „Absorption der tieferen Zonen“ anzunehmen ist. Auch *E. Kayser* (Lehrb. d. allgem. Geol., 5. Aufl., S. 914, Stuttgart 1918) meint, „daß, während an und in der Nähe der Erdoberfläche die rupturale Umformung vorherrscht, mit wachsender Tiefe die plastische Umformung immer mehr die Oberhand gewinnt. Der amerikanische Geologe *van Hise* hat dies schon vor 25 Jahren erkannt und hat eine obere Zone der Zertrümmerung (zone of rock fracture) und eine tiefere Zone des Gesteinsfließens (zone of rock flow oder flowage) angenommen. Er legte die Grenze zwischen beiden in 10 bis 12 km Tiefe“.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.