

# Die Entstehung der Kontinente und Ozeane

Von

**Dr. Alfred Wegener**

Abt.-Vorst. d. Deutschen Seewarte u. a. o. Prof. d. Meteorologie  
a. d. Hamburgischen Universität

**Dritte gänzlich umgearbeitete Auflage**

Mit 44 Abbildungen



Braunschweig

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.

1922

# Vorwort zur 3. Auflage.

---

Die 3. Auflage ist wieder völlig umgearbeitet und unterscheidet sich von der zweiten wohl fast ebenso sehr wie diese von der ersten.

Der Grund hierfür liegt nicht allein darin, daß in den dazwischenliegenden 2 Jahren eine umfangreiche Literatur erschienen ist, die sich direkt oder indirekt mit der Verschiebungstheorie beschäftigt, sondern namentlich auch darin, daß der gesamte Stoff des Buches in eine neue und, wie ich hoffe, überzeugendere Form gegossen wurde, in der das Wesentliche vom Beiwerk besser getrennt erscheint.

Daß die neue Auflage nur denselben Umfang hat wie die vorangehende, ist namentlich verursacht durch eine gekürzte Behandlung der Paläoklimatologie, die jetzt nur noch soweit herangezogen wird, als sie zur Begründung der Verschiebungstheorie dienen kann. Meine weiteren Studien über diesen Gegenstand hoffe ich gemeinsam mit Professor Köppen in einer besonderen Veröffentlichung zu behandeln.

Im übrigen trägt auch die gegenwärtige Auflage wie die vorangehende die Spuren dieser gemeinsamen Arbeit.

Hamburg-Großborstel, im Juni 1922.

**Alfred Wegener.**

# Inhaltsverzeichnis.

## I. Wesentlicher Inhalt der Verschiebungstheorie.

	Seite
<b>Erstes Kapitel. Die Verschiebungstheorie . . . . .</b>	<b>1</b>
Die Kongruenz der südatlantischen Küsten als Ausgangspunkt der Verschiebungstheorie 1. — Die Triftbewegungen der einzelnen Kontinente 1. — Rekonstruierte Erdkarten 2 (Abbildungen auf S. 4 u. 5). — Besondere Bewegungsart Vorderindiens 2. — Faltung am Vorderrand triftender Schollen 2. — Westwanderung der Kontinente 2. — Polflucht 2. — Zurückbleiben der Girlanden 3. — Kontinentalschollen und Tiefseeböden 3. — Geschichtliche Bemerkungen 3. — Anklänge an die Verschiebungstheorie bei älteren Autoren 6.	
<b>Zweites Kapitel. Verhältnis zur Kontraktionstheorie, Landbrückenlehre und Permanenzlehre . . . . .</b>	<b>8</b>
Die Kontraktionstheorie 8. — Deckfaltenbau der Alpen 8. — Der Zusammenschub ist durch Abkühlung nicht zu erklären 9. — Die Schrumpfung eines größten Kreises kann nicht an einer einzelnen Stelle desselben zum Austrag kommen 10. — Die Kontinentalschollen sind durch die Kontraktionstheorie nicht zu erklären 10. — Notwendigkeit, die Kontraktionstheorie durch die Verschiebungstheorie zu ersetzen 11. — Die Landbrückenlehre 12. — Die Lehre von der Permanenz der Ozeane 14. — Flachseenatur der marinen Sedimente auf den Kontinentalschollen 14. — Unterbringung der ozeanischen Wassermassen bei Rekonstruktion der „versunkenen“ Brückenkontinente 15. — Isostasie 15. — Begründung derselben durch Schweremessungen 16. — Zusammenfassung 18.	

## II. Beweisführung.

<b>Drittes Kapitel. Geophysikalische Argumente . . . . .</b>	<b>19</b>
Zwei Häufigkeitsmaxima der Höhen der Erdrinde 19. — Kontinentalschollen und Tiefseeböden zwei verschiedene Schichten des Erdkörpers 21. — Erdmagnetische Gründe 22. — Geschwindigkeit der Erdbebenwellen 23. — Dredschproben 24. — Sial und Sial 25. — Dicke der Kontinentalschollen nach Hayford und Helmert 25. — Spezifisches Gewicht von Sial und Sima 26. — Schlichtheit des Tiefseebodens 27. — Fehlen von Faltengebirgen auf den Tiefseeböden 27.	
<b>Viertes Kapitel. Geologische Argumente . . . . .</b>	<b>28</b>
Breite der atlantischen Spalte 28. — Die Zwarten Berge im Kapland und die Sierran von Buenos Aires 29. — Die Eruptivgesteine von Brasilien und Südafrika 30. — Sedimente in Brasilien und Südafrika 32. — Afrikanischer Ursprung von permocarbonem Erraticum in Südbrasilien 32. — Faltungsrichtung der Gneismassive von Südamerika und Afrika 32. — Regionale Bewegungen Südamerikas nach dem Abriß 35. — Das Atlasgebirge ohne amerikanische Fortsetzung 35. — Natur der atlantischen Inseln 35. — Die karbonischen (armorianischen) Faltungen in Europa und Nordamerika 36. — Silurisch-devonische (kaledonische) Faltungen 37. — Algonkische Faltungen 37. —	

Endmoränen der diluvialen Eiskappen 38. — Beweiskraft der unabhängigen Kontrollen 38. — Basaltzone von Grönland und Nordeuropa 39. — Old Red in Nordamerika, Nordeuropa, Grönland 39. — Intrusivgesteine in Grönland und Nordamerika 39. — Blattverschiebung Grinnell-Land-Grönland 40. — Erläuterungen zur Rekonstruktion der präatlantischen Kontinentalverbindungen 40. — Abrolhosbank 40. — Nigerdelta 40. — Neufundlandscholle 41. — Island 41. — Mittelatlantische Bodenschwelle 42. — Madagaskar 42. — Vorderindien 43. Der Zusammenschub Lemuriens im Himalaja 43. — Australien 45. — Neuseeland 46. — Kollision der Scholle Australien-Neuguinea mit dem Sunda-Archipel 46. — Tasmanien und Ostantarktis 49. — Westantarktis und Drakestraße 49.	
<b>Fünftes Kapitel. Paläontologische und biologische Argumente . . . . .</b>	<b>51</b>
Ansichten von 20 Spezialforschern über Landbrücken 51. — Junges Alter des Atlantik 54. — Zeugnis der Regenwürmer 55. — Reptilien und Säugetiere beiderseits des Nordatlantik 55. — Karbonfauna ebendort 55. — Beispiele anderer Verwandtschaften 56. — Faunistische und floristische Verwandtschaften beiderseits des Südatlantik 58. — Juan Fernandez 59. — Hawai-Inseln 59. — Lemurien 59. — Dreigliederung der australischen Tierwelt 60.	
<b>Sechstes Kapitel. Paläoklimatische Gründe . . . . .</b>	<b>62</b>
Organische Klimazeugen 62. — Anorganische Klimazeugen 63. — Spitzbergen als Beispiel einer Änderung vom tropischen zum polaren Klima 63. — Klimaänderung in Zentralafrika vom polaren zum tropischen Klima 64. — Die Hypothese der Polwanderung 64. — Bisherige Versuche der Durchführung der Polwanderungshypothese 65. — Unerklärbarkeit der permokarbonen Glazialerscheinungen 66. — Lösung durch die Verschiebungstheorie 67. — Eis, Glossopterisflora, Kohle, Salz als Klimazeugen im Permokarbon 68. — Provisorische Pollagen für die nachkarbonischen Zeiten bis zur Gegenwart 75. — Die quartäre Vereisung Nordamerikas und Nordeuropas 75.	
<b>Siebentes Kapitel. Geodätische Argumente . . . . .</b>	<b>77</b>
Die absolute Zeitdauer der geologischen Perioden 77. — Zu erwartende Beträge der jährlichen Verschiebungen 78. — Vergrößerung des Abstandes Grönlands von Europa 79. — Die Frage der Veränderlichkeit der Längendifferenz Europa-Nordamerika 81. — Die säkularen Breitenänderungen europäischer und nordamerikanischer Sternwarten 82.	
<b>III. Erläuterungen und Schlußfolgerungen.</b>	
<b>Achtes Kapitel. Die Zähflüssigkeit des Erdkörpers . . . . .</b>	<b>82</b>
Tauchgleichgewicht (Isostasie) der Erdrinde 83. — Verlagerung der Rotationspole 83. — Trans- und Regressionen bei Polwanderungen 85. — Zähigkeitskoeffizient der Erde nach Erdbebenbeobachtungen, den Gezeiten der festen Erde und den Polschwankungen 88. — Möglichkeit einer Magmaschicht 89. — Einfluß der großen Dimensionen des Erdkörpers 89. — Paradoxe Eigenschaften zähflüssiger Körper 90. — Weiche feste und zähe flüssige Körper 91. — Temperaturverhältnisse im Erdinnern 92.	
<b>Neuntes Kapitel. Der Tiefseeboden . . . . .</b>	<b>94</b>
Streckung des Meeresbodens beim Auseinandertriften der Kontinentalschollen 94. — Tiefen und Bodenbedeckung der Ozeane 95. — Mögliche Erklärung durch Temperaturverhältnisse 96. — Strömungen im Sima 97. — Tiefseerinnen 98.	



	Seite
<b>Zehntes Kapitel: Die Sialsphäre</b> . . . . .	100
Umriss der Kontinentalschollen 100. — Querschnitt durch die Erdschichten 101. — Verschwindende Bedeutung der Sedimentschichten 102. — Anfängliche völlige Bedeckung der Erde mit Sial 102. — Allmähliche Abnahme der Faltungen in der Erdgeschichte 103. — Einseitigkeit des Entwicklungsprozesses der Sialrinde 104. — Simaeinschlüsse des Sials 105. — Das Wesen des Vulkanismus 106.	
<b>Elftes Kapitel. Faltung und Spaltung</b> . . . . .	107
Entwicklung der Erklärung der Faltengebirge durch Zusammenschub 107. — Zeugnis der Schweremessungen 108. — Faltung und Abtragung unter Wahrung der Isostasie 110. — Unsymmetrie des Faltungsvorganges 111. — Größere Mächtigkeit der Sedimente in Faltungszonen 112. — Faltung am Vorderrand triftender Schollen und äquatoriale Faltung 112. — Allgemeine Bedingungen für normale Falten, Staffelfalten, Blattverschiebung und Spaltung 113. — Die Brüche von Ostafrika 114. — Einbruch des Ägäischen Meeres 117. Vorherrschen meridionaler Spalten 118.	
<b>Zwölftes Kapitel. Der Kontinentalrand</b> . . . . .	118
Schwerestörung am Kontinentalrande 118. — Druckverhältnisse 120. — Fjordbildung 121. — Unterseeische Fortsetzung von Flußtälern an den atlantischen Küsten 121. — Inselgirlanden 122. — Staffelung der Girlanden 123. — Geologischer Bau derselben 124. — Bauchige Küstenformen hinter den ostasiatischen Girlanden 124. — Richthofens Erklärung der Girlanden 125. — Gleitende Randketten 126. — Die kalifornische Halbinsel und die Erdbebenverwerfung von San Franzisko 126. — Der Kontinentalrand von Hinterindien 128. — Pazifischer und atlantischer Küstentypus 128.	
<b>Dreizehntes Kapitel. Die verschiebenden Kräfte</b> . . . . .	129
Die Polflucht der Kontinentalschollen 130. — Westwanderung derselben 130. — Meridionale Spalten 132. — Art der Polfluchtkraft und ihr mathematischer Ausdruck 132. — Westwärts gerichtete Kräfte 136. — Kräfte aus der Abweichung der Erdfigur vom Rotationsellipsoid 137. — Dsgl. in der geologischen Vorzeit 138. — Ursache und Wirkung 139.	
<b>Namen- und Sachregister</b> . . . . .	141

# I. Wesentlicher Inhalt der Verschiebungstheorie.

## 1. Kapitel. Die Verschiebungstheorie.

Wer die gegenüberliegenden Küsten des Südatlantik betrachtet, dem muß der gleichartige Verlauf der Küstenlinie von Brasilien und Afrika auffallen. Nicht allein der große rechtwinklige Knick, den die brasilianische Küste bei Kap San Roque erfährt, findet sein getreues Negativ in dem afrikanischen Küstenknick bei Kamerun, sondern auch südlich dieser beiden korrespondierenden Punkte entspricht jedem Vorsprung auf brasilianischer Seite eine gleichgeformte Bucht auf afrikanischer, und umgekehrt jeder Bucht auf brasilianischer ein Vorsprung auf afrikanischer Seite. Wie ein Versuch mit dem Zirkel am Globus lehrt, stimmen die Größen genau.

Diese auffallende Erscheinung ist der Ausgangspunkt einer neuen Vorstellung über die Natur unserer Erdrinde und die in ihr stattfindenden Bewegungen geworden, welche wir mit dem Namen Theorie der Kontinentalverschiebungen oder kurz Verschiebungstheorie bezeichnen, weil ihr augenfälligster Bestandteil die Annahme größerer horizontaler Triftbewegungen ist, welche die Kontinentalschollen im Laufe der geologischen Zeiträume ausgeführt haben und vermutlich noch heute fortsetzen.

Insbesondere hat nach diesen Vorstellungen die südamerikanische Kontinentaltafel vor Millionen von Jahren unmittelbar neben der afrikanischen Tafel gelegen, ja mit dieser eine zusammenhängende große Scholle gebildet, welche erst in der Kreidezeit in zwei Teile zerriß, die dann wie treibende Eisschollen im Wasser immer weiter voneinander wichen. Ebenso hat auch Nordamerika früher dicht neben Europa gelegen und wenigstens von Neufundland bzw. Irland ab nach Norden mit diesem und Grönland eine zusammenhängende Scholle gebildet, die sogar erst am Ende der Tertiärzeit, im Norden sogar erst im Quartär durch eine bei Grönland sich gabelnde Spalte zerriß, worauf die Teilschollen sich voneinander entfernten. Hierbei werden die seicht überfluteten Teile der Kontinentalmassive, die Schelfe, stets als Bestandteile der Schollen aufgefaßt, deren Begrenzung auf großen Strecken nicht durch die Küstenlinie, sondern durch den Abfall zum Tiefseeboden gegeben ist.

Ebenso wird angenommen, daß Antarktika, Australien und Vorderindien bis zum Beginn der Jurazeit unmittelbar neben Südafrika gelegen und mit diesem und Südamerika ein einziges großes — wenn auch teilweise von Flachsee überschwemmtes — Kontinentargebiet gebildet haben, das im Laufe von Jura, Kreide und Tertiär durch Zerspaltung in Einzelschollen zerfiel, die nach allen Seiten auseinandertrifteten. Unsere in Fig. 1 und 2 wiedergegebenen drei Erdkarten für das Jung-Karbon, Eozän und Alt-Quartär zeigen diesen Entwicklungsgang. Bei Vorderindien handelt es sich dabei um einen etwas abweichenden Vorgang: Es war ursprünglich durch ein langes, freilich meist von Flachsee bedecktes Schollenstück mit dem asiatischen Kontinent verbunden. Nach der Abtrennung Vorderindiens einerseits von Australien (in der älteren Jurazeit), andererseits von Madagaskar (an der Wende von Kreide und Tertiär) wurde dies lange Verbindungsstück durch fortschreitende Annäherung Vorderindiens an Asien immer mehr zusammengefaltet und ruht heute in den gewaltigsten Gebirgsfalten, welche unsere Erde trägt, dem Himalaja und den zahlreichen weiteren Faltenzügen Hochasiens.

Auch auf anderen Gebieten tritt die Schollenverschiebung in ursächlicher Verknüpfung mit der Entstehung der Gebirge auf: Bei dem Westwärtswandern der beiden Amerika wurde ihr Vorderrand durch den Stirnwiderstand an dem uralten, tief ausgekühlten und daher widerstrebenden Tiefseeboden des Pazifik zusammengefaltet zu dem riesigen Andengebirge, das sich von Alaska bis Antarktika hinzieht. Auch bei der australischen Scholle, zu der auch das nur durch ein Schelfmeer getrennte Neuguinea zu zählen ist, befindet sich auf der Vorderseite im Sinne der Bewegung das hohe junge Gebirge von Neuguinea; vor ihrem Abriß von Antarktika war ihre Bewegungsrichtung, wie unsere Karten zeigen, eine andere: die heutige Ostküste war damals die Vorderseite. Damals wurden die Gebirge Neuseelands aufgefoldet, das dieser Küste unmittelbar vorgelagert war und sich in der Folgezeit bei veränderter Verschiebungsrichtung als Girlande ablöste und zurückblieb. Aus noch älterer Zeit stammen die heutigen Kordilleren Ostaustraliens; sie entstanden gleichzeitig mit den älteren Faltungen in Süd- und Nordamerika, die den Anden zugrunde liegen (Präkordilleren), am Vorderrande der als Ganzes sich verschiebenden Kontinentalmasse vor der Aufspaltung.

Außer dieser Westwanderung sehen wir in weitem Umfange auch ein Hinstreben der Kontinentalschollen zum Äquator. Damit steht im Zusammenhange die Bildung des großen tertiären Falteingürtels in der damaligen Äquatorialzone vom Himalaja über die Alpen bis zum Atlasgebirge.

Die soeben erwähnte Abtrennung der einstigen Randkette, späteren Girlande Neuseeland von der australischen Scholle leitet uns zu der

Erscheinung hinüber, daß kleinere Schollenteile besonders bei der Westwanderung der großen Schollen zurückbleiben. So trennen sich am ostasiatischen Kontinentalrand die Randketten als Girlanden ab, so bleiben die Kleinen und Großen Antillen hinter der Bewegung der mittelamerikanischen Scholle zurück und ebenso der sogenannte Südantillenbogen zwischen Feuerland und der West-Antarktis, ja sogar alle sich in meridionaler Richtung zuspitzenden Schollen zeigen eine Verbiegung dieser Spitzen durch Zurückbleiben nach Osten, wie die Südspitze Grönlands, der Schelf von Florida, Feuerland, Grahamland, oder das abbrechende Ceylon.

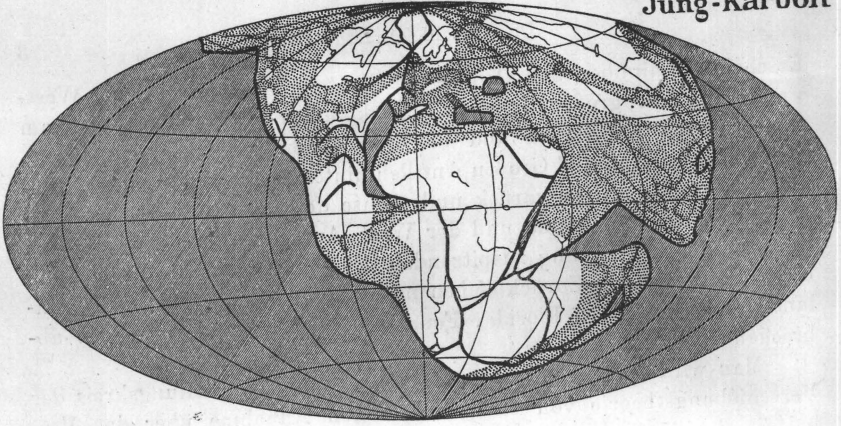
Man wird leicht bemerken, daß dieser ganze Vorstellungskreis der Verschiebungstheorie von einer bestimmten Annahme über das Verhältnis der Tiefsee zu den Kontinentalschollen ausgeht. Es wird in der Tat angenommen, daß diese beiden Dinge grundverschieden sind, daß die Kontinentalschollen, deren Mächtigkeit etwa 100 km beträgt, in einem anders gearteten Magma schwimmen, aus dem sie nur etwa 5 km herausragen, und welches in den Tiefseeböden unbedeckt ist. Die äußerste Lithosphäre bedeckt also die Erde nicht mehr vollständig — ob sie es früher je getan hat, mag dahingestellt bleiben —, aber jedenfalls hat sie sich im Laufe der kontrollierbaren geologischen Zeiten durch Faltung und Zusammenstauchung fortschreitend verkleinert, dabei an Mächtigkeit wachsend, und schließlich immer mehr in einzelne Kontinentalschollen zerspalten, die heute nur noch etwa  $\frac{1}{4}$  der Erde bedecken. Die Tiefseeböden aber stellen die freie Oberfläche der nächsten Schicht des Erdkörpers dar, welche auch unter den Kontinentalschollen anzunehmen ist. Dies ist die geophysikalische Seite der Verschiebungstheorie.

Die ausführliche Begründung dieser neuen Vorstellungen wird den Hauptinhalt dieses Buches bilden. Einige geschichtliche Bemerkungen seien dem vorausgeschickt.

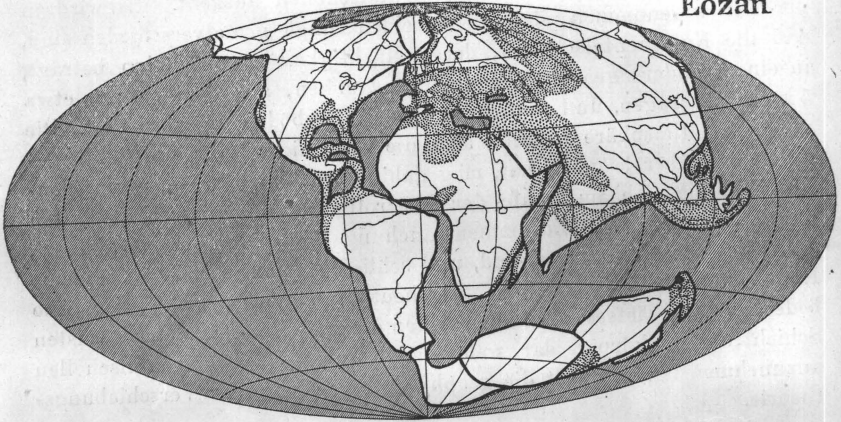
Die erste Idee der Kontinentalverschiebungen kam mir im Jahre 1910 bei der Betrachtung der Weltkarte unter dem unmittelbaren Eindruck von der Kongruenz der atlantischen Küsten, ich ließ sie aber zunächst unbeachtet, weil ich sie für unwahrscheinlich hielt. Im Herbst 1911 wurde ich mit den mir bisher unbekanntem paläontologischen Ergebnissen über die frühere Landverbindung zwischen Brasilien und Afrika durch ein Sammelreferat bekannt, das mir durch Zufall in die Hände fiel. Dies veranlaßte mich, eine zunächst flüchtige Durchmusterung der für die Frage in Betracht kommenden Forschungsergebnisse auf geologischem und paläontologischem Gebiet vorzunehmen, wobei sich sogleich so wichtige Bestätigungen ergaben, daß die Überzeugung von der grundsätzlichen Richtigkeit bei mir Wurzel schlug. Am 6. Januar 1912 trat ich zum erstenmal mit der Idee in einem Vortrag in der

Fig. 1.

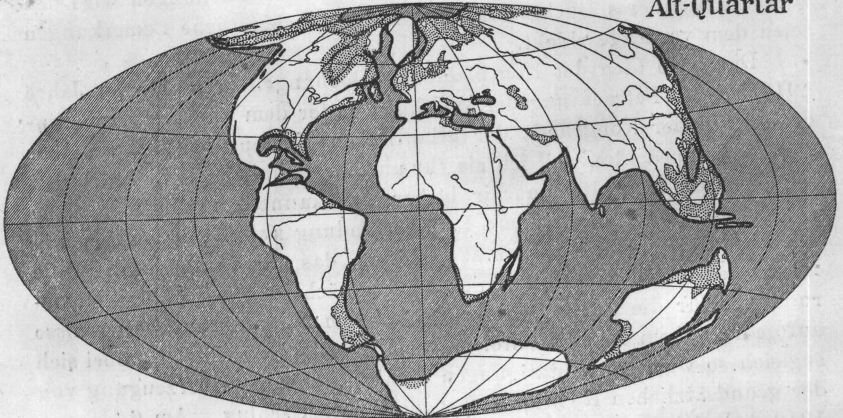
Jung-Karbon



Eozän



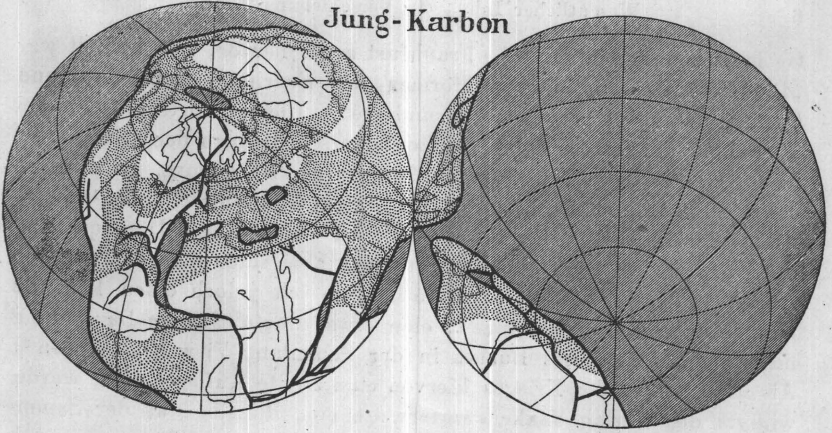
Alt-Quartär



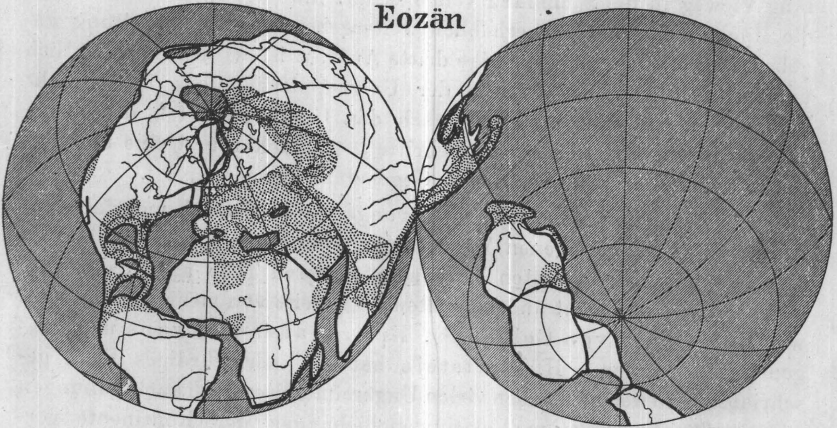
Rekonstruktionen der Erdkarte nach der Verschiebungstheorie für drei Zeiten.  
Schraffiert: Tiefsee; punktiert: Flachsee; heutige Konturen und Flüsse nur zum Erkennen.  
Gradnetz willkürlich (das heutige von Afrika).

Fig. 2.

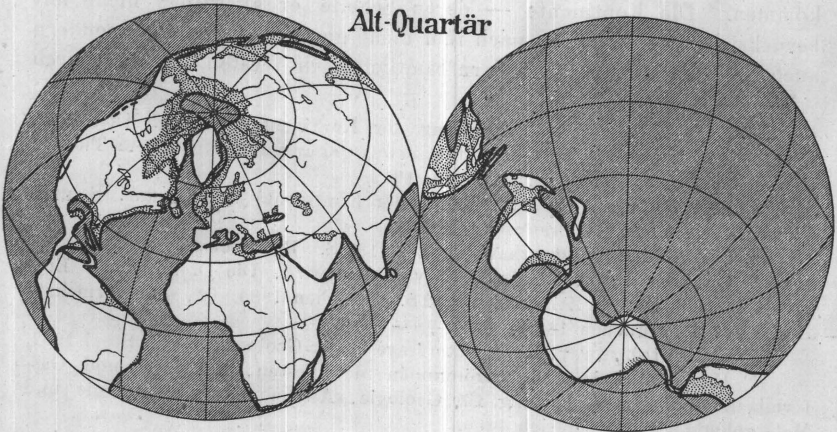
Jung-Karbon



Eozän



Alt-Quartär



Dieselben Rekonstruktionen wie in Fig. 1, in anderer Projektion.

Geologischen Vereinigung in Frankfurt a. M. hervor, der betitelt war „Die Herausbildung der Großformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage“. Diesem Vortrag folgte am 10. Januar ein zweiter über „Horizontalverschiebungen der Kontinente“ in der Ges. z. Beförd. d. gesamten Naturwiss. zu Marburg. Im gleichen Jahre 1912 folgten auch die beiden ersten Veröffentlichungen<sup>1)</sup>. Zunächst verhinderte mich die Teilnahme an der Grönland-Durchquerung unter J. P. Koch 1912/13 und später der Kriegsdienst an der weiteren Ausarbeitung der Theorie. 1915 konnte ich jedoch einen längeren Krankenurlaub dazu benutzen, eine etwas ausführlichere Darstellung unter dem Titel dieses Buches in der Sammlung Vieweg zu geben<sup>2)</sup>. Als nach Schluß des Krieges hiervon eine zweite Auflage nötig wurde, willigte der Verlag dankenswerterweise ein, dieselbe aus der Sammlung Vieweg in die Sammlung Wissenschaft hinüberzunehmen, wodurch die Möglichkeit zu einer erheblich weitergehenden Durcharbeitung gegeben war<sup>3)</sup>. Die gegenwärtige dritte Auflage ist wiederum wesentlich umgearbeitet, da der Prozeß der Umgruppierung des in Betracht kommenden Tatsachenmaterials nach den Gesichtspunkten der neuen Theorie inzwischen weitere Fortschritte gemacht hat und eine umfangreiche neue Literatur über diesen Gegenstand erschienen ist.

Bei der genannten Durchmusterungsarbeit stieß ich mehrfach auf Anklänge an meine eigenen Vorstellungen bei älteren Autoren. So ist eine Drehung der gesamten Erdkruste — deren Teile aber dabei ihre gegenseitige Lage nicht ändern sollten — bereits von mehreren Autoren, wie Löffelholz von Colberg<sup>4)</sup>, Kreichgauer<sup>5)</sup>, Evans u. a. angenommen worden. H. Wettstein hat ein merkwürdiges Buch geschrieben<sup>6)</sup>, in welchem neben vielen Ungereimtheiten doch auch Ahnungen von großen horizontalen Relativverschiebungen der Kontinente vorkommen. Die Kontinente — deren Schelfe er allerdings nicht mit berücksichtigt — erleiden nach ihm nicht nur Verschiebungen, sondern auch Deformationen; sie wandern sämtlich nach Westen, gezogen durch

---

1) A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente. Peterm. Mitt. 1912, S. 185—195, 253—256, 305—309, und etwas gekürzt unter gleichem Titel in Geol. Rundsch. 3, Heft 4, S. 276—292, 1912.

2) A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Samml. Vieweg, Nr. 23. 94 S. Braunschweig 1915.

3) 2. Aufl. Die Wissenschaft, Nr. 66. 135 S. Braunschweig 1920.

4) Carl Freiherr Löffelholz von Colberg, Die Drehung der Erdkruste in geologischen Zeiträumen. 62 S. München 1886. (2., sehr vermehrte Aufl. 247 S. München 1895.)

5) D. Kreichgauer, Die Äquatorfrage in der Geologie. 394 S. Steyl 1902.

6) H. Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie. 406 S. Zürich 1880.

die Flutkräfte der Sonne im zähflüssigen Erdkörper (was auch E. H. L. Schwarz in Geol. Journ. 1912, S. 294—299 annimmt). Aber die Ozeane sind auch bei ihm versunkene Kontinente, und über die sogenannten geographischen Homologien und andere Probleme des Erdantlitzes äußert er phantastische Vorstellungen, die wir übergehen. Ebenso wie der Verfasser ist auch Pickering von der Kongruenz der südatlantischen Küsten ausgegangen in einer Arbeit<sup>1)</sup>, in der er die Vermutung ausspricht, Amerika sei von Europa-Afrika abgerissen und um die Breite des Atlantik fortgezogen worden. Er hat aber nicht beachtet, daß man in der geologischen Geschichte dieser beiden Kontinente tatsächlich einen früheren Zusammenhang bis zur Kreidezeit anzunehmen genötigt ist, und so verlegte er diesen Zusammenhang in eine graue Vorzeit und dachte sich das Abreißen verbunden mit der von G. H. Darwin angenommenen einstmaligen Abschleuderung der Mondmasse von der Erde<sup>2)</sup>, deren Spur er noch im pazifischen Becken zu sehen meinte. In anderer Weise nähert sich F. B. Taylor dem Vorstellungskreise der Verschiebungstheorie. In einer erst 1910 erschienenen Arbeit<sup>3)</sup> nimmt er für die Tertiärzeit nicht unbedeutende horizontale Verschiebungen einzelner Kontinente an, die er dann mit den großen tertiären Falten-systemen in Zusammenhang bringt. Für die Lostrennung Grönlands von Nordamerika kommt er z. B. zu praktisch den gleichen Vorstellungen wie die Verschiebungstheorie. Beim Atlantik nimmt er allerdings an, daß nur ein Teil seiner Breite durch Fortziehen der amerikanischen Schollen entstanden 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, ähnlich wie Kreichgauer, während die Verschiebung von Kontinenten nur eine untergeordnete Rolle spielt und auch nur sehr kurz begründet wird.

Wie schon erwähnt, lernte ich alle diese Arbeiten erst zu einer Zeit kennen, zu der die Verschiebungstheorie in ihren Hauptzügen bei mir bereits ausgearbeitet war, einige sogar noch wesentlich später. Es ist wohl nicht ausgeschlossen, daß im Laufe der Zeit noch weitere Arbeiten entdeckt werden, die Anklänge an die Verschiebungstheorie enthalten oder diesen oder jenen Punkt vorwegnehmen. Eine historische Untersuchung hierüber ist noch nicht angestellt und im gegenwärtigen Buche nicht beabsichtigt.

---

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

<sup>2)</sup> Diese bei manchen Geologen beliebte Annahme Darwins ist reine Hypothese und wird von Schwarzschild, Liapunow, Rudzki, See u. a. für unrichtig gehalten. Meine eigenen Ansichten über die Entstehung des Mondes, welche ganz andere Wege gehen, findet man in A. Wegener, Die Entstehung der Mondkrater, Samml. Vieweg, Nr. 55. 48 S. Braunschweig 1921.

<sup>3)</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.



## 2. Kapitel. Verhältnis zur Kontraktionstheorie, Landbrückenlehre und Permanenzlehre.

Noch immer hat sich die Geologie nicht ganz frei gemacht von der Vorstellung einer Schrumpfung der Erde. Diese Kontraktionstheorie wurde namentlich von Dana, Albert Heim und Eduard Suess vertreten, beherrscht aber noch bis in die Gegenwart die Grundvorstellungen in den geologischen Lehrbüchern, z. B. von E. Kayser<sup>1)</sup> und Kober<sup>2)</sup>. 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 prägte den kürzesten Ausdruck: „Der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir bewohnen“<sup>3)</sup>. Man kann dieser Theorie das historische Verdienst nicht absprechen, lange Zeit hindurch eine ausreichende Zusammenfassung unseres geologischen Wissens gebildet zu haben. Und wegen dieser langen Zeit ist die Kontraktionstheorie auf eine große Menge von Einzelergebnissen der Forschung mit solcher Folgerichtigkeit angewendet worden, daß sie noch heute in ihrer großzügigen Einfachheit des Grundgedankens und der Vielgliedrigkeit seiner Anwendungen etwas Bestechendes hat. Indessen kann doch gar kein Zweifel darüber herrschen, daß die Kontraktionstheorie im Widerspruch mit allen neueren Ergebnissen der Geophysik steht, und daß auch die geologische Forschung sich in neuerer Zeit immer entschiedener von ihr abwendet.

Namentlich war es die Entdeckung des schuppenartigen „Deckfaltenbaues“ oder der Überschiebungen in den Alpen, welche die ohnehin schwierige Erklärung der Gebirge durch eine Schrumpfung der Erde immer unzulänglicher erscheinen ließ. Diese durch die Arbeiten von Bertrand, Schardt, Lugeon u. a. eingeführte neue Auffassung vom Bau der Alpen und zahlreicher anderer Gebirge führt zu weit größeren Beträgen des Zusammenschubs als die früheren Vorstellungen. Während Heim nach den letzteren noch für die Alpen eine Verkürzung auf  $\frac{1}{2}$  berechnete, findet er unter Zugrundelegung des heute allgemein anerkannten Deckfaltenbaus eine Verkürzung auf  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{8}$ <sup>4)</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. E. Kayser be-

<sup>1)</sup> E. Kayser, Lehrb. d. allg. Geologie, 5. Aufl. Stuttgart 1918.

<sup>2)</sup> L. Kober, Der Bau der Erde. 324 S. Berlin 1921.

<sup>3)</sup> E. Suess, Das Antlitz der Erde I, 778, 1885.

<sup>4)</sup> A. Heim, Bau der Schweizer Alpen. Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. Zürich 1908, 110. Stück, S. 24.

merkt 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 (0,000 013), Eisen (0,000 012), Kalkspat (0,000 015) und Quarz (0,000 010) zugrunde [0,000 012 5], so kommt man, allein um die tertiäre Faltung zu erklären, auf einen Temperaturverlust der Erde von etwa 2400° C. Und für die älteren Zeiten, in denen die Faltung viel universeller wirksam war, käme man zu noch viel höheren Werten. Dies steht aber im Widerspruch mit den Ergebnissen der theoretischen Physik; denn aus dem heutigen, äußerst schwachen Wärmestrom, der aus dem Erdinnern zur Oberfläche fließt, läßt sich nach Lord Kelvin berechnen, daß von einer so viel höheren Temperatur des Erdkörpers in geologischen Zeiten nicht die Rede sein kann. Rudzki<sup>1)</sup> hat freilich darauf aufmerksam gemacht, daß bei Lord Kelvins Rechnungen die Kontraktionsarbeit der Massenanziehung nicht berücksichtigt ist, die zur Folge haben müßte, daß bei Wärmeabgabe die Temperatur beinahe unverändert bleibt und fast nur eine Kontraktion eintritt, allein er fügt auch sogleich die Vermutung hinzu, daß die oben angeführten Ausdehnungskoeffizienten wahrscheinlich unter dem hohen Druck im Erdinnern wesentlich kleiner sein könnten, wodurch Lord Kelvins Rechnung wieder richtig würde. Mag man hiernach immerhin zugeben, daß die theoretische Geophysik von dieser Seite her noch nicht zu einer bündigen Entscheidung gelangen kann, so scheint die Radiumforschung um so unzweideutigere Resultate zu liefern. Durch den selbsttätigen Zerfall des Radiums entstehen große Wärmemengen, und dies Element ist nach Jolys Messungen in allen Gesteinen in immerhin so großen Spuren vorhanden, daß dadurch der ständige Wärmeverlust, den wir durch Messung der Temperaturzunahme mit der Tiefe in Bergwerken kontrollieren können, mehr als aufgewogen würde, wenn derselbe Radiumgehalt bis zum Erdmittelpunkt vorhanden wäre<sup>2)</sup>. Ob wir deshalb, wie Strutt meint, annehmen müssen, daß Radium nur in der obersten Erdkruste vorkommt, ist noch ungewiß, aber man sieht jedenfalls, daß von einer nennenswerten Kontraktion der Erde durch Wärmeabgabe nicht gut die Rede sein kann, wir wissen vielmehr einstweilen keinen Ausweg vor dem Schluß, daß der Wärmegehalt der Erde im Steigen begriffen ist.

Aber selbst wenn nun trotzdem eine solche Kontraktion stattfände, so wären wir zu der fatalen Annahme gezwungen, die z. B. von Heim

---

<sup>1)</sup> Rudzki, Physik der Erde, S. 118 ff. Leipzig 1911.

<sup>2)</sup> Derselbe, ebenda S. 122. Leipzig 1911; v. Wolff, Der Vulkanismus 1, 8. Stuttgart 1913.

auch ausgesprochen ist, daß die Schrumpfung eines ganzen größten Kreises an einer einzigen Stelle desselben zum Austrag kommt. Dies bedeutet die ganz unmögliche Annahme einer Druckübertragung innerhalb der Erdrinde über eine Strecke von 180 Großkreisgraden. Zahlreiche Autoren, wie Ampferer <sup>1)</sup>, Reyer <sup>2)</sup>, Rudzki <sup>3)</sup>, Andréé <sup>4)</sup> u. a. haben mit Recht hiergegen Stellung genommen und gefordert, es müßte die ganze Erdoberfläche gleichmäßig von der Runzelung betroffen werden, was ja auch der trocknende Apfel zeigt. In jüngster Zeit hat namentlich Koßmat zu wiederholten Malen betont, „daß eine Erklärung der Gebirgsbildung mit großartigen tangentialen Rindenbewegungen rechnen muß, die sich nicht in den Vorstellungskreis der einfachen Kontraktionstheorie einfügen lassen“ <sup>5)</sup>. So häufen sich Bedenken auf Bedenken, so daß der Standpunkt der Geologie schon seit längerem dahin zusammengefaßt wird, 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>6)</sup>.

Nach meiner Empfindung ist es aber hauptsächlich ein anderes Problem, bei welchem die Kontraktionstheorie ihren völligen Bankerott zu erklären genötigt ist, nämlich das Problem der Tiefseebecken und Kontinentalschollen. Schon 1878 warf A. Heim einen Seitenblick auf dieses Problem mit der Feststellung, „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 Zusammenhanges von Gebirgen und Kontinenten und der Form der letzteren untereinander zu erwarten sein wird“ <sup>7)</sup>. Das Problem meldete sich aber immer dringender, je zahlreicher die Lotungen auf den Weltmeeren wurden und je schärfer hierdurch der Gegensatz zwischen den weiten, ebenen Tiefseeflächen und den gleichfalls ebenen, etwa 5 km höher liegenden Kontinentalflächen herausgearbeitet wurde. 1918 schreibt E. Kayser <sup>8)</sup>: „Gegenüber dem Rauminhalt dieser Steinkolosse (der

<sup>1)</sup> Ampferer, Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt 56, 539—622. Wien 1906.

<sup>2)</sup> Reyer, Geologische Prinzipienfragen, S. 140 f. Leipzig 1907.

<sup>3)</sup> Rudzki, a. a. O., S. 122.

<sup>4)</sup> Andréé, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.

<sup>5)</sup> F. Koßmat, Erörterungen zu A. Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebungen. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin 1921, S. 103.

<sup>6)</sup> E. Böse, Die Erdbeben (Sammlung „Die Natur“, o. J.), S. 16; vgl. auch die Kritik bei Andréé, a. a. O.

<sup>7)</sup> A. Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, 2. Teil, S. 237. Basel 1878.

<sup>8)</sup> E. Kayser, Lehrb. d. allgem. Geologie, 5. Aufl., S. 132. Stuttgart 1918.

Kontinentalblöcke) erscheinen alle festländischen Erhebungen unbedeutend und geringfügig. Selbst Hochgebirge (wie der Himalaja) 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 sollen, heute unhaltbar erscheinen ... Wir müssen vielmehr umgekehrt annehmen, daß die Kontinente das Ältere und Bestimmende, die Gebirge aber nur nebensächliche jüngere Gebilde darstellen.“ Wie sind aber diese „Steinkolosse“ nach der Kontraktionstheorie zu erklären? Es heißt, einzelne Teile der Erdrinde seien bei dem allgemeinen Absinken zurückgeblieben und unter Wirkung des Gewölbedruckes als Stufen oder Horste stehen geblieben. Aber hiervon kann doch bei den ungeheuren, hier in Betracht kommenden Flächen nicht die Rede sein. Diese ganze Vorstellung von einem ständig und überall wirkenden Gewölbedruck, schon theoretisch von Hergesell<sup>1)</sup> für die oberste Rindenschicht widerlegt, steht im krassen Widerspruch mit der in neuerer Zeit immer mehr ausgebauten und bestätigten Lehre von der Isostasie oder dem Schwimmen der Erdrinde auf plastischer Unterlage. Die Kontraktionstheorie mit ihrer auf Lyell zurückgehenden Vorstellung von einem schrankenlosen Wechsel zwischen dem Auftauchen von Tiefseeböden über Wasser und dem Versinken von Kontinenten bis zum Tiefseeboden steht aber weiterhin auch im Widerspruch mit der Lehre von der Permanenz der Ozeane und Kontinente, welche wir zwar, wie noch gezeigt werden wird, nicht vollständig anerkennen können, deren gegen die Kontraktionstheorie gerichtete Argumente aber völlig zu Recht bestehen: Vom Standpunkt der überall bestätigten Isostasie aus erscheint es physikalisch unmöglich, daß ein ganzer Kontinent sich um einen so großen Betrag wie 5 km senkt, und andererseits zeigen die marinen Ablagerungen auf den heutigen Kontinenten, daß diese — mit verschwindenden Ausnahmen — niemals Tiefseegebiete waren, sondern immer nur von flachen Schelfmeeren bedeckt waren. So versagt die Kontraktionstheorie am augenfälligsten gerade bei den größten Zügen des Erdantlitzes.

Die Theorie der Kontinentalverschiebungen vermeidet alle diese Schwierigkeiten. Sie gestattet die Annahme der geforderten großen horizontalen Zusammenschübe in den Faltengebirgen, ja sie macht diese Annahme überhaupt erst möglich. Denn wenn die Erde sich nicht in demselben Maße verkleinerte, wie ihre Rinde sich zusammenschob, so muß jedem Zusammenschub der letzteren ein Aufreißen an anderer Stelle entsprechen, und wir kommen so mit Notwendigkeit zu der Vorstellung, daß die äußerste Gesteinshaut nicht mehr die ganze Erde umkleidet.

---

<sup>1)</sup> H. Hergesell, Die Abkühlung der Erde und die gebirgsbildenden Kräfte. Beitr. z. Geophysik 2, 153, 1895.

Und die Kontinentalmassive mit ihrem Gegensatz zu den weiten Tiefseeflächen lassen sich wohl überhaupt nicht auf andere Weise erklären. Die Theorie der Kontinentalverschiebungen tritt also an die Stelle der Kontraktionstheorie, welche vollständig aufgegeben werden muß.

Es bedarf aber weiter auch einer Auseinandersetzung mit der Lehre von versunkenen Brückenkontinenten und der dieser entgegenstehenden, schon erwähnten Lehre von der Permanenz der Ozeane. Die Stellung der Verschiebungstheorie zu diesen Lehren ist eine andere als zur Kontraktionstheorie. Um das Ergebnis vorweg zu nehmen: Die Argumente, welche von diesen beiden Lehren im Kampfe gegeneinander angeführt werden, sind durchaus zutreffend, und damit auch ihre gegenseitige Widerlegung. Jede basiert nur auf einem Teil des zur Beurteilung nötigen Tatsachenmaterials und gerät in Widersprüche, sobald der andere Teil herangezogen wird. Die Verschiebungstheorie wird dem gesamten Material gerecht und stellt somit eine Versöhnung dieser feindlichen Lehren dar, welche alle berechtigten Forderungen beider Parteien befriedigt. Um dies auszuführen, müssen wir etwas weiter ausholen.

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. 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, wenn auch einzelne noch immer „den Wald vor Bäumen nicht sehen“ wollen<sup>1)</sup>. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf die im 5. Kapitel gegebene Übersicht über

---

<sup>1)</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 Süderteile 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 dürfen, in denen ein fossiler Nachweis im Norden noch nicht stattgefunden hat. Wenn er so alle Verbreitungseigentümlichkeiten ausschließlic durch Wanderungen zwischen den Nordkontinenten und ihren mediterranen Brücken erklären will, so steht diese Annahme durchaus auf ganz unsicherem Boden.“ (Arlt, Südatlantische Beziehungen, Peterm. Mitt. 62, 41—46, 1916.) Daß sich die Verwandtschaften der Südkontinente einfacher und vollständiger durch unmittelbare Landzusammenhänge erklären lassen, als durch parallele Abwanderung vom gemeinsamen Nordgebiet, bedarf wohl keiner Erläuterung, wenn auch in einzelnen Fällen der Vorgang sich so abgespielt haben kann, wie Pfeffer annimmt.

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 in der Kreide erlosch, eine dritte, die „lemurische“ Brücke zwischen Madagaskar und Vorderindien, die mit Beginn des Tertiärs abbrach, und endlich eine „gondwanische“ Brücke von Afrika über Madagaskar und Vorderindien nach Australien, die im älteren Jura abbrach. Auch zwischen Südamerika und Australien muß früher zweifellos eine bequeme Landverbindung geherrscht haben, aber die Ansicht, daß diese durch einen Brückenkontinent im südlichen Pazifik gebildet worden sei, wird nur von ganz wenigen Fachleuten vertreten. Die meisten nehmen an, daß diese Verbindung über Antarktika ging, da dies auf der kürzesten Verbindung zwischen den beiden Kontinenten liegt und außerdem die Verwandtschaft sich nur auf solche Elemente beschränkt, welche Kälte vertragen.

Daneben ist natürlich eine große Anzahl von Brücken anzunehmen, die heute durch Schelfmeere ersetzt sind. Die Anhänger der Lehre von den Brückenkontinenten haben bisher gar keinen Unterschied gemacht zwischen Brücken über Tiefsee und Brücken über Schelfen. Es sei besonders betont, daß die Verschiebungstheorie nur mit der Frage der Landverbindung über heutige Tiefseeflächen zu tun hat, für die sie neue Anschauungen entwickelt, während für die Schelfbrücken, wie die Beringstraße zwischen Nordamerika und Sibirien, die bisherigen Anschauungen vom Versinken und Wiederauftauchen des trockenen Landes durchaus unangetastet bleiben <sup>1)</sup>.

Die Anhänger der Lehre von versunkenen Brückenkontinenten haben also ein sehr starkes Argument für sich: die frühere Existenz von breiten Landverbindungen zwischen heute weit getrennten Kontinenten kann wegen der Gleichartigkeit der fossilen Fauna und Flora und der Verwandtschaft der heutigen kaum in Zweifel gezogen werden. Daß diese Landbrücken durch Kontinente gebildet waren, die später in die Tiefe sanken und heute den Boden der Tiefsee bilden, nahm man, auf dem Boden der Kontraktionstheorie stehend, ohne weitere Prüfung als selbstverständlich an, da man die Möglichkeit der

---

<sup>1)</sup> Unter den zahlreichen Mißverständnissen, auf denen sich Dieners Ablehnung unserer Vorstellungen stützt (Die Großformen der Erdoberfläche, Mitt. 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 Merkator-karte nahegelegte Einwand schwindet, wenn man den Globus zur Hand nimmt; es handelt sich im wesentlichen um eine Drehung Nordamerikas etwa um Alaska.

anderen Lösung durch horizontale Verschiebungen der Kontinente gar nicht in Betracht zog. Wie v. Ubisch hervorhebt, wird die Verschiebungstheorie diesen Forderungen ebensogut gerecht wie die bisherige Annahme versunkener Zwischenkontinente, ja sogar noch besser, weil bei der heutigen großen Entfernung dieser Kontinente voneinander die nahe Verwandtschaft ihrer Fauna und Flora auch dann noch rätselhaft erscheint, wenn früher ein Formenaustausch über einen Zwischenkontinent möglich war <sup>1)</sup>.

Die Argumentation der Gegenlehre von der Permanenz der Ozeane und Kontinente geht nicht von biologischen, sondern von geophysikalischen Tatsachen aus und richtet sich bezeichnenderweise nicht gegen die frühere Existenz von Landverbindungen an sich, sondern nur gegen die der Zwischenkontinente. Das erste Argument besteht in der schon oben gestreiften Tatsache, daß auf den Kontinenten keine Tiefseeablagerungen in irgendwie beträchtlicher Ausdehnung vorkommen, so daß die Kontinentalschollen als solche unzweifelhaft „permanent“ sind. Früher für Tiefseeablagerungen gehaltene Sedimente haben sich durch neuere Forschungen als Flachsee-Sedimente 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 <sup>2)</sup>. Die Deutung dieser Funde ist zwar noch umstritten, und manche meinen schon mit Tiefen von 1 bis 2 km auszukommen, was noch immer zur Kontinentalstufe zu rechnen wäre. Aber selbst wenn wir Koßmat und Andréé folgen, die z. B. für die alpinen Radiolarite Tiefen von 4 bis 5 km annehmen wollen, so ist doch die räumliche Erstreckung solcher Tiefseeablagerungen, verglichen mit der Ausdehnung der Kontinente, so verschwindend, daß der Satz von der grundsätzlichen Permanenz der Kontinentalschollen dadurch nicht beeinträchtigt werden kann. Die heutigen Kontinentalschollen haben also, mit geringfügigen Ausnahmen, niemals in der Erdgeschichte den Boden der Tiefsee gebildet, sondern waren stets wie heute Kontinentalschollen, und Lyells Vorstellung von einem wiederholten Absinken und Auftauchen ist also dahin einzuschränken, daß es sich nur um wechselnde seichte Überflutungen von permanenten Kontinentalschollen handelt.

Hierdurch entsteht aber für die Konstruktion von Brückenkontinenten im Bereich der heutigen Tiefsee eine große Verlegenheit.

---

<sup>1)</sup> L. v. Ubisch, Wegeners Kontinental-Verschiebungstheorie und die Tiergeographie. Verh. d. Physikal.-Med. Ges. z. Würzburg 1921, S. 1—13.

<sup>2)</sup> Eine ausführliche Diskussion dieser etwaigen Tiefseeablagerungen findet man in Dacqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 215. Jena 1915.

Denn wenn deren Erhebung nicht durch anderweitige gleichwertige Senkungen kompensiert wird, so enthalten die übrig bleibenden, sehr verkleinerten Tiefseebecken bei weitem nicht Raum genug für die Wassermenge der Ozeane. Durch Hochziehen jener früheren Brückenkontinente würde der Wasserspiegel der Ozeane um so viel steigen, daß alle Kontinente, alte wie neue, mit Ausnahme hoher Gebirge, vollständig überflutet würden. Mit anderen Worten: die Annahme von Brückenkontinenten führt überhaupt nicht zu dem gewünschten Ziel, welches in einer Landverbindung zwischen ausgedehnten Festländern besteht. Um diese von Willis und Penck betonte Schwierigkeit zu vermeiden, müßten wir die sonst durch nichts zu begründende und darum unwahrscheinliche Annahme machen, daß die gesamte Wassermenge der Erde sich gerade in gleichem Tempo vermehrt habe, wie die Brückenkontinente abgesunken sind. Diese Hypothese ist aber ernstlich noch von niemand vertreten worden. Unter der viel wahrscheinlicheren Annahme, daß die Wassermenge im wesentlichen unverändert geblieben ist, nötigt die Tatsache, daß zu allen geologischen Zeiten bedeutende Teile der Kontinentalschollen trocken lagen, zu dem Schluß, daß auch das Gesamtareal der Tiefsee im wesentlichen konstant geblieben ist. Dies bedeutete aber bei der bisher als selbstverständlich betrachteten unveränderten Lage der Kontinente, daß auch die einzelnen Ozeanbecken permanente Züge des Erdantlitzes seien.

Weiter fußen die Anhänger der Permanenzlehre auf der geophysikalischen Tatsache der Isostasie oder des Tauchgleichgewichts der Erdrinde. Hiernach schwimmt die relativ leichte oberste Gesteinsrinde der Erde auf einer etwas schwereren magmatischen Unterlage. Wie ein Stück Holz bei Belastung tiefer in das Wasser eintaucht, so taucht auch diese oberste Gesteinsrinde an der Stelle, wo sie z. B. mit einer Inlandeiskappe belastet wird, nach dem archimedischen Gesetz tiefer in das schwere Magma der Unterlage ein, um nach dem Abschmelzen des Eises die während der Depression gebildeten Strandlinien mit emporzuheben. So zeigen die aus den Strandlinien abgeleiteten Isobasenkarten de Geers für die letzte Vereisung Skandinaviens eine Depression des zentralen Teiles um mindestens 250 m, die nach außen allmählich geringer wird<sup>1)</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>2)</sup>. Da das

1) G. de Geer, Om Skandinaviens geografiska Utveckling efter Istiden. Stockholm 1896.

2) Rudzki, Physik der Erde, S. 229. Leipzig 1911.



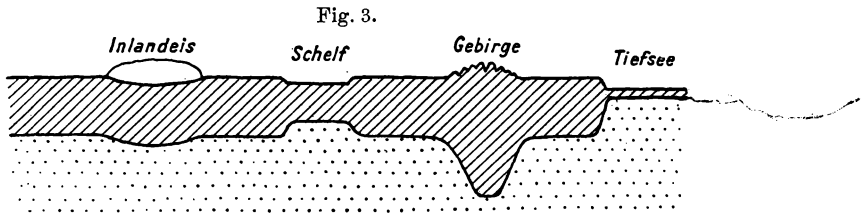
Magma der Unterlage nicht leichtflüssig wie Wasser, sondern äußerst zähflüssig ist, so hinken alle solche isostatischen Ausgleichsbewegungen stark nach; die Strandlinien haben sich meist erst nach Abschmelzen des Eises, aber vor der Hebung gebildet, und auch heute steigt Skandinavien, wie die Nivellements zeigen, noch um etwa 1 m in 100 Jahren. 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. 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 Schwermessungen. Schon 1855 hatte Pratt festgestellt, daß der Himalaja nicht die erwartete Anziehung auf das Lot ausübt<sup>1)</sup>, und dem entsprach die später überall bestätigte Tatsache, daß die Schwerkraft bei großen Gebirgen nicht in dem zu erwartenden Maße 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, und wie es jüngst von Koßmat in einem sehr lichtvollen Referat ausgeführt worden ist<sup>2)</sup>. Auch auf den Ozeanen hat sich gezeigt, daß die Schwerkraft ungefähr ihren Normalwert besitzt, trotz des sichtbaren Massendefektes, den die großen Ozeanbecken darstellen. Die früheren Messungen auf Inseln ließen zwar noch verschiedenartige Deutungen zu; nachdem es aber Hecker gelungen war, die Schwere an Bord statt mit dem hier nicht verwendbaren Pendel nach einem Vorschlage von Mohn durch gleichzeitige Ablesungen am Quecksilberbarometer und am Siedethermometer zu bestimmen, konnte er diese Messungen auf mehreren Fahrten auf dem Atlantischen, Indischen und Pazifischen Ozean ausführen und so eindeutige Resultate erhalten. Der sichtbare Massendefekt der Ozeanmulde muß also — umgekehrt wie beim Gebirge — durch einen unterirdischen Massenüberschuß kompensiert werden. Über die Art, wie man sich diese unterirdischen Massenüberschüsse und Defizite zu denken hat, sind im Laufe der Zeit verschiedene Vermutungen angestellt. Pratt dachte sich die Erdrinde etwa wie eine Teigmasse, die ursprünglich überall gleich dick, in den Kontinenten emporgewachsen und in den

<sup>1)</sup> In Kaliana in der Gangesebene, 56 engl. Meilen vom Gebirgsfuß entfernt, beträgt die Nordkomponente der Lotablenkung nur 1'', während die Anziehung des Gebirges eine solche von 58'' verursachen sollte. Ähnlich zeigt Jalpaiguri 1'' statt 77'' (nach Koßmat).

<sup>2)</sup> F. Koßmat, Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde. Geol. Rundsch. **12**, 165—189, 1921.

ozeanischen Gebieten zusammengepreßt ist. Diese Vorstellung wurde von Helmert und Hayford weiter ausgebaut und allgemein zur Beurteilung der Schwerkraftsbeobachtungen verwendet. Neuerdings aber ist eine andere, schon 1859 von Airy ausgesprochene Vorstellung namentlich durch Schweydar<sup>1)</sup> herrschend geworden, nach welcher die Kontinente als leichtere Schollen auf dem schwereren Tiefenmaterial schwimmen. Heim war wohl der erste, der annahm, daß diese leichtere Rinde unter den Gebirgen verdickt ist und das schwere Magma hier in größere Tiefen drängt (vgl. Fig. 3). Umgekehrt mußte diese Rinde unter den Ozeanen besonders dünn sein (nach der Verschiebungstheorie: ganz fehlen). 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 dieses Gesetz seine Gültigkeit. Solche kleineren Teile



Schnitt durch die Lithosphäre nach der Isostasielehre.

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 und Stein als Ganzem und dem Wasser. So zeigen die Schwermessungen 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.

Diese Lehre von der Isostasie, dem Schwimmen der Erdrinde, ist in einem solchen Umfange durch die Beobachtungen, vor allem der Schwere, bestätigt worden, daß sie heute zum festen Bestande der geophysikalischen Wissenschaft gehört.

Damit ist aber gesagt, daß ein Tiefseegebiet sich nicht als Ganzes über den Meeresspiegel erheben oder ein Kontinent (unbelastet) bis zum

<sup>1)</sup> W. Schweydar, Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1921, S. 120—125.

Tiefseeebene absinken kann. Kleine Niveauänderungen, vielleicht bis mehrere hundert Meter, die zum Auftauchen oder Wiederversinken eines Schelfgebiets führen können, sind zwar ohne weiteres möglich, z. B. bei Polwanderungen infolge des Nachhinkens der Erde bei der Einstellung auf das neue Rotationsellipsoid. Aber es ist ein Irrtum zu glauben, daß zwischen solchen Niveauänderungen und dem Absinken eines Kontinents bis zum Tiefseeboden nur ein gradueller Unterschied herrsche. Denn in letzterem Falle würde es sich um das Hinüberwechseln von dem oberen Häufigkeitsmaximum der Erdrinde zum unteren handeln, und wir würden eine physikalische Ursache für die Bevorzugung dieses Tiefseeebene und das Fehlen der mittleren Schichten benötigen, welche sich nicht aufweisen läßt. Die Anhänger der Permanenzlehre verfügen also über gute Argumente gegen die Lehre von versunkenen Brückenkontinenten.

Aber da sie wie jene von der selbstverständlichen Voraussetzung ausgehen, daß die Kontinente stets da gelegen haben, wo sie heute liegen, gelangen auch sie von ihren richtigen Argumenten zu falschen Schlüssen, wenn sie erklären: „Die großen Tiefseebecken bilden permanente Erscheinungen der Erdoberfläche und haben mit geringen Änderungen ihrer Umrisse schon seit der ersten Sammlung des Wassers an derselben Stelle gelegen, an der sie jetzt liegen“ [Willis]<sup>1)</sup>. Von diesem Satze können wir jetzt, wo wir horizontale Triftbewegungen der Kontinente in Betracht ziehen, nur so viel aufrecht erhalten, daß die Gesamtareale der Kontinentalschollen und des Tiefseebodens — bis auf die im Laufe der Zeit erfolgenden Zusammenschübe der ersteren — angenähert konstant bleiben. Dies ist aber auch alles, was die angeführten Argumente in Wirklichkeit besagen.

Während wir also die Kontraktionstheorie ganz ablehnen mußten, brauchten wir die Lehre von den Landbrücken und die Lehre von der Permanenz nur auf denjenigen Inhalt zurückzuschrauben, der ihren Argumenten in Wirklichkeit entspricht, um diese beiden scheinbar so gegensätzlichen Lehren vermittelt der Verschiebungstheorie zur Versöhnung zu bringen. Es heißt jetzt: Landbrücken, aber nicht durch später versinkende Brückenkontinente, sondern durch unmittelbare Be-

<sup>1)</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. d. D. Geol. Ges. 68, 200—239, 1916), versuchen einen Mittelweg zu finden, indem sie die Brückenkontinente möglichst zu schmalen Brücken am Rande der Ozeanbecken zusammenschumpfen lassen. Aber dieser Kompromiß erscheint wenig glücklich, da einerseits die Erklärung der Verwandtschaften erschwert und andererseits auch die physikalischen Forderungen nur ungenügend erfüllt werden.

rührung. Permanenz nicht der einzelnen Ozeane oder Kontinente als solche, sondern des Tiefseearcals und des kontinentalen Arcals im ganzen.

In den folgenden Kapiteln werden nun die Hauptgründe, welche für die Richtigkeit der Verschiebungstheorie sprechen, eingehender behandelt werden.

## II. Beweisführung.

### 3. Kapitel. Geophysikalische Argumente.

Die Statistik der Höhenstufen der Erdrinde führt zu dem merkwürdigen Ergebnis, daß es zwei Höhen gibt, die am häufigsten vorkommen, während die dazwischen liegenden Stufen recht selten sind. Die höhere Stufe entspricht den Kontinentaltafeln, die tiefere den Tiefseeböden. Denkt man sich die ganze Erdoberfläche in Quadratkilometer eingeteilt und ordnet diese in einer Reihe nach ihrer Seehöhe, so erhält man das bekannte Bild der sogenannten hypsometrischen Kurve der Erdoberfläche (Fig. 4), welches deutlich zwei Treppenstufen zeigt. Zahlenmäßig stellt sich die Häufigkeit der verschiedenen Stufen nach den neuesten Berechnungen von H. Wagner<sup>1)</sup> folgendermaßen:

Tiefe							Höhe				
unter	6	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2	0-1	0-1	1-2	2-3	über 3 km
	1,0	16,5	23,3	13,9	4,7	2,9	8,5	21,3	4,7	2,0	1,2 Proz.

Diese Reihe wird am besten veranschaulicht durch eine andere Darstellung, die von Trabert<sup>2)</sup> auf Grund etwas älterer, aber nur unwesentlich abweichender Zahlen entworfen und in Fig. 5 wiedergegeben ist. Sie bezieht sich auf 100 m-Stufen, infolgedessen sind die Prozentzahlen natürlich nur etwa  $\frac{1}{10}$  derjenigen der obenstehenden Reihe. Die beiden Maxima liegen hiernach bei einer Tiefe von etwa 4700 m und einer Erhebung von etwa 100 m.

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 Tiefseekarten mit den neueren von Groll<sup>3)</sup> entworfenen zeigt. Während z. B. Trabert

<sup>1)</sup> H. Wagner, Lehrb. d. Geographie, Bd. I, Allg. Erdk., 2. Teil: Physikal. Geographie, S. 271, Hannover 1922. In seinen Zahlen ist die neue Ausmessung der Ozeane durch Kossinna (Die Tiefen des Weltmeeres, Veröff. d. Instit. f. Meeresk. N. F. A, Heft 9, Berlin 1921) berücksichtigt. Unsere Figuren sind noch nach den älteren wenig abweichenden Werten bei Krümmel und Trabert entworfen.

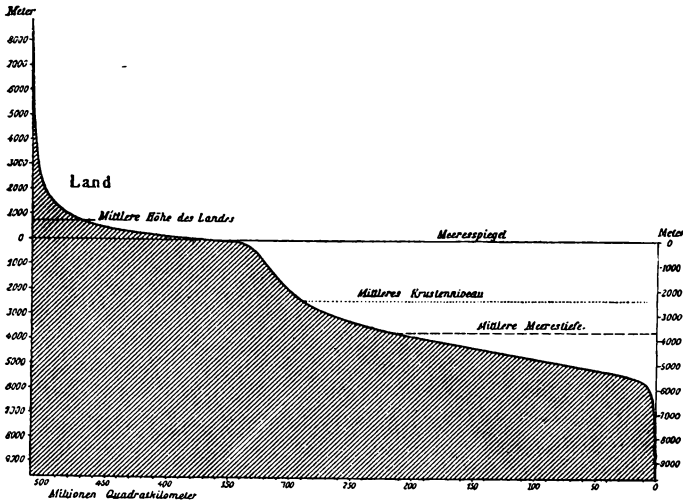
<sup>2)</sup> Trabert, Lehrb. d. Kosmischen Physik, S. 277. Leipzig u. Berlin 1911.

<sup>3)</sup> Groll, Tiefenkarten d. Ozeane. Veröff. d. Inst. f. Meereskunde, N. F. A, Heft 2, Berlin 1912.

noch 1911 für die Stufen 1 bis 2 km 4,0 Proz. und für 2 bis 3 km 6,5 Proz. angibt, finden wir bei Wagner, dessen Zahlen letzten Endes auf den Grollschens Tiefseekarten basieren, für die gleichen Stufen nur 2,9 bzw. 4,7 Proz. Es ist also wohl zu erwarten, daß in Zukunft die beiden Häufigkeitsmaxima sich noch etwas schärfer getrennt zeigen werden als nach den bisherigen Beobachtungen.

Es gibt wohl in der ganzen Geophysik kaum ein zweites Gesetz von solcher Klarheit und Sicherheit wie dieses, daß es zwei bevorzugte Niveaus auf der Erde gibt, die abwechselnd nebeneinander vorkommen und in den Kontinenten und Tiefseeböden in Erscheinung treten. Es

Fig. 4.



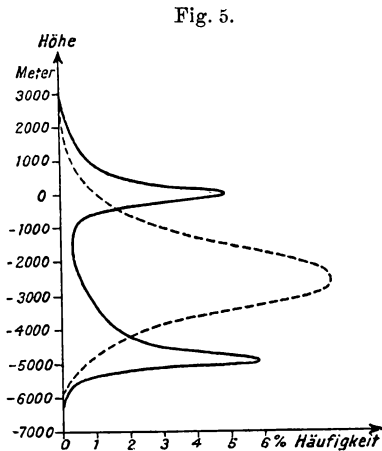
Hypsometrische Kurve der Erdoberfläche, nach Krümmel.

ist deshalb sehr merkwürdig, daß man für dies Gesetz, das doch seit mindestens 50 Jahren gut bekannt ist, noch niemals nach einer Erklärung gesucht hat. Nur Sörgel macht in seiner Polemik gegen die Verschiebungstheorie<sup>1)</sup> den Versuch, es auf Hebungen und Senkungen zurückzuführen. Allein dieser Versuch beruht auf irriger Überlegung. Wenn nur ein einziges Gleichgewichtsniveau existierte, wie er meint, so könnten durch Störungen desselben, nämlich Hebungen und Senkungen, nur dann zwei verschiedene Häufigkeitsmaxima entstehen, wenn physikalische Ursachen für eine Bevorzugung gerade dieser Höhen vorhanden

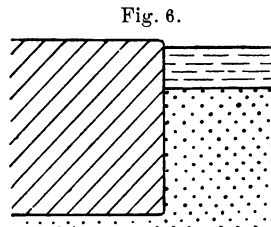
<sup>1)</sup> W. Sörgel, Die atlantische „Spalte“. Kritische Bemerkungen zu A. Wegeners Theorie von der Kontinentalverschiebung. Monatsber. d. D. Geol. Ges. 68, 200—239, 1916.

wären. Da dies nicht der Fall ist, müßte sich die Häufigkeit einfach nach dem Gaußschen Fehlergesetz regeln, dessen ungefährer Verlauf in Fig. 5 gestrichelt eingezeichnet ist, denn die Abweichungen vom Gleichgewichtsniveau müßten natürlich um so seltener sein, je größer sie sind. Es müßte also ein einziges Häufigkeitsmaximum etwa in der Gegend des mittleren Krustenniveaus ( $-2450$  m) vorhanden sein. Statt dessen sehen wir zwei Maxima, und bei jedem dieser Maxima hat die Kurve ungefähr den Verlauf wie beim Fehlergesetz. Man muß hieraus schließen, daß es auch bereits zwei ungestörte Ausgangsniveaus gibt, und der Schritt erscheint unvermeidlich, daß wir es bei Kontinenten und Tiefseeböden mit zwei verschiedenen Schichten des Erdkörpers zu tun haben, die sich — etwas übertrieben ausgedrückt — verhalten wie offenes Wasser zwischen großen Eis tafeln. Ja dieser Schritt erscheint so naheliegend und selbstverständlich, daß wohl schon die nächste Generation sich darüber wundern wird, daß wir solange Zeit dazu gebraucht haben, um ihn zu gehen. In Fig. 6 ist ein schematischer Vertikalschnitt durch einen Kontinentalrand nach dieser neuen Vorstellung dargestellt.

Natürlich wird es nötig sein, sogleich vor einer Übertreibung dieser neuen Auffassung der Natur der Tiefseeböden zu warnen. Schon bei unserem Vergleich mit den tafelförmigen Eisbergen ist zu bedenken, daß ja auch die Meeresoberfläche zwischen ihnen sich wieder mit Jungeis bedecken kann, und daß weiter auch kleinere Brocken des Eisberges, die von seinem oberen Rand abgesprengt wurden oder von seinem tief unter Wasser befindlichen Fuß aufstiegen, die Wasseroberfläche bedecken können. Ähnliches wird natürlich auch an manchen Stellen der Tiefseeböden stattfinden. Inseln sind stets bereits größere Kontinentalbrocken, die mit ihrem Unterbau, wie die Schwere-



Die beiden Häufigkeitsmaxima der Höhen.



Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

messungen zeigen, 50 bis 70 km tief unter den Tiefseeboden hinabreichen. Sie sind den nicht tafelförmigen Eisbergen vergleichbar.

Obwohl dies Argument des doppelten Häufigkeitsmaximums bereits völlig genügen dürfte, um die Richtigkeit unserer durch Fig. 6 dargestellten Anschauung zu beweisen, so wird man doch fragen, ob sich denn die Ergebnisse der übrigen Geophysik damit vertragen.

Daß die Schweremessungen über den Ozeanen durch unsere Annahme mindestens ebensogut dargestellt werden, wie durch die frühere, nach welcher die äußerste Gesteinsrinde hier nur dünner sein, aber doch nicht ganz fehlen sollte, liegt auf der Hand. Denn sie besagen ja nur, daß das Gestein unter den Ozeanen schwerer ist als das unter den Kontinenten. Wir brauchen hierauf nicht weiter einzugehen.

In der erdmagnetischen Forschung wird, worauf A. Nippoldt mich aufmerksam machte, allgemein die Ansicht vertreten, daß die Tiefseeböden aus stärker magnetisierbarem, also vermutlich eisenhaltigerem Material bestehen als die Kontinentalschollen. Besonders tritt dies in der Diskussion über das magnetische Modell der Erde von Henry Wilde<sup>1)</sup> hervor, bei dem die Ozeanflächen mit Eisenblech belegt werden mußten, um eine dem Erdmagnetismus entsprechende Verteilung der magnetischen Kraft zu erhalten. A. W. Rücker<sup>2)</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, die 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 Raclot<sup>3)</sup> hat neuerdings bestätigt, daß dieser Versuch von Wilde in rohen Zügen das Verteilungsbild des Erdmagnetismus gut darstellt. Allerdings ist es bisher noch nicht geglückt, diesen Unterschied zwischen Kontinenten und Tiefsee rechnerisch aus den erdmagnetischen Beobachtungen abzuleiten, anscheinend aus dem Grunde, weil er von einem anderen, viel größeren Störungsfeld noch unbekannter Herkunft überlagert wird, welches keine Beziehung zur Kontinentalverteilung zeigt und auch nicht zeigen kann, wie aus seinen großen, in der Säkularvariation zum Ausdruck kommenden Veränderungen hervorgeht. Jedenfalls aber sprechen die Ergebnisse des Erdmagnetismus auch nach Ansicht solcher Fachleute (wie Ad. Schmidt), welche die Beweiskraft von Wildes Versuch noch nicht ohne Einschränkung anerkennen wollen,

<sup>1)</sup> Roy. Soc. Proc. June 19, 1890 und January 22, 1891.

<sup>2)</sup> A. W. Rücker, The secondary magnetic field of the earth. *Terrestrial Magnetism and atmospheric Electricity* 4, 113—129, March-December 1899.

<sup>3)</sup> C. R. 164, 150, 1917.

keineswegs gegen die Annahme, daß die Tiefseeböden aus eisenhaltigerem Gestein bestehen. Da bekanntlich allgemein angenommen wird, daß bereits in dem Silikatmantel der Erde der Eisengehalt mit der Tiefe wächst und das Erdinnere weiterhin überhaupt vorwiegend aus Eisen besteht, so besagt dies, daß wir es hier mit einer tieferen Schicht zu tun haben. Nun erlischt der Magnetismus im allgemeinen bei der Temperatur der Rotglut, welche unter Zugrundelegung der gewöhnlichen geothermischen Tiefenstufe<sup>1)</sup> bereits in etwa 15 bis 20 km Tiefe erreicht wird. Der starke Magnetismus der Tiefseeböden müßte also gerade in den obersten Schichten vorhanden sein, was mit unserer Annahme, daß hier die schwächer magnetischen Massen ganz fehlen, gut zu stimmen scheint.

Auch in der Erdbebenkunde bestätigt sich unsere Annahme. E. Tams<sup>2)</sup> hat die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen über Kontinenten mit der über Tiefseeflächen verglichen und findet dabei folgende Werte:

1. Tiefsee.		Anzahl
Kaliforn. Beben 18. April 1906 . . . . .	$v = 3,847 \pm 0,045$ km/sec.	9
Kolumbien 31. Januar 1906 . . . . .	$3,806 \pm 0,046$ "	18
Honduras 1. Juli 1907 . . . . .	$3,941 \pm 0,022$ "	20
Nicaragua 30. Dezember 1907 . . . . .	$3,918 \pm 0,029$ "	22
2. Kontinente.		
Kalifornien 18. April 1906 . . . . .	$3,770 \pm 0,104$ "	5
Philippinen I 18. April 1907 . . . . .	$3,765 \pm 0,045$ "	30
" II 18. April 1907 . . . . .	$3,788 \pm 0,054$ "	27
Buchara 21. Oktober 1907 . . . . .	$3,837 \pm 0,065$ "	19
" 27. Oktober 1907 . . . . .	$3,760 \pm 0,069$ "	11

Es ist also, wenn auch die Einzelwerte bisweilen einander überschneiden, doch im Mittel ein deutlicher Unterschied in dem Sinne zu erkennen, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit über der Tiefsee um etwa 0,1 km pro Sekunde größer ist als über den Kontinenten, was mit dem nach den physikalischen Eigenschaften vulkanischer Tiefengesteine zu erwartenden theoretischen Wert übereinstimmt.

<sup>1)</sup> Nach J. Friedlaender, Beitr. z. Geophys. **11**, Kl. Mitt. 85—94, 1912, soll die Wärmeleitfähigkeit in den hier in Betracht kommenden vulkanischen Tiefengesteinen sogar noch kleiner sein (geothermische Tiefenstufe für Lava 17 m), so daß die Dicke der magnetischen Schicht sogar nur 8 bis 9 km betragen würde.

<sup>2)</sup> E. Tams, Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen längs kontinentaler und ozeanischer Wege, Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont. 1921, S. 44—52 u. 75—83.



Andererseits hat Tams auch versucht, die Beobachtungen möglichst vieler Beben zu vereinigen, und erhält so als Mittel aus den Geschwindigkeitswerten bei 38 Beben für den Pazifik  $v = 3,897 \pm 0,028$  km/sec und bei 45 Beben über Eurasien oder Amerika  $v = 3,801 \pm 0,029$  km/sec, d. h. dieselben Werte wie oben.

Auch Angenheister<sup>1)</sup> hat neuerdings den seismischen Unterschied zwischen Tiefseebecken und Kontinentalschollen bei einer Reihe pazifischer Beben untersucht, indem er gleichzeitig versuchte, zwei bei Tams nicht getrennte Oberflächenwellenarten voneinander zu scheiden. Er findet so auf Grund allerdings nur geringen Materials sogar erheblich größere Unterschiede: „Die Geschwindigkeit der Hauptwellen ist unter dem Pazifik um 21 bis 26 Proz. größer als unter dem asiatischen Kontinent... Die Laufzeiten für  $P$  und  $S$ <sup>2)</sup> sind unter dem Pazifik bei 6° Herddistanz um 13 sec und 25 sec kleiner als unter dem Kontinent Europa. Dem entspricht für  $S$  eine um 18 Proz. größere Geschwindigkeit unter dem Ozean... Die Dämpfung der Hauptwellen ist unter dem Pazifik größer als unter Asien... Die Periode der Nachläuferwellen ist unter dem Pazifik größer als unter Asien.“ Alle diese Unterschiede deuten einmütig in Richtung unserer Annahme, daß der Tiefseeboden aus einem anderen, nämlich dichteren Material besteht. Besonders wichtig ist es, daß es sich hier im wesentlichen gerade um Oberflächenwellen handelt, denn dadurch werden diese Angaben zu positiven Beweisen für ein völliges Fehlen der leichten äußersten Gesteinsrinde auf den Tiefseeböden.

Es liegt sehr nahe, zu fragen, ob man nicht irgendwelche Proben dieses Tiefengesteins unmittelbar vom Tiefseeboden beschaffen kann. Allein es wird wohl noch lange unmöglich sein, mit dem Schleppnetz oder auf andere Weise Proben des anstehenden Gesteins aus diesen Tiefen hochzubringen. Immerhin verdient aber Beachtung, daß bei den Dredschügen die Hauptmasse der heraufgebrachten losen Proben nach Krümmel<sup>3)</sup> vulkanisch ist; „namentlich überwiegen Bimssteine..., sodann begegnen die Trümmer von Sanidin, Plagioklas, Hornblende, Magnetit, vulkanischem Glas und deren Zersetzungsprodukt Palagonit, auch Lavabrocken von Basalten, Augitandesiten usw.“. Vulkanische Gesteine zeichnen sich nun in der Tat durch größeres spezifisches Ge-

<sup>1)</sup> G. Angenheister, Beobachtungen an pazifischen Beben, Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. z. Göttingen. Math.-Phys. Klasse 1921. 34 S. — Die in der vorigen Auflage erwähnte Arbeit von Omori, der viel größere Unterschiede gefunden hatte, beruht auf einem Irrtum dieses Autors in bezug auf die Natur der Wellen und ist zu streichen.

<sup>2)</sup> Mit  $P$  (undae primae) und  $S$  (undae secundae) bezeichnet man die ersten und zweiten Vorläufer im Seismogramm, die auf longitudinale und transversale elastische Schwingungen mit Fortpflanzung durch das Erdinnere zurückgeführt werden.

<sup>3)</sup> Krümmel, Handb. d. Ozeanographie 1, 193 u. 197. Stuttgart 1907.

wicht und größeren Eisengehalt aus und werden allgemein als aus größeren Tiefen stammend betrachtet. Suess nannte diese ganze basische Gesteinsgruppe, deren Hauptvertreter Basalt ist, „Sima“ nach den Anfangsbuchstaben der Hauptbestandteile Silicium und Magnesium, im Gegensatz zu der anderen, kieselsäurereichen Gruppe des „Sal“ (Silicium-Aluminium), dessen Hauptvertreter Gneis und Granit den Untergrund unserer Kontinente bildet<sup>1)</sup>. Einer brieflichen Anregung von Pfeffer folgend, möchte ich statt „Sal“, um die Identität mit dem lateinischen Wort für Salz zu vermeiden, „Sial“ schreiben. Der Leser wird nach dem Vorgegangenen wahrscheinlich schon selbst den Schluß ziehen, daß die Gesteine der Simagruppe, die wir freilich nur als Eruptivgesteine auf den sialischen Kontinentalschollen kennen, wo sie als Fremdkörper erscheinen, ihren eigentlichen Platz unter diesen Schollen haben und zugleich auch den Boden der Tiefsee bilden. Basalt hat alle Eigenschaften, welche wir für das Material der Tiefseeböden brauchen. Insbesondere stimmt auch das spezifische Gewicht gut mit der auf anderem Wege berechneten Dicke der Kontinentalschollen.

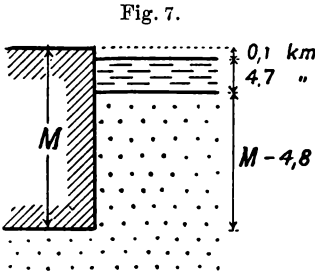
Es ist nicht unnütz, hierfür einige nähere Angaben zu machen. Die Dicke der Kontinentalschollen ist von Hayford und Helmert auf getrennten Wegen berechnet worden. Hayford leitete aus den Lotabweichungen an mehreren hundert Stationen in den Vereinigten Staaten die sogenannte „Tiefe der Ausgleichsfläche“ (nämlich des Druckes), welche identisch ist mit der Unterseite der Kontinentalschollen, zu 114 km ab. Und fast die gleiche Zahl, nämlich 120 km, fand Helmert aus Schweremessungen mit dem Pendel an 51 Küstenstationen. Die gute Übereinstimmung dieser auf verschiedenen Wegen gewonnenen Zahlen gibt ihnen natürlich eine erhöhte Sicherheit, darf aber nicht dazu verleiten, den Kontinentalschollen etwa überall dieselbe Mächtigkeit zuzuschreiben<sup>2)</sup>. Dies würde sich nicht mit der Isostasie vertragen. Bei Schelfen muß die Mächtigkeit viel geringer, bei Hochländern, wie Tibet, muß sie viel größer veranschlagt werden<sup>3)</sup>, so daß etwa 50 bis 300 km als Grenzen anzunehmen sind.

<sup>1)</sup> Diese Einteilung geht schon auf Robert Bunsen zurück, der die nichtsedimentären Gesteine in „normal trachytische“ (basische) und „normal pyroxenitische“ (kieselsäurereiche) einteilte. Suess erfand jedoch die bequemen Namen.

<sup>2)</sup> Diese Berechnungen beruhen auf der Prattischen Hypothese. Schwydar gibt in einer vorläufigen Mitteilung an, daß man bei Zugrundelegung der Airyschen Hypothese als Dicke der Schollen 200 km bekommt, was einen Unterschied der spezifischen Gewichte von Sial und Sima von nur 0,034 entspricht (Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1921, S. 121.)

<sup>3)</sup> Hayden berechnet die Kompensationstiefe für den Himalaja zu 330 km, für das Vorland zu 114 km, die Berechnung ist freilich nicht ganz einwandfrei.

Wir können nun leicht ausrechnen, wie sich die spezifischen Gewichte von Sial und Sima verhalten müssen, damit sich Sialschollen von rund 100 km Dicke ( $M$ ) um 4,8 km über den Tiefseeboden erheben, also um den Betrag von 95,2 km eintauchen (vgl. Fig. 7). Am Unterrande der Kontinentalscholle muß Druckgleichgewicht herrschen, d. h. eine von hier bis zur Oberfläche reichende Säule mit Einheitsquerschnitt muß



Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

stets gleich viel wiegen, ob sie nun im Kontinentalgebiet oder im Tiefseegebiet genommen wird. Nennen wir die spezifischen Gewichte von Sial  $x$  und Sima  $y$  und beachten, daß dasjenige des Meeresswassers, welches auch mitgezählt werden muß, gleich 1,03 ist, so muß hiernach die Gleichung bestehen:

$$100 x = 95,2 y + 4,7 \cdot 1,03$$

$$\text{oder} \quad x = 0,952 y + 0,048.$$

Da nun simische Gesteine, wie Basalt, Diabas, Melaphyr, Gabbro, Olivinfels, Andesit, Porphyrit, Diorit u. a. meist ein spezifisches Gewicht von etwa 3,0 (nur selten bis 3,3) haben, können wir  $y = 3,0$  setzen und erhalten dann  $x = 2,9$ . Tatsächlich fanden Whitmann, Cross und Gilbert im Mittel aus 12 Proben das spezifische Gewicht von Gneis zu 2,615. Andere Messungen geben Werte zwischen 2,5 und 2,7. Dieser kleine Unterschied erklärt sich aber leicht dadurch, daß das spezifische Gewicht sowohl in der Sialsphäre wie in der Simasphäre mit der Tiefe wächst, und daß unser Basalt aus großer Tiefe stammt, während die Gneisproben gerade der Oberfläche entstammen. Rechnerisch läßt sich dies freilich nicht nachprüfen, da wir über den Grad der Zunahme des spezifischen Gewichts mit der Tiefe nichts wissen. Wir wissen nur, daß sich als Mittel für den ganzen, etwa 1500 km dicken Silikatmantel der Erde nach der Erdbebenforschung bereits der Wert 3,4 ergibt. Qualitativ stimmen die Zahlen jedenfalls gut zu unserer Annahme <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die folgende kleine Tabelle mag die Abhängigkeit der Tauchtiefe vom spezifischen Gewicht noch weiter erläutern. Sie gibt die Schollenmächtigkeit für ein spezifisches Gewicht des Sima von 3,0. Verringert sich dies und gleichzeitig das des Sial um 0,1, so verkleinern sich die Werte der Tabelle nur um etwa 5 Proz.

Mächtigkeit der Sialscholle im Sima vom spez. Gew. 3,0.

Spez. Gew. d. Sial. . . .	2,6	2,7	2,8	2,9	2,95
Seehöhe d. Oberfl. { 100 m . .	24	32	48	96	192 km
{ 4000 „ . .	53	71	106	213	430 „

Endlich muß in diesem Zusammenhange auch noch die Schlichtheit des Tiefseebodens erwähnt werden, weil auch sie für die Richtigkeit unserer Vorstellungen spricht. 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) nur um 767 m verschieden. Auf einer zehn Seemeilen langen Teilstrecke, bei der das Mittel aus 14 Lotungen 5938 m ergab, waren die größten Abweichungen + 36 und - 38 m<sup>1)</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 irrümlichen 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 Faltengebirgen kreuz und quer gerunzelt sind, kennen wir von den ungeheuren Flächen der Tiefsee trotz aller Lotungen bisher kein einziges Gebilde, das wir mit einiger Wahrscheinlichkeit als ein Kettengebirge ansprechen könnten. Einige wollen zwar die mittelatlantische Bodenschwelle und auch den Rücken zwischen den beiden vor Java liegenden Rinnen als entstehende Faltengebirge auffassen, allein diese Ansicht zählt doch nur so wenig Anhänger, daß wir uns hier mit dem Hinweis auf Andrées Kritik<sup>2)</sup> begnügen können. Wie erklärt sich dieses Fehlen, da doch Zusammenschübe auch beim Sima 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 Sima eintaucht, muß auch der größte Teil der Schollenverdickung bei Faltung nach unten gerichtet

<sup>1)</sup> Krümmel, Handb. d. Ozeanographie I, 91. Stuttgart 1907.

<sup>2)</sup> K. Andréé, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung, S. 86 ff. Berlin 1914.

sein. Nur ein sehr kleiner Teil des Zusammenschubes wird als Erhebung sichtbar, worauf später im Kapitel 11 noch zurückgekommen werden wird. Geht aber bei den Kontinentalschollen bereits der größte Teil des Zusammenschubes nach unten, so kann ein Zusammenschub im Sima überhaupt nicht mehr zu einer Erhebung führen. Das Material weicht hier nach unten oder zur Seite aus, ebenso wie das Wasser zwischen zwei sich nähernden Eisbergen. Wenn also A. Penck schreibt<sup>1)</sup>: „Der Mangel an simischen Falten an der Vorderseite der triftenden Kontinente erscheint uns als entschiedener Beweis gegen seine Vorstellung von der Konstitution der Kruste und der Beweglichkeit der Kontinente“, so ist dieser Einwand nicht stichhaltig. Wir sehen umgekehrt in dem Fehlen solcher aufragenden Faltungsketten im Tiefseeboden eine Bestätigung unserer Annahme über ihre Simanatur. Gefaltet sind sicherlich auch diese Massen. Beständen sie aus Sial, so müßte die Faltung, wenigstens teilweise, auch nach oben gegangen sein und in Erscheinung treten. — Noch deutlicher werden diese Verhältnisse durch die im Kapitel 9 angestellten Betrachtungen werden.

Die in diesem Kapitel angeführten Beweise für die Natur der Tiefseeböden reden eine sehr eindeutige und eindringliche Sprache. Daher hat denn auch dieser Teil unserer Vorstellungen bisher am wenigsten Widerspruch erfahren, und namentlich haben wohl die meisten Geophysiker diese Vorstellungen angenommen.

#### 4. Kapitel. Geologische Argumente.

Für unsere Auffassung, daß der Atlantik eine ungeheuer erweiterte Spalte darstellt, deren Ränder früher unmittelbar zusammengehangen haben, ergibt sich eine sehr scharfe Kontrolle durch einen Vergleich des geologischen Baues der beiden Seiten. Denn man wird erwarten dürfen, daß Faltungen und andere Strukturen, die vor dem Abriß entstanden sind, von der einen Seite zur anderen hinüberführen, und zwar müssen ihre Enden beiderseits des Ozeans gerade so gelegen sein, daß sie in der Rekonstruktion als unmittelbare Verlängerungen erscheinen. Da die Rekonstruktion selber infolge der markanten Linienführung der Schollenränder eine durchaus zwangsläufige ist und keinen Spielraum für eine Anpassung an diese Forderung zuläßt, haben wir es hier mit einem ganz unabhängigen Kriterium zu tun, das für die Beurteilung der Richtigkeit der Verschiebungstheorie von größter Bedeutung ist.

Die atlantische Spalte ist am breitesten im Süden, wo sie zuerst aufriß. Ihre Breite beträgt hier 6220 km. Zwischen Kap San Roque

<sup>1)</sup> A. Penck, Wegeners Hypothese der kontinentalen Verschiebungen. Ztschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1921, S. 110—120.

und Kamerun liegen nur noch 4880, zwischen der Neufundlandsbank und dem britischen Schelf nur noch 2410, zwischen Scoresbysund und Hammerfest 1300, und zwischen den Schelfrändern von Nordostgrönland und Spitzbergen wohl nur noch etwa 200 bis 300 km. Hier scheint der Abriß erst in allerjüngster Zeit erfolgt zu sein.

Beginnen wir mit der Vergleichung im Süden. Ganz im Süden Afrikas findet sich ein von Ost nach West streichendes permisches Faltengebirge (die Zwarten Berge). In der Rekonstruktion trifft die Verlängerung dieser Kette nach Westen auf die nach der Karte zunächst durch nichts hervorgehobene Partie südlich von Buenos Aires. Es ist nun hochinteressant, daß Keidel in den hier befindlichen Sierras, namentlich der stärker gefalteten südlichen, alte Faltungen erkannt hat, die nach ihrem Bau, der Gesteinsfolge und dem Fossilinhalt nicht allein der nordwestlich davon sich der Andenfaltung anschmiegenden Vorkordillere der Provinzen San Juan und Mendoza, sondern vor allem auch dem südafrikanischen Kapegebirge völlig gleichen. „In den Sierras der Provinz Buenos Aires, besonders in dem südlichen Zuge, finden wir eine Schichtenfolge, die der in den Kapegebirgen Südafrikas sehr ähnlich ist. Große Übereinstimmung scheint wenigstens bei drei Gliedern vorhanden zu sein: bei dem unteren Sandstein der unterdevonischen Transgression, den fossilführenden Schiefen, die den Höhepunkt ihrer Ausbreitung bezeichnen, und bei einem jüngeren, sehr kennzeichnenden Gebilde, dem glazialen Konglomerat des oberen Paläozoikums . . . Sowohl die Sedimente der devonischen Transgression als auch das glaziale Konglomerat sind, wie in den Kapegebirgen, stark gefaltet; und die Bewegung ist hier wie dort in der Hauptsache gegen Norden gerichtet“<sup>1)</sup>. Damit ist der Nachweis geführt, daß hier eine langgestreckte alte Faltung vorhanden ist, welche die Südspitze Afrikas durchzieht und sodann Südamerika südlich von Buenos Aires durchquert, um schließlich, nach Norden abbiegend, sich dem Verlauf der Anden anzugliedern. Heute sind die Bruchstücke dieser Faltung durch einen gleichförmigen Tiefseeboden um mehr als 6000 km voneinander getrennt. In unserer Rekonstruktion, die doch gerade hier keine Anpassung zuläßt, werden die Teilstücke gerade zur Berührung aneinandergesetzt; ihre Abstände

---

<sup>1)</sup> H. Keidel, Über das Alter, die Verbreitung und die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen tektonischen Strukturen in den argentinischen Gebirgen. Étude faite à la XII<sup>e</sup> Session du Congrès géologique international, reproduite du Compte-Rendu, S. 671—687 [Separat, o. J.]. — Ähnlich in der ausführlichen Darstellung desselben: J. Keidel, La Geología de las Sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus Relaciones con las Montañas de Sud Africa y los Andes. Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería, Tomo XI, Núm. 3. Buenos Aires 1916.

von Kap San Roque bzw. Kamerun sind genau gleich<sup>1)</sup>. Dieser Beweis für die Richtigkeit unserer Zusammensetzung ist sehr auffallend und erinnert an die durchgerissene Visitenkarte als Erkennungszeichen. Es beeinträchtigt diese Übereinstimmung nur wenig, daß sich von dem südafrikanischen Zuge bei Erreichung der Küste die Kette der Cedarberge nach Norden abzweigt. Denn dieser bald erlöschende Zweig trägt den Charakter einer lokalen Ablenkung, die durch irgend eine Diskontinuität an der späteren Spaltungsstelle verursacht sein mag. Solche Abzweigungen sehen wir in noch viel größerem Maße bei den europäischen Faltegebirgen, sowohl bei den karbonischen, als bei den tertiären, und sie hindern uns auch hier nicht, diese Faltungen zu einem System zusammenzufassen und auf einheitliche Ursachen zurückzuführen. Auch wenn, wie es nach neueren Untersuchungen scheint, die afrikanische Faltung noch in jüngeren Zeiten fortgedauert hat, so läßt sich doch hieraus kein Altersunterschied konstruieren, denn bei Keidel lesen wir: „In den Sierrren ist, als die jüngste Bildung, das glaziale Konglomerat gefaltet worden; in den Kapgebirgen zeigen die Ecca-schichten an der Basis der Gondwanaserie (Karrooschichten) noch Spuren der Bewegungen . . . In beiden Gebieten können also die hauptsächlichen Bewegungen in dem Zeitabschnitt vom Perm bis zur unteren Kreide vor sich gegangen sein.“

Aber diese Bestätigung unserer Ansichten durch das Kapgebirge und seine Verlängerung in den Sierrren von Buenos Aires steht keineswegs allein da, vielmehr finden wir noch zahlreiche weitere Belege dafür längs den Küsten des Atlantik. Schon in großen Zügen zeigt die ungeheure, seit langen Zeiten nicht mehr gefaltete Gneistafel Afrikas eine auffallende Ähnlichkeit mit derjenigen Brasiliens. Und daß diese Ähnlichkeit sich nicht nur auf Allgemeinheiten beschränkt, zeigt einmal die Übereinstimmung der Eruptivgesteine und Sedimente und andererseits die der alten Faltungsrichtungen hüben und drüben.

Die Eruptivgesteine hat erst kürzlich H. A. Brouwer verglichen<sup>2)</sup>. Er findet nicht weniger als fünf Parallelen, nämlich 1. den älteren Granit, 2. den jüngeren Granit, 3. alkalireiche Gesteine, 4. vulkanische

---

<sup>1)</sup> Freilich nicht, wenn man diese Abstände von der 1000 m-Tiefenlinie bei Kap San Roque bzw. Kamerun mißt, wie von gegnerischer Seite geschähen. Aber mit dieser Tiefenlinie passen die Kontinente überhaupt nicht gut zusammen. Es wird später gezeigt werden, daß die alten Konturen viel besser im oberen Teil des Kontinentalrandes erhalten bleiben, während die unteren Partien seitlich herausquellen. Die Zusammensetzung muß daher allgemein nach dem Oberrand des Steilabfalls zur Tiefsee geschähen.

<sup>2)</sup> H. A. Brouwer, De alkaligesteenten van de Serra do Gericino ten Noordwesten van Rio de Janeiro en de overeenkomst der eruptiefgesteenten van Brazilië en Zuid-Afrika. Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam, 1921, Deel 29, S. 1005—1020.

jurassische Gesteine und intrusiver Dolerit, 5. Kimberlit, Anoit usw. Der ältere Granit ist in Brasilien enthalten in dem sogenannten „Brasilianischen Komplex“, in Afrika in dem „Fundamentalkomplex“ von Südwestafrika, ferner auch dem „Malmesburysystem“ der südlichen Kapkolonie und dem „Swazilandsystem“ von Transvaal und Rhodesia. „Sowohl die Ostküste von Brasilien in der Serra do Mar wie die gegenüberliegende Westküste von Süd- und Mittelafrika bestehen zum größten Teil aus diesen Gesteinen, und sie verleihen in beiden Kontinenten der Landschaft vielfach einen gleichartigen topographischen Charakter.“ Der jüngere Granit ist in Brasilien intrusiv in der „Minasserie“ in den Provinzen Minas Geraes und Goyaz, wo er goldführende Gänge bildet, sowie in der Provinz Sao Paulo. In Afrika entspricht ihm der Erongogranit im Hereroland und der Brandberggranit im nordwestlichen Teil von Damaraland, sowie auch die Granite des „Bushveld Igneous Complex“ in Transvaal. Die alkalireichen Gesteine ferner finden sich gerade an den korrespondierenden Küstenstrecken: auf brasilianischer Seite an verschiedenen Stellen der Serra do Mar (Itatiaya, Serra do Gericino bei Rio de Janeiro, Serra de Tingua, Cabo Frio), auf afrikanischer Seite an der Küste von Lüderitzland, bei Kap Cross nördlich von Svakopmund, aber auch noch in Angola. In weiterer Entfernung von der Küste gehören hierher auch die beiden etwa 30 km Durchmesser haltenden Eruptivgebiete von Poços de Caldas im Süden der Provinz Minas Geraes und von Pilandsberg im Rustenburgdistrikt in Transvaal. Gerade diese alkalireichen Gesteine sind in ihrer völlig gleichen Ausbildung des Tiefengesteins, des Ganggesteins und des Effusivgesteins sehr auffallend. Mit Bezug auf die 4. Gruppe von Gesteinen (jurassische vulkanische Gesteine und intrusiver Dolerit) sagt Brouwer: „Ebenso wie in Südafrika kommt im untersten Horizont des ungefähr mit dem südafrikanischen Karroosystem übereinstimmenden Santa Catharina-Systems eine mächtige Serie vulkanischer Gesteine vor, die als jurassisch betrachtet werden kann und große Flächen in den Provinzen Rio Grande do Sul, Santa Catharina, Parana, Sao Paulo und Matto Grosso und sogar noch von Argentinien, Uruguay und Paraguay bedecken.“ In Afrika gehört hierher namentlich die Kaokoformation zwischen 18° und 21° Südbreite, welcher gleichartige Gesteine in den südbrasilianischen Provinzen Santa Catharina und Rio Grande do Sul entsprechen. Am bekanntesten endlich ist die letzte Gesteinsgruppe (Kimberlit, Anoit usw.), weil sie in Brasilien wie Südafrika die Lagerstellen der bekannten Diamantenfunde abgeben. In beiden Gebieten kommt die eigenartige Lagerungsform der „Pfeifen“ vor. Weiße Diamanten gibt es in Brasilien in der Provinz Minas Geraes und in Südafrika nur nördlich des Oranje. Aber deutlicher als in diesen immerhin seltenen Diamantvorkommen zeigt sich die Übereinstimmung in der Ausbreitung des kimberlitischen Muttergesteins.



Dies ist in Gängen auch in der Provinz Rio de Janeiro festgestellt. „Ebenso wie die kimberlitischen Gesteine nahe der Westküste von Südafrika gehören auch die bekannten brasilianischen Gesteine beinahe alle zu den glimmerarmen basaltischen Varietäten.“

Brouwer hebt aber hervor, daß auch die Sedimente eine große Übereinstimmung hüben und drüben zeigen: „Die Gleichheit zwischen einigen Gruppen von Sedimentgesteinen beiderseits des Atlantischen Ozeans ist ebenfalls auffallend. Wir nennen nur das südafrikanische Karroosystem und das brasilianische Santa Catharina-System. Das Orleanskonglomerat in Santa Catharina und Rio Grande do Sul stimmt überein mit dem Dwykakonglomerat von Südafrika, und in beiden Kontinenten werden die obersten Abschnitte durch die schon genannte mächtige Serie vulkanischer Gesteine gebildet, wie die vom Drakenberg in der Kapkolonie und die von der Serra Geral in Rio Grande do Sul.“

Nach du Toit<sup>1)</sup> scheint es sogar, als ob das erratische permokarbonische Material in Südamerika teilweise aus Afrika stammt: „Der südbrazilianische Tillit stammt nach Coleman von einer Eiskappe, die wahrscheinlich ihr Zentrum im Südosten<sup>2)</sup>, außerhalb der heutigen Küstenlinie, hatte. Sowohl er wie Woodworth erwähnen gewisse erratische Geschiebe aus einem eigentümlichen Quarzit oder Sandstein mit Kieseln aus gebändertem Jaspis, der nach ihrer Beschreibung genau demjenigen gleicht, der vom Transvaaleise von den Bergketten der »Matsap beds« in West-Griqualand aufgenommen und mindestens bis zum 18. Meridian nach Westen transportiert ist. Könnte er, wenn wir an die Hypothese der Kontinentalverschiebungen denken, nicht möglicherweise noch viel weiter nach Westen geschafft worden sein?“

Weitere Übereinstimmung finden wir, wie schon erwähnt, in den Richtungen der uralten Faltungen, welche diese großen Gneistafeln überall durchziehen. Für Afrika verweisen wir auf die in Fig. 8 dargestellte, von Lemoine<sup>3)</sup> entworfene Karte. Sie ist für andere Zwecke hergestellt und zeigt daher das, was wir brauchen, nicht sehr deutlich, aber sie zeigt es doch. In dem Gneismassiv des afrikanischen Kontinents kommen hauptsächlich zwei etwas verschiedene alte Streichrichtungen vor. Im Sudan herrscht die ältere nordöstliche Streichrichtung vor, welche sich schon in dem geradlinigen gleichgerichteten Oberlauf des Niger zeigt und noch bis Kamerun beobachtet wird. Sie schneidet die Küste unter einem Winkel von etwa 45°. Südlich von Kamerun dagegen — auf der Karte gerade noch erkennbar — tritt die andere,

<sup>1)</sup> Alex. L. du Toit, The Carboniferous Glaciation of South Africa. Transact. of the Geol. Soc. of South Africa 24, 188—227, 1921.

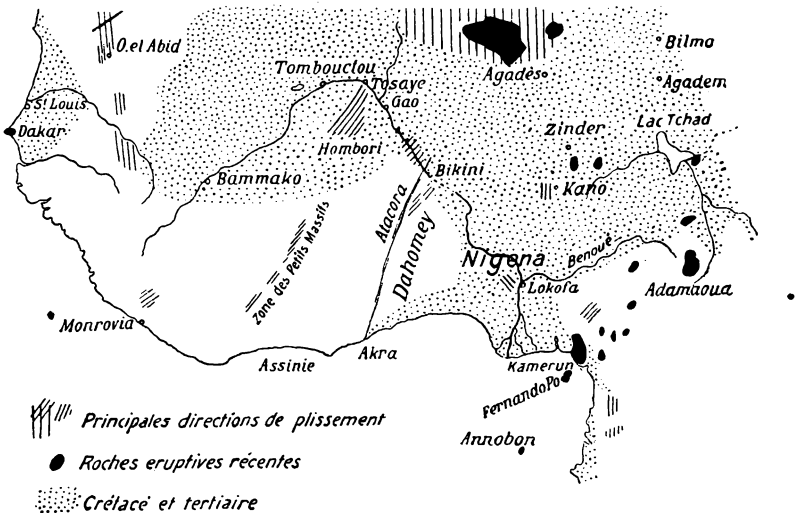
<sup>2)</sup> Im Original steht, wohl durch Versehen, »south-west«.

<sup>3)</sup> Lemoine, Afrique occidentale. Handb. d. Regionalen Geologie VII, 6 A, 14. Heft, S. 57. Heidelberg 1913.

jüngere Streichrichtung in den Vordergrund, welche etwa von Norden nach Süden weist und der Küste mit ihren Krümmungen parallel verläuft.

In Brasilien finden wir dieselbe Erscheinung. E. Suess schreibt: „Die Karte des östlichen Guayana... zeigt mehr oder minder ostwestliches Streichen der alten Felsarten, aus welchen dieses Gebiet besteht. Auch die eingelagerten paläozoischen Schichten, welche den nördlichen Teil der Mulde des Amazonas ausmachen, verfolgen diese Richtung, und der Verlauf der Küste von Cayenne gegen die Mündung des Amazonas ist daher quer auf das Streichen... Soweit der Bau Brasiliens heute bekannt ist, muß angenommen werden, daß auch bis Kap San

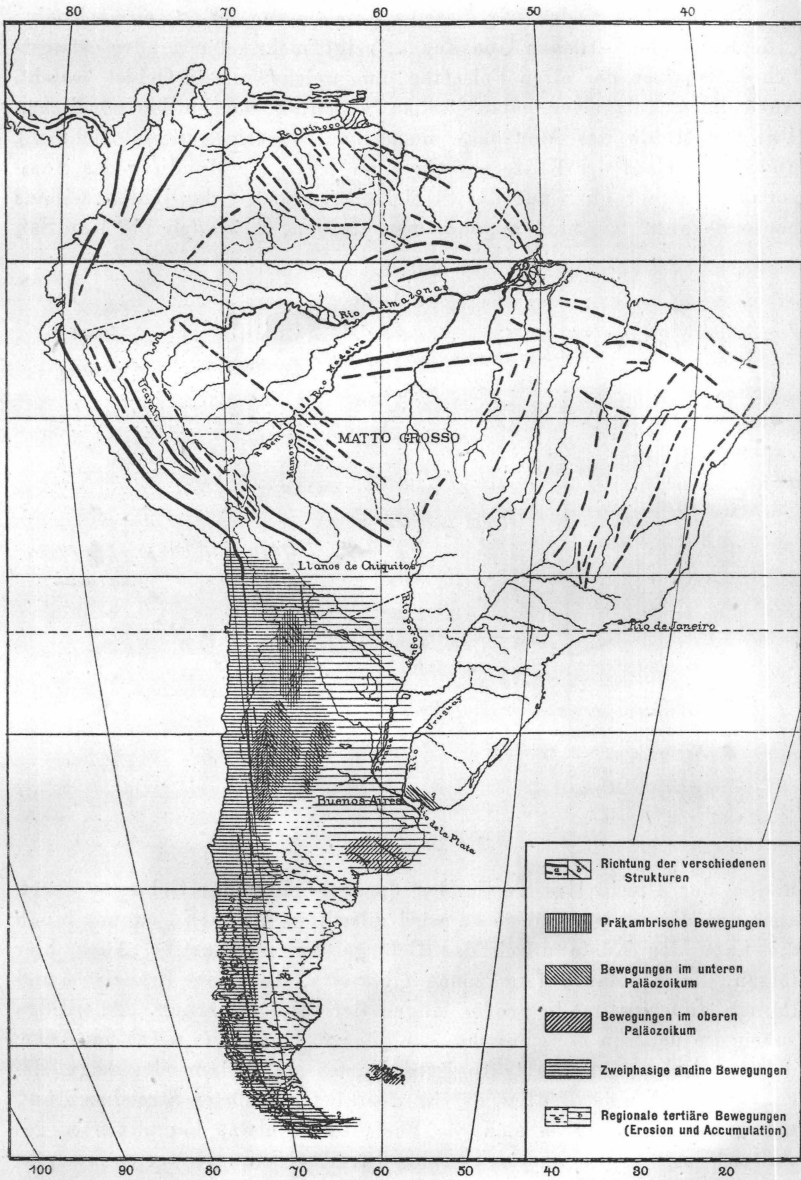
Fig. 8.



Streichrichtungen in Afrika, nach Lemoine.

Roque der Umriß des Festlandes das Streichen des Gebirges quert, aber von diesem Vorgebirge an wird allerdings bis nach Uruguay hinab die Lage der Küste durch das Gebirge vorgezeichnet.“ Auch hier folgen die Flußläufe (Amazonas einerseits, Rio San Franzisko und Parana andererseits) in großen Zügen der Streichrichtung. Allerdings haben die neueren Forschungen, wie die von Keidel (a. a. O.) gegebene, in Fig. 9 reproduzierte tektonische Karte von Südamerika zeigt, die Existenz noch einer dritten, der Nordostküste parallelen Streichrichtung nachgewiesen, wodurch sich die Verhältnisse etwas komplizierter gestalten. Allein die anderen beiden Streichrichtungen treten auch in dieser Karte, wengleich etwas von der Küste abgedrängt, sehr deutlich hervor. Bei der beträchtlichen Drehung, welche Südamerika bei der

Fig. 9.



Schematische tektonische Karte von Südamerika, nach Keidel.

Rekonstruktion erfahren muß, wird die Richtung des Amazonas gerade parallel zum Oberlauf des Niger, so daß die beiden Streichrichtungen mit den afrikanischen zusammenfallen. Hierin dürfen wir eine weitere Bestätigung eines ehemaligen unmittelbaren Zusammenhanges sehen.

Wie später gezeigt werden wird, muß aus paläontologischen und biologischen Gründen geschlossen werden, daß der Formenaustausch zwischen den Landgebieten Südamerikas und Afrikas in der unteren bis mittleren Kreide erlosch. Damit steht nicht im Widerspruch, wenn Passarge annimmt, daß die Randbrüche von Südafrika schon im Jura gebildet wurden<sup>1)</sup>, denn die Spalte öffnete sich nur allmählich von Süden her, und vor allem ging ihr wohl die Bildung von Grabenbrüchen längere Zeit voraus. In Patagonien hatte der Abriß eine eigentümliche Schollenbewegung zur Folge, die A. Windhausen folgendermaßen beschreibt: „Die neue Umwälzung begann mit regionalen Bewegungen größten Ausmaßes um die Mitte der Kreide“, und zwar indem sich die patagonische Landoberfläche „aus einem Gebiet mit ausgesprochener Abdachung zu einem allgemeinen Senkungsfeld umwandelte, das unter dem Einfluß arider oder semiarider Bedingungen stand und von Kieswüsten und Sandebenen bedeckt war“<sup>2)</sup>.

Das am Nordrande des afrikanischen Kontinents gelegene Atlasgebirge, dessen Faltung hauptsächlich ins Oligozän fällt, aber schon in der Kreide begann, findet auf amerikanischer Seite keine Fortsetzung<sup>3)</sup>. Dies stimmt mit unserer, in den Rekonstruktionen dargestellten Annahme überein, daß die atlantische Spalte in diesem Teil schon länger offen war. Es ist zwar wohl wahrscheinlich, daß sie auch hier irgend einmal ganz geschlossen gewesen ist, aber die Öffnung muß hier wohl schon vor dem Karbon erfolgt sein. Auch die große Meerestiefe im westlichen Teil des Nordatlantik scheint anzudeuten, daß hier der Meeresboden bereits älter ist. Und nach derselben Richtung weist auch die Gegensätzlichkeit der spanischen Halbinsel mit der gegenüberliegenden amerikanischen Küste<sup>4)</sup>. Die Azoren, Kanarien und Kap-

1) Passarge, Die Kalahari, S. 597. Berlin 1904.

2) A. Windhausen, Ein Blick auf Schichtenfolge und Gebirgsbau im südlichen Patagonien, Geol. Rundsch. 12, 109—137, 1921.

3) Gentil möchte zwar in den gleichaltrigen mittelamerikanischen Gebirgen, speziell den Antillen, eine solche Fortsetzung sehen, doch hat Jaworski dem entgegengehalten, daß dies mit der allgemein angenommenen Auffassung von E. Suess unvereinbar ist, welcher den östlichen Korfillerenbogen Südamerikas in die kleinen Antillen übergehen und also wieder nach Westen umbiegen läßt, ohne daß dabei Ausläufer nach Osten entsendet werden.

4) Von verschiedenen Seiten wird hierin ein Einwand gegen die Verschiebungstheorie erblickt. Insbesondere sollen die devonischen Ablagerungen an der nordamerikanischen Küste ein größeres Land im Osten erfordern, als welches Spanien wegen seines abweichenden Baues nicht gelten könne. Dem

werden sind als Brocken vom Kontinentalrande aufzufassen, vergleichbar mit Kalbeisstücken vor einem schwimmenden Eisberge. So kommt auch Gagel für die Kanarien und Madeira zu dem Schluß, „daß diese Inseln abgesprengte Reste des europäisch-afrikanischen Kontinents sind, von dem sie erst in verhältnismäßig junger Zeit getrennt wurden“<sup>1)</sup>.

Weiter im Norden finden wir in unmittelbarer Folge drei alte Faltungszonen, welche sich von der einen Seite des Atlantik auf die andere hinüberziehen und wieder sehr auffallende Bestätigungen für die Annahme eines einstigen unmittelbaren Zusammenhanges liefern. Am meisten in die Augen fallend sind die karbonischen Faltungen, welche E. Suess das armorikanische Gebirge nennt, und welche die Kohlenlager Nordamerikas als die unmittelbare Fortsetzung der europäischen erscheinen lassen. Dieses heute stark eingeebnete Gebirge zieht sich in Europa, aus dem Innern des Kontinents kommend, in bogenförmigem Verlauf zuerst gegen WNW, dann gegen W, um in Südwest-Irland und der Bretagne eine wild zerrissene Küste (sogenannte Riasküste) zu bilden. Die südlichsten, Frankreich durchsetzenden Faltenzüge dieses Systems scheinen in dem vorgelagerten Schelf ganz nach Süden umzubiegen und jenseits der buchförmig sich öffnenden Tiefseespalte der Biscaya auf der spanischen Halbinsel ihre Fortsetzung zu finden. Suess nannte diese Abzweigung den „asturischen Wirbel“. Die Hauptketten aber setzen offenbar durch die nördlicheren Teile des Schelfes nach Westen fort, wengleich durch die Abrasion der Brandungswooge abgehobelt, und weisen hier, eine Fortsetzung heischend, in den Atlantischen Ozean hinaus<sup>2)</sup>. Diese Fortsetzung auf amerikanischer Seite bilden, wie Bertrand zuerst 1887 entdeckte, die Ausläufer der Appalachen auf Neuschottland und dem südöstlichen Neufundland. Hier

---

gegenüber muß zunächst auf den Schelf verwiesen werden, der breit vor der amerikanischen Küste liegt. Es ist aber unmöglich, zu dieser Frage überhaupt Stellung zu nehmen, solange man die Größe und Kontur der spanischen Scholle zur Devonzeit nicht angeben kann. Dies ist einstweilen unmöglich, weil dazu außer den tertiären Falten auch noch die karbonischen Falten auszuglätten wären, die gerade die spanische Halbinsel in dichten Scharen durchziehen. Solange aber die Verschiebungstheorie selbst aus diesen Gründen sich außerstande erklärt, die Rekonstruktion dieses Gebietes für das Devon auszuführen, kann niemand wissen, ob das amerikanische Devon zu einem Einwand oder einer Bestätigung führen wird.

<sup>1)</sup> Gagel, Die mittelatlantischen Vulkaninseln. Handb. d. regional. Géologie VII, 10, 4. Heft. Heidelberg 1910.

<sup>2)</sup> Die von E. Suess abweichende Ansicht Koßmats (Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustand der Erdrinde, Abh. d. Math.-Phys. Kl. d. Sächsischen Akad. d. Wiss. 38, Nr. 2. Leipzig 1921), daß sämtliche europäischen Falten im ozeanischen Gebiet herumbiegen und nach der spanischen Halbinsel zurückkehren, dürfte schwer aufrecht zu halten sein, da sich ein so großer Faltenbogen nicht mehr im Schelf unterbringen läßt.

endigt gleichfalls ein karbonisches Faltengebirge, ebenso wie das europäische nach Norden gefaltet, indem es eine Riasküste erzeugt und davor wohl noch den Schelf der Neufundlandbank durchzieht. Seine Richtung, sonst nordöstlich, geht nahe der Abrißstelle in die rein östliche über. Schon nach den bisherigen Vorstellungen nahm man an, daß es sich um ein einziges großes Faltensystem handele, wofür E. Suess die Bezeichnung „transatlantische Altiden“ gebrauchte. Die Verschiebungstheorie bringt hier schon dadurch eine große Vereinfachung, daß die beiden Teilstücke in der Rekonstruktion zur gegenseitigen Berührung gebracht werden, während man bisher ein versunkenes Mittelstück annehmen mußte, das länger als die uns bekannten Enden wäre, was Penck schon als Schwierigkeit empfand. Auf der Verbindungslinie der Abrißstellen liegen einige vereinzelt Erhöhungen des Meeresbodens, die man bisher als Gipfel der versunkenen Kette betrachtet hat. Nach unseren Vorstellungen sind es Brocken vom Rande der sich trennenden Schollen, deren Loslösung gerade in solchen tektonischen Störungszonen leicht verständlich ist.

In Europa folgen weiter, unmittelbar nördlich sich anschließend, die Faltenzüge eines noch älteren, zwischen Silur und Devon aufgeworfenen Gebirges, welches sich durch Norwegen und Nordengland hindurchzieht. E. Suess nennt es das kaledonische Gebirge. Mit der Frage der Fortsetzung dieser Gebirgsfaltung in den „Kanadischen Kaledoniden“ (Termier), nämlich den schon kaledonisch gefalteten kanadischen Appalachen, haben sich Andréé<sup>1)</sup> und Tilmann<sup>2)</sup> beschäftigt. Es beeinträchtigt natürlich nicht die Übereinstimmung, daß diese kanadische Faltung in Amerika von der soeben besprochenen armorikanischen Faltung noch einmal überarbeitet wurde, was hüben nur im mittleren Europa (Hohes Venn und Ardennen), aber nicht im nördlichen Europa der Fall war. Die Berührungstücke dieser kaledonischen Faltungen dürften in den schottischen Hochlanden und Nordirland einerseits und Neufundland andererseits zu suchen sein.

Wiederum dicht nördlich der kaledonischen Faltung liegt in Europa das noch ältere (algonkische) Gneisgebirge der Hebriden und Nordschottlands. Diesem entsprechen auf amerikanischer Seite die gleichaltrigen Gneisgebirge von Labrador, welche bis an die Belle-Islestraße nach Süden reichen und sich weit nach Kanada hineinziehen. Die Streichrichtung ist in Europa Nordost-Südwest, in Amerika wechselnd von derselben Richtung bis Ost-West. Daqué bemerkt hierzu: „Dar-

<sup>1)</sup> K. Andréé, Verschiedene Beiträge zur Geologie Kanadas. Schriften d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturwiss. zu Marburg 13, 7, 437 f. Marburg 1914.

<sup>2)</sup> N. Tilmann, Die Struktur und tektonische Stellung der kanadischen Appalachen. Sitzber. d. naturwiss. Abt. d. Niederrhein. Ges. f. Natur- u. Heilkunde in Bonn 1916.

aus kann man folgern, daß die Kette über den Nordatlantischen Ozean hinüberreichte“<sup>1)</sup>. Das angeblich versunkene Verbindungsglied müßte allerdings nach den bisherigen Vorstellungen eine Länge von 3000 km gehabt haben, auch weist die gerade Verlängerung des europäischen Teils bei der jetzigen Lage der Kontinente mehrere tausend Kilometer an dem amerikanischen vorbei nach Südamerika. Nach der Verschiebungstheorie erfährt auch hier wieder das amerikanische Stück gerade eine solche Querversetzung und zugleich Drehung, daß es unmittelbar an das europäische anschließt und als seine Verlängerung erscheint.

In das soeben betrachtete Gebiet fallen weiter auch die Endmoränen der großen diluvialen Inlandeiskappen Nordamerikas und Europas. Auch diese fügen sich in unserer Rekonstruktion ohne Lücke oder Knick zusammen, was doch sehr unwahrscheinlich wäre, wenn die Küsten zur Zeit der Ablagerung schon ihren heutigen Abstand von 2500 km gehabt hätten, zumal das amerikanische Ende heute  $4\frac{1}{2}$  Breitengrade südlicher liegt als das europäische.

Die bisher angeführten Übereinstimmungen der atlantischen Küsten, nämlich die Faltung des Kapebirges und der Sierren von Buenos Aires, ferner die Übereinstimmung der Eruptivgesteine, Sedimente und Streichrichtungen in den großen Gneistafeln von Brasilien und Afrika, die armorikanische, kaledonische und algonkische Faltung und die diluviale Endmoräne bilden, wenn auch die Auffassung in gewissen Einzelfragen noch unsicher sein mag, in ihrer Gesamtheit einen schwer zu erschütternden Beweis für die Richtigkeit unserer Auffassung, daß der Atlantik als eine erweiterte Spalte zu betrachten ist. Von entscheidender Bedeutung dabei ist der Umstand, daß, obwohl die Zusammenfügung der Schollen auf Grund anderer Erscheinungen, nämlich ihrer Konturen, vorgenommen werden muß, dennoch durch diese Zusammenfügung die jenseitige Fortsetzung einer jeden Struktur gerade mit dem diesseitigen Ende zur Berührung gebracht wird. Es ist so, als wenn wir die Stücke einer zerrissenen Zeitung nach ihren Konturen zusammensetzen und dann die Probe machen, ob die Druckzeilen glatt hinüberlaufen. Tun sie dieses, so bleibt offenbar nichts weiter übrig, als anzunehmen, daß die Stücke einst wirklich in dieser Weise zusammenhingen. Wenn nur eine einzige Zeile eine solche Kontrolle ermöglichte, so hätten wir schon eine hohe Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der Zusammensetzung. Haben wir aber  $n$  Zeilen, so potenziert sich diese Wahrscheinlichkeit noch mit  $n$ . Es ist gewiß nicht unnütz, sich klar zu machen, was dies bedeutet. Nehmen wir an, daß wir allein auf Grund unserer ersten „Zeile“, der Faltung des Kap-

---

<sup>1)</sup> Dacqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 161. Jena 1915.

gebirges und der Sierrren von Buenos Aires, zehn gegen eins wetten können, daß die Verschiebungstheorie richtig ist. Dann können wir, da im ganzen mindestens sechs solche unabhängigen Kontrollen vorliegen, in Kenntniss dieser letzteren bereits 10<sup>e</sup>, d. i. eine Million gegen eins wetten, daß unsere Annahmen zutreffen. Diese Zahlen mögen übertrieben sein. Aber man möge bei seinem Urtheil berücksichtigen, was es zu bedeuten hat, wenn sich die unabhängigen Kontrollen mehren.

Nördlich des bisher betrachteten Gebietes gabelt sich die atlantische Spalte beiderseits von Grönland und wird zunehmend schmaler. Die beiderseitigen Übereinstimmungen verlieren dadurch an Beweiskraft, weil ihre Entstehung auch bei der jetzigen Lage der Schollen immer leichter erklärbar wird. Dennoch ist es nicht ohne Interesse, die Vergleichung bis zu Ende durchzuführen. Wir finden die Bruchstücke einer ausgedehnten Basaltdecke am Nordrande von Irland und Schottland, auf den Hebriden und auf den Färöern; sodann wechselt sie über Island hinüber zur grönländischen Seite, wo sie namentlich die große, den Scoresbysund im Süden begrenzende Halbinsel zusammensetzt und sich weiter bis 75° Nord die Küste entlang zieht. Auch an der westgrönländischen Küste finden sich ausgedehnte Basaltdecken. An allen diesen Orten kommen in gleicher Weise Landpflanzen führende Kohlen zwischen zwei basaltischen Lavadecken vor, woraus man auf ehemaligen Landzusammenhang geschlossen hat. Der gleiche Schluß ergibt sich aus der Verteilung der terrestrischen devonischen „Old Red“-Ablagerungen in Amerika von Neufundland bis New York, in England, Süd-norwegen und den Ostseeprovinzen, in Grönland und Spitzbergen. Diese Funde geben in ihrer Gesamtheit das Bild eines zur Entstehungszeit zusammenhängenden, einheitlichen Verbreitungsgebietes, welches heute zerstückelt ist, — nach den bisherigen Vorstellungen durch Versinken der Zwischenglieder, nach der Verschiebungstheorie durch Zerbrecen und Auseinandertreiben.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch das gleichartige Vorkommen ungefalteter karbonischer Ablagerungen einerseits in Nordostgrönland auf 81° Nordbreite und andererseits gegenüber auf Spitzbergen.

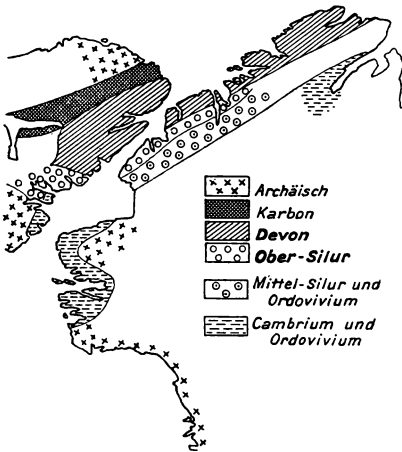
Auch zwischen Grönland und Nordamerika herrscht die zu erwartende Übereinstimmung im Bau. Bei Kap Farvel und nordwestlich davon treten nach der „Geologic Map of North America“ der U. S. Geol. Survey vielfach präkambrische Intrusivgesteine im Gneis auf, welche man amerikanischerseits gerade an der entsprechenden Stelle, nämlich auf der Nordseite der Belle-Islestraße, wiederfindet. Beim Smithsund und Robesonkanal im Nordwesten Grönlands besteht die Verschiebung nicht in einem Auseinanderziehen der Spaltenränder, sondern in einer horizontalen Verwerfung von großen Dimensionen,



einer sogenannten Blattverschiebung. Grinnell-Land gleitet an Grönland entlang, wodurch wohl auch die auffallend geradlinige Begrenzung der beiden Schollen erzeugt wird. Diese Verschiebung läßt sich in dem in Fig. 10 dargestellten Ausschnitt aus der geologischen Karte von Nordwestgrönland von Lauge-Koch<sup>1)</sup> erkennen, wenn man die Grenze zwischen Devon und Silur sucht, welche in Grinnell-Land auf  $80^{\circ} 10'$ , in Grönland auf  $81^{\circ} 30'$  liegt.

In aller Kürze seien hier noch einige Andeutungen gemacht, in welcher Weise bei der Rekonstruktion der präatlantischen Kontinentalverbindungen vorgegangen wurde. Eine ausführlichere Besprechung

Fig. 10.



Geologische Karte von Nordwestgrönland,  
nach Lauge-Koch.

der hierbei berücksichtigten Erscheinungen, wie Plastizität der Sialschollen, Schmelzung von unten u. a. wird zwar später noch gegeben werden. Allein es ist auch schon bei der geologischen Vergleichung der Spaltenränder notwendig, einiges hiervon zu erwähnen, um Mißverständnissen vorzubeugen.

Die Abrolhosbank an der Ostküste von Südamerika muß bei der Zusammenfügung der Schollen fortgelassen werden. Ihre zackige Kontur stellt sie in scharfen Gegensatz zu dem sonst recht geradlinig verlaufenden südamerikanischen Schelfrand und deutet eine be-

sondere Entstehung an. Vermutlich haben wir es hier mit geschmolzenen sialischen Massen (Granit) von der Unterseite der südamerikanischen Scholle zu tun, die durch deren Verschiebung an ihrem rückwärtigen Rande auftauchen. Ähnlich sind auch wohl die Granitmassen der Seychellen einst unter dem Rand von Madagaskar oder Vorderindien zum Vorschein gekommen, und, um dies vorweg zu nehmen, vielleicht auch der Unterbau von Island.

Ebenso muß der deltaartige Vorsprung der afrikanischen Küste an der Nigermündung zwar nicht ganz fortgelassen werden — denn die brasilianische Nordküste zeigt eine ihm entsprechende, freilich zu

<sup>1)</sup> Lauge-Koch, Stratigraphy of Northwest Greenland. Meddelelser fra Dansk geologisk Forening 5, Nr. 17, 1920, 78 S.

kleine Einbuchtung —, aber doch stark beschnitten werden, um die Schollen zum Schließen zu bringen. Daß es sich nicht um bloße Deltaablagerungen handelt, ist von verschiedenen Autoren betont worden. Mir scheint die Annahme sehr wahrscheinlich, daß es sich bei diesem Vorsprung — wenigstens zum Teil — um eine plastische Deformation der afrikanischen Scholle handelt, die wir mit einem Herausquetschen vergleichen können. Gerade im Winkel zwischen den beiden großen Lappen von Nordostafrika und Südafrika kann es natürlich leicht zu solchen Vorgängen kommen. Einen sehr ähnlichen Vorgang werden wir später im Gebiet des Roten Meeres in dem merkwürdigen Landdreieck zwischen Abessinien und der Somalihalbinsel kennen lernen. Mit diesen Druckäußerungen dürfte auch der Vulkanismus auf der durch Kamerun sich hindurchziehenden Bruchlinie zusammenhängen, welche den vulkanischen Kamerunberg trägt und sich in den Vulkaninseln Fernando Póo, Principe, S. Thomé und Annobom fortsetzt. Wir werden wiederholt der Erscheinung begegnen, daß Vulkane dort auftreten, wo die horizontalen Bewegungen der Erdrinde Druck erzeugen, so daß die flüssigen Sima-Einschlüsse der Sialscholle herausgepreßt werden.

In Nordamerika zeigt unsere Rekonstruktion eine Abweichung von der heutigen Karte insofern, als Labrador stark nach Nordwesten gedrückt erscheint. Es wurde angenommen, daß der starke Zug, der schließlich zum Abreißen Neufundlands von Irland führte, vor dem Abriß eine Dehnung und oberflächliche Zerreißung der beiderseitigen Schollenteile bewirkte. Auf der amerikanischen Seite wurde nicht nur die neufundländische Scholle (einschließlich der Neufundlandsbank) herausgebrochen und um etwa 30° gedreht, sondern ganz Labrador sackte bei dieser Gelegenheit nach Südosten, so daß der vorher geradlinige Grabenbruch St. Lorenzstrom—Belle-Islestraße seine jetzige S-förmige Biegung erhielt. Auch die Flachmeere der Hudsonbai und der Nordsee dürften bei dieser Zerrung entstanden oder vergrößert sein. Der Neufundlandschelf erfährt also eine zweifache Korrektur der Lage, nämlich eine Drehung und eine Verschiebung nach Nordwest, und paßt sich dadurch der Schelflinie bei Neu-Schottland wieder an, über die er gegenwärtig weit hinausragt.

Island wird zwischen einer Doppelspalte gelegen angenommen, worauf die heutige Tiefenkarte seiner Umgebung hindeuten scheint. Vielleicht entstand hier zuerst zwischen dem grönländischen und dem norwegischen Gneismassiv eine Spalte (Grabenbruch), die sich dann teilweise mit geschmolzenen Sialmassen von der Unterseite der Schollen anfüllte. Da die Spalte aber im übrigen, wie heute das Rote Meer, mit Sima gefüllt war, so konnte eine erneute Zusammenpressung der Schollen die Wirkung haben, daß diese Simafüllung unten von ihrer Verbindung mit den tieferen Regionen abgeschnitten und nach oben heraufgepreßt

wurde und so die großen Basaltüberschwemmungen schuf. Daß dies gerade im Tertiär stattfand, erscheint besonders plausibel; denn durch die tertiäre Westwanderung Südamerikas mußte auch auf Nordamerika ein Drehungsmoment übertragen werden, welches sich, solange die Verankerung durch die von Irland nach Neufundland hinüberreichenden Ketten hielt, nördlich davon in einer Zusammenpressung äußern mußte.

Es sei in diesem Zusammenhange auch ganz kurz der mittelatlantischen Bodenschwelle gedacht<sup>1)</sup>. Die Auffassung von Haug, welcher den ganzen Atlantik als eine riesige „Geosynklinale“ und die mittelatlantische Schwelle als den Beginn der Faltung dieser Geosynklinale betrachten will, ist heute wohl allgemein als unzureichend erkannt. Wir verweisen hier nur auf Andréés Kritik<sup>2)</sup>. Nach der Verschiebungstheorie handelt es sich wohl um die ehemalige Grabensohle aus der Zeit, als der Atlantik erst eine relativ schmale Spalte darstellte, die mit abgesunkenen Randpartien, Küstensedimenten und teilweise auch geschmolzenen sialischen Massen angefüllt war. Die Inseln, welche heute die lange Bodenschwelle krönen, sind wohl alle bereits zu dieser Zeit als Bruchstücke der Spaltenränder entstanden, was natürlich nicht hindert, daß ihr sichtbarer Aufbau ganz vulkanisch sein kann. Im weiteren Verlauf der Verschiebung blieb diese Spaltenfüllung gesammelt stets in der Mitte zwischen beiden Kontinenten. Die sogenannten Tiefseesande mit Mineralkomponenten bis zu 0,2 mm Durchmesser, die offenbar in Küstennähe abgelagert sind, aber von der Valdivia-Expedition und von der deutschen Südpolar-Expedition unter v. Drygalski mitten im Ozean entdeckt wurden, scheinen besonders auf unsere Deutung hinzuweisen, da nur auf diese Weise alle Teile des Meeresbodens früher küstennah gewesen sein können.

Weit weniger als über die atlantische Spalte ist in geologischer Hinsicht über die anderen von uns angenommenen Kontinentalzusammenhänge zu sagen.

Madagaskar besteht wie das benachbarte Afrika aus einer Tafel gefalteten Gneises mit nordöstlicher Streichrichtung. An der Abrißlinie sind beiderseits identische marine Sedimente abgelagert, welche andeuten, daß seit der Trias beide Länder durch einen überschwemmten Grabenbruch getrennt waren, was auch die madagassische Landfauna verlangt. Aber noch in der Mitte der Tertiärzeit, als Indien bereits abgerückt war, sind nach Lemoine zwei Tiere, der Potamochoerus und der Hippopotamus, von Afrika eingewandert, die, wie Lemoine meint, höchstens einen Meeresarm von 30 km Breite durchschwimmen

---

<sup>1)</sup> Vgl. die Karte des Atlantischen Ozeans in Schott, *Geographie des Atlantischen Ozeans*. Hamburg 1912.

<sup>2)</sup> K. Andréé, *Über die Bedingungen der Gebirgsbildung*, S. 86 f. Berlin 1914.

konnten<sup>1)</sup>, während jetzt der Kanal von Mozambique gut 400 km breit ist. Erst nach dieser Zeit kann sich also die madagassische Scholle auch untermeerisch von Afrika losgerissen haben, wodurch sich der weite Vorsprung erklärt, den Vorderindien in der Verschiebung nach Nordosten gegenüber Madagaskar bekommen hat.

Auch Vorderindien ist eine flache Tafel aus gefaltetem Gneis. Die Faltung wirkt noch heute formengebend in dem uralten Arvalgebirge im äußersten Nordwesten (am Rande der Wüste Tharr) und in den gleichfalls sehr alten Koranabergen. Nach Suess weist sie im ersteren nach N 36° O, in letzteren nach Nordost. Beide Richtungen stimmen also hinreichend mit der afrikanischen und madagassischen Streichrichtung überein, zumal nach der geringen, bei der Rekonstruktion nötigen Drehung Indiens. Übrigens tritt auch hier daneben eine etwas jüngere, aber immer noch mesozoische Faltung in den Ghats von Nellore oder dem Vellakondagebirge auf, welche von Nord nach Süd streicht und wohl mit der gleichfalls jüngeren nordsüdlichen Streichrichtung in Afrika gleichzusetzen ist. Die Diamantvorkommen in Indien schließen sich an die von Südafrika an. In unseren Rekonstruktionen ist angenommen, daß die indische Westküste mit der Ostküste Madagaskars zusammengehangen hat. Beide Küsten bestehen aus einem auffällig geradlinigen Abbruch eines Gneisplateaus, der den Gedanken nahelegt, sie könnten nach der Spaltenbildung aneinander entlang geglitten sein, ähnlich wie Grinnell-Land und Grönland. Am nördlichen Ende dieses an beiden Küsten etwa 10 Breitengrade langen Abbruches treten beiderseits Basalte auf. In Indien ist es die bei 16° Nordbreite beginnende Basaltdecke des Dekans, die aus dem Beginn des Tertiärs stammt und deshalb vielleicht in ursächlichen Zusammenhang mit der Ablösung gebracht werden darf. Und auf Madagaskar ist der nördlichste Teil der Insel ganz aus zwei verschieden alten Basalten aufgebaut, deren Entstehungszeit anscheinend noch nicht ermittelt ist.

Die riesigen, wesentlich im Tertiär gebildeten Falten des Himalajagebirges bedeuten den Zusammenschub eines erheblichen Stückes der Erdkrinde, durch dessen Rekonstruktion die Umrisse des asiatischen Kontinents ganz andere werden. Wahrscheinlich nahm das ganze östliche Asien über Tibet und die Mongolei hinweg bis zum Baikalsee und vielleicht sogar bis zur Beringstraße an dem Zusammenschub teil. Die neueren Untersuchungen haben gezeigt, daß die jungen Faltungsvorgänge keineswegs nur auf den Himalaja selbst beschränkt sind, sondern z. B. noch im Gebirge Peters des Großen eozäne Schichten bis 5600 m Seehöhe emporgefaltet und im Tianschan-System große Überschiebungen

---

<sup>1)</sup> Lemoine, Madagaskar. Handb. d. regional. Geol. VII, 4, 6. Heft, S. 27. Heidelberg 1911.

erzeugt haben <sup>1)</sup>. Aber auch da, wo solche Faltungserscheinungen fehlen, steht die junge Erhebung ungefalteten Landes gleichfalls in enger Verbindung mit diesem Faltungsprozeß. Die gewaltigen Massen sialischen Materials, welche bei der Faltung in die Tiefe gesenkt werden, müssen dort schmelzen und sich ausbreitend die angrenzenden Schollenteile unterlagern, wodurch diese gehoben werden müssen. Beschränken wir uns in unserer Betrachtung auf die höchste, im Mittel etwa 4000 m

Fig. 11.



Der lemurische Zusammenschub.

über dem Meere liegende Region der asiatischen Scholle, die in der Schubrichtung 1000 km mißt, und nehmen wir (trotz der größeren Höhe!) nur eine gleiche Verkürzung wie bei den Alpen, nämlich auf den vierten Teil ihrer ursprünglichen Erstreckung an, so erhalten wir eine Verschiebung Vorderindiens um 3000 km, so daß es vor dem Zusammenschub neben Madagaskar gelegen haben muß. Für eine versunkene Lemuria

<sup>1)</sup> R. von Klebelsberg, Die Pamir-Expedition des D. u. Österr. Alpenvereins vom geologischen Standpunkt. Zeitschr. d. D. u. Österr. A.-V. 1914 (XLV), S. 52—60, sowie briefliche Mitteilungen des Autors. Seine Hauptarbeit ist noch nicht veröffentlicht.

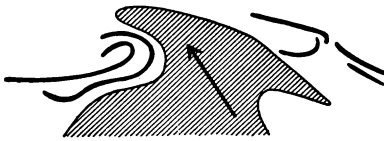
im alten Sinne bleibt kein Platz. Die Spuren dieses riesigen Zusammenschubes sind auch rechts und links von der ziemlich schmalen Schubzone noch zu erkennen. Die Loslösung Madagaskars von Afrika, das ganze System junger Grabenbrüche in Ostafrika, zu dem auch das Rote Meer und das Jordantal gehört, bilden Teilerscheinungen in diesem Bild. Die Somalihalbinsel dürfte etwas nach Norden herungeschleppt sein und die Aufpressung des abessinischen Gebirges hiermit zusammenhängen; die hier nach unten über die Schmelzisotheime hinaus versenkten Sialmassen flossen unter der Scholle nach Nordosten, um hier im Winkel zwischen Abessinien und der Somalihalbinsel herauszuquellen. Auch Arabien spürte noch den Zug nach Nordosten und hat die Ausläufer des Akdargebirges wie einen Sporn in die persischen Gebirgsketten hineingedrängt. Die fächerförmige Scharung der Bergketten des Hindu-kusch- und Soleimangebirges deutet an, daß hier die westliche Grenze des Zusammenschubs erreicht ist; ihr getreues Spiegelbild tritt auch am Ostrande desselben auf, wo die Bergketten von Burma aus der durch Annam, Malakka und Sumatra vorgezeichneten Richtung heraus bis zur Nordsüdrichtung herungeschleppt werden. Das ganze östliche Asien ist wohl noch von diesem Zusammenschub betroffen worden, der seine westliche Begrenzung in dem gestaffelten Faltensystem zwischen Hindu-kusch und Baikalsee und dessen Fortsetzung bis zur Beringstraße findet, während die Ostgrenze durch die bauchigen Küstenformen mit den Inselgürländern Ostasiens gebildet wird.

Die Ostküste Vorderindiens hat nach unserer Annahme mit der Westküste Australiens unmittelbar zusammengehungen. Sie stellt gleichfalls einen jähen Abbruch des Gneisplateaus dar. Eine Unterbrechung erfährt dies nur durch das grabenartig schmale Kohlengebiet des Godavari, welches aus den unteren Gondwanaschichten besteht. Die oberen Gondwanaschichten liegen, der Küste folgend, diskordant quer über seinem Ende. Auch Westaustralien bildet eine ähnliche Gneistafel mit welliger Oberfläche wie Vorderindien und Afrika. Sie fällt längs der Küste mit einem langen Steilrande, der „Darling Range“ und ihrer nördlichen Fortsetzung zum Meere ab. Vor dem Steilrand liegt ein abgesunkener Streifen flachen Landes, der aus paläozoischen und mesozoischen Schichten aufgebaut und an wenigen Stellen von Basalten durchbrochen ist, und vor diesem wieder ein schmaler, bisweilen ganz verschwindender Gneiszug an der Küste. Die genannten Sedimente enthalten am Irvinflusse auch ein Kohlengebiet. Die Streichrichtung der Gneisfaltung ist in Australien überall meridional gerichtet und würde also bei Angliederung an Vorderindien in Nordost-Südwest verwandelt und somit parallel zur dortigen Hauptrichtung werden.

Im Osten Australiens verlaufen die wesentlich im Karbon gefalteten australischen Kordillieren längs der Küste von Süden nach Norden, um

hier in einem staffelförmig nach Westen zurückweichenden Falten-system, dessen einzelne Falten immer genau nordsüdlich verlaufen, zu endigen. Ebenso wie bei den staffelförmigen Falten zwischen Hindukusch und Baikalsee zeigt dies die seitliche Grenze des Zusammenschubes an; die riesenhafte Andenfaltung, welche in Alaska beginnend durch vier Erdteile hindurchstreicht, erreicht hier ihr Ende. Die westlichsten Ketten der australischen Kordilleren sind die ältesten, die östlichsten die jüngsten. Tasmanien bildet eine Fortsetzung dieses Falten-systems. Interessant ist im Bau des Gebirges die spiegelbildliche Ähnlichkeit mit den südamerikanischen Anden, wo wegen der Lage jenseits des Poles die östlichsten Ketten die ältesten sind. Indessen fehlen in Australien die jüngsten Ketten. Suess findet sie in Neuseeland wieder<sup>1)</sup>. Die Faltung reicht freilich auch hier nicht bis ins Tertiär: „Nach Ansicht der meisten neuseeländischen Geologen fällt die Hauptfaltung der maorischen Gebirgskette in die Zeit zwischen Jura und Kreide.“ Vorher war alles vom Meere bedeckt, erst die Faltung „verwandelte die neuseeländische Region in eine Landmasse“. Oberkreide und Tertiär liegen meist randlich und

Fig. 12.



Sprengung der Inselketten durch Neuguinea, schematisch.

ungefaltet. Und zwar gibt es Kreideablagerungen auf der Südinsel nur an ihrer Ostküste, nicht an der Westküste, wo für die Kreide noch Landzusammenhang angenommen wird. Im Tertiär erfolgte der „Abbruch der Westküste“, „denn die tertiären Meeresablagerungen finden sich auch an dieser“. Im Jungtertiär endlich

entstanden noch weitere, freilich geringere Faltungen, Verwerfungen und Überschiebungen, die dem Gebirge seine heutigen Formen gaben<sup>2)</sup>. Nach der Verschiebungstheorie erklärt sich dies alles dadurch, daß Neuseeland früher den Ostrand der australischen Scholle bildete, so daß seine Hauptfaltung sich unmittelbar an die australischen Kordilleren anschließt. Als diese Ketten sich aber als Girlande ablösten, erlosch auch der Faltungsvorgang. Die jungtertiäre Störung kann wohl mit dem Vorbeiziehen und Abwandern der australischen Scholle im Zusammenhang stehen.

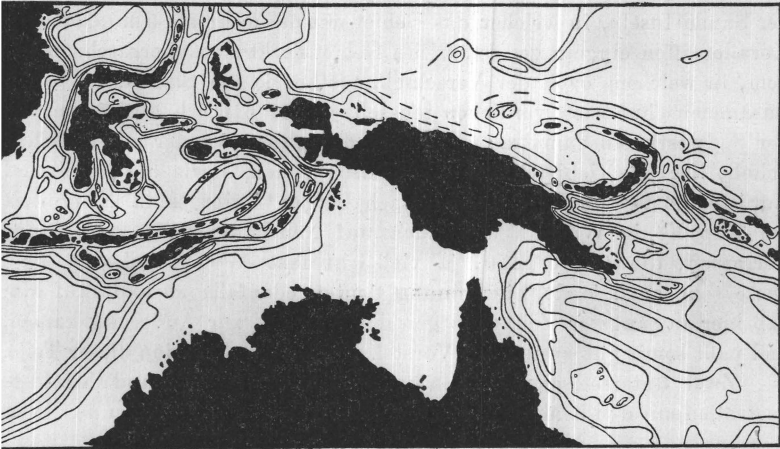
Von diesen letzten Bewegungen Australiens erzählt uns namentlich die Tiefenkarte der Umgebung von Neuguinea mancherlei Einzelheiten. Die große australische Scholle drängt sich, wie Fig. 12 schematisch erläutert, mit ihrem amboßartig verdickten vorderen Ende, dem zu einem

<sup>1)</sup> E. Suess, Das Antlitz der Erde 2, 203. Wien 1888.

<sup>2)</sup> O. Wilckens, Die Geologie von Neuseeland. „Die Naturwissenschaften“ 1920, Heft 41. Ähnlich in Geol. Rundsch. 8, 143—161, 1917.

hohen jugendlichen Gebirge aufgefalteten Neuguinea, von Südosten kommend, zwischen die früher vermutlich geschlossenen Ketten der südlichsten Sunda-Inseln und des Bismarck-Archipels. Betrachten wir auf der Tiefenkarte Fig. 13<sup>1)</sup> die beiden südlichsten Reihen der Sunda-Inseln; die westöstlich streichende Kette Java—Wetter biegt sich am Ende spiralig über die Banda-Inseln zur Siboga-Bank nach Nordost, Nord, Nordwest, West, Südwest. Die ihr vorgelagerte Timorkette bezeugt schon durch ihre gestörte, wechselnde Richtung die Kollision mit dem australischen Schelf, für die H. A. Brouwer auch die geologische Beweisführung im einzelnen gegeben hat<sup>2)</sup>. Diese Kette wird weiterhin in einer ähnlichen energischen Spirale bis Buru zurückgebogen. Und

Fig. 13.



Tiefenkarte der Umgebung von Neuguinea.

eine sehr interessante Ergänzung zu diesem Vorgang sieht man auf der Ostseite Neuguineas: Von Südosten kommend, hat dies die Inseln des Bismarck-Archipels gestreift, dabei die Insel Neupommern an ihrem früheren Südostende erfaßt und mit sich geschleppt, die lange Insel um mehr als 90° herumdrehend und halbkreisförmig biegend. Eine tiefe

<sup>1)</sup> Am anschaulichsten wirkt die vorzügliche Karte der Sunda-Inseln in G. A. Molengraaff, *Modern Deep-Sea Research in the East Indian Archipelago*, *The Geograph. Journal*, Febr. 1921, S. 95—121, welche Landhöhen und Meerestiefen in gleichen Intervallen gibt.

<sup>2)</sup> H. A. Brouwer, *On the Crustal Movements in the region of the curving rows of Islands in the Eastern Part of the East-Indian Archipelago*. *Kon. Ak. v. Wetensk. te Amsterdam Proceed.* **22**, Nr. 7 u. 8, 1916. (Auch *Geol. Rundsch.* **8**, Heft 5—8, 1917 und *Nachr. d. Ges. d. Wissensch. z. Göttingen* 1920.)



Rinne blieb hinter ihr zurück und bezeugt die Gewaltsamkeit dieses Vorganges, da das Sima sie noch nicht wieder auszufüllen vermocht hat.

Es wird manchem kühn erscheinen, solche Schlüsse allein aus der Tiefenkarte zu ziehen. Aber diese erweist sich fast überall als zuverlässiger Wegweiser für die Schollenbewegungen namentlich der letzten Zeiten. Und in unserem Falle ist es gewiß beachtenswert, daß gerade die holländischen Geologen, die im Sunda-Archipel arbeiten, mit die ersten waren, die sich auf den Boden der Verschiebungstheorie gestellt haben<sup>1)</sup>. In der Tat weisen zahlreiche Einzelergebnisse auf die Richtigkeit unserer Anschauungen hin. So erklärte z. B. Wanner die tektonisch unerwartete Tiefsee zwischen Buru und Sula Besi dadurch, daß ersteres sich um 10 km horizontal verschoben habe<sup>2)</sup>, was sich gut in unsere Vorstellungen einfügen läßt. G. A. F. Molengraaff<sup>3)</sup> gibt eine Karte der Sunda-Inseln, in welcher das Gebiet mit um mehr als 5 m gehobenen Korallenriffen eingetragen ist. Dies Gebiet deckt sich überraschend mit dem, in welchem nach der Verschiebungstheorie die Sialmassen durch Zusammenschub sich verdicken müssen, es ist nämlich abgesehen von der Südwestküste Sumatras und Javas das ganze vor der australischen Scholle liegende Gebiet bis Celebes einschließlich, sowie die Nord- und Nordwestküste von Neuguinea. Nach Gagel<sup>4)</sup> gibt es in Neuguinea am Kap König Wilhelm und auch auf Neu-Pommern<sup>5)</sup> ganz junge Terrassen, die 1000, 1250, ja vielleicht fast 1700 m gehoben sind. Diese sehr auffallende Erscheinung deutet jedenfalls auch darauf hin, daß hier in jüngster Zeit ganz gewaltige Kräfte zur Äußerung kamen, und paßt somit gut zu unserer Vorstellung von der Kollision dieser Teile.

Zwei unterseeische Rücken verbinden Neuguinea und Nordostaustralien mit den beiden neuseeländischen Inseln und scheinen den Weg

<sup>1)</sup> G. A. F. Molengraaff, The coral reef problem and isostasy. Kon. Akad. van Wetensch. 1916, S. 621 Anmerkung. — L. van Vuuren, Het Gouvernement Celebes, Proeve eener Monographie I, 1920 (namentlich S. 6—50). — Wing Easton, Het ontstaan van den maleischen Archipel, bezien in het licht van Wegener's hypothesen. Tijdschrift van het Kon. Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap 38, Nr. 4, Juli 1921, S. 484—512; Derselbe, On some extensions of Wegener's Hypothesis and their bearing upon the meaning of the terms Geosynclines and Isostasy. Verh. van het Geolog.-Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Kolonien, Geolog. Ser., Deel V, Bl. 113—133, Juli 1921. (Den von diesem Autor vorgeschlagenen Abänderungen der Verschiebungstheorie kann ich allerdings nicht zustimmen.)

<sup>2)</sup> Wanner, Zur Tektonik der Molukken. Geol. Rundsch. 12, 160, 1921.

<sup>3)</sup> G. A. F. Molengraaff, De Geologie der Zeeën van Nederlandsch Oost-Indië (Overgedrukt uit: De Zeeën van Nederlandsch Oost-Indië. Leiden 1921).

<sup>4)</sup> C. Gagel, Beiträge zur Geologie von Kaiser-Wilhelmsland. Beitr. z. geol. Erforsch. d. Deutsch. Schutzgebiete, Heft 4. 55 S. Berlin 1912.

<sup>5)</sup> K. Sapper, Zur Kenntnis Neu-Pommerns und des Kaiser-Wilhelmslandes. Petermanns Mitt. 56, 89—193, 1910.

der Verschiebung zu weisen, vielleicht als geschmolzene, zurückgebliebene Massen von der Unterseite der Scholle.

Über die Verbindung Australiens mit Antarktika läßt sich wegen unserer Unkenntnis des letzteren Kontinents nur wenig sagen. Ein breiter Streifen tertiärer Sedimente begleitet die ganze Südkante Australiens und zieht sich durch die Baßstraße hindurch, findet sich aber dann erst auf Neuseeland wieder, während die Ostküste Australiens frei von ihnen ist. Vielleicht hat also im Tertiär schon ein überschwemmter Grabenbruch Australien von Antarktika getrennt, vielleicht auch schon, mit Ausnahme des tasmanischen Ankers, Tiefsee. Allgemein wird angenommen, daß sich der tasmanische Bau nach dem antarktischen Viktorialand fortsetzt. Andererseits schreibt Wilckens<sup>1)</sup>: „Der südwestliche Bogen des neuseeländischen Faltengebirges (der sogenannte Otagosattel) erscheint an der Ostküste der Südinsel jäh abgeschnitten. Dies Ende ist nicht natürlich, sondern beruht wohl zweifellos auf einem Abbruch. Die Fortsetzung des Gebirges kann nur in einer Richtung gesucht werden, in der auf die Kordillere des Grahamlandes, die »Antarktanden«.“

Erwähnt sei noch, daß in ähnlicher Weise auch das Ostende des Kapgebirges in Südafrika einen Abbruch darstellt. Nach unserer freilich unsicheren Rekonstruktion der Lage von Antarktika hätten wir die Fortsetzung des Gebirges hier zwischen Gaußberg und Coatsland zu suchen, wo die Küste aber noch ganz unbekannt ist.

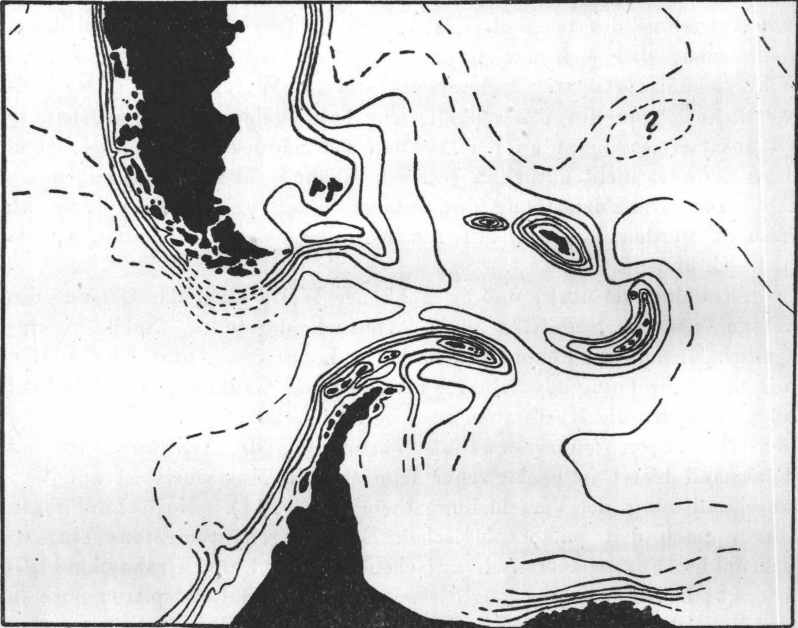
Die schon früher erwähnte Verbindung der Westantarktis mit Feuerland bietet in geologischer Hinsicht ein Musterbeispiel zur Veranschaulichung der Verschiebungstheorie (Fig. 14). Noch im Pliozän dürfte nach den paläontologischen Beziehungen wenigstens ein beschränkter Formenaustausch zwischen Feuerland und Grahamland geherrscht haben, was nur möglich war, wenn beide Landspitzen noch in der Nähe des Inselbogens der Süd-Sandwich-Inseln lagen. Seitdem sind sie von da aus nach Westen weitergewandert, ihre schmale Verbindung aber ist im Sima stecken geblieben. In der Tiefenkarte<sup>2)</sup> erkennt man deutlich, wie die gestaffelten Ketten eine nach der anderen von den vorrückenden Schollen abgestreift und zurückgelassen werden. Die gerade mitten in der Abrißstelle gelegene Gruppe der Süd-Sandwich-Inseln ist durch diese Bewegungsvorgänge am stärksten gebogen worden; dabei wurden die Sima-Einschlüsse ausgepreßt. Die Inseln sind basaltisch und eine davon (die Insel Zawadowski) noch heute tätig. Im übrigen

<sup>1)</sup> O. Wilckens, Die Geologie von Neuseeland. Geol. Rundsch. 8, 143—161, 1917.

<sup>2)</sup> Die beste Tiefenkarte der Drakestraße ist die von H. Heyde entworfene, die F. Kühn reproduziert (siehe nächste Seite). Indessen sind die Abweichungen von unserer Figur noch nicht von Belang.

fehlen nach F. Kühn<sup>1)</sup> auf der ganzen Kette des „Südantillenbogens“ die jungtertiären Andenfaltungen, während die älteren Faltungen auf Süd-Georgien, Süd-Orkney usw. bekannt sind. Gerade diese Eigentümlichkeit wird durch die Verschiebungstheorie erklärt, denn wenn wirklich die Faltung in Südamerika und Grahamland durch die Westwanderung der Schollen erzeugt wurde, so mußte sie auf dem Südantillenbogen in dem Zeitpunkt aufhören, als dieser stecken blieb.

Fig. 14.



Tiefenkarte der Drakestraße, nach Groll.

In diesem Zusammenhange könnten auch noch die permokarbonen Glazialerscheinungen zur Begründung der Verschiebungstheorie genannt werden, welche überall auf den Südkontinenten gefunden werden, denn sie bilden — ähnlich wie das Old Red auf der nördlichen Halbkugel — die Bruchstücke eines einheitlichen Landgebietes, welche sich bei ihren großen heutigen Entfernungen viel leichter durch die Verschiebungstheorie als durch versunkene Zwischenländer erklären lassen. Indessen soll diese Erscheinung erst im übernächsten Kapitel ausführlicher besprochen werden, weil sie in erster Linie von klimatischem Interesse ist.

<sup>1)</sup> F. Kühn, Der sogenannte „Südantillen-Bogen“ und seine Beziehungen. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin 1920, Nr. 8/10, S. 249—262.

## 5. Kapitel. Paläontologische und biologische Argumente.

Die paläontologischen und biologischen Belege für einen früheren Zusammenhang der in Betracht kommenden Kontinente sind äußerst zahlreich, so daß es unmöglich ist, im Rahmen des gegenwärtigen Buches eine Darstellung davon zu geben. Indessen sind diese Dinge schon oft von pflanzen- und tiergeographischer Seite her behandelt worden, und zwar namentlich auch von den Anhängern der Landbrückenhypothese, so daß im allgemeinen auf diese Literatur verwiesen werden darf<sup>1)</sup>. Wir können uns deshalb hier auf einen allgemeinen Überblick und die Heraushebung einiger besonders auffallender Tatsachen beschränken.

Die Antwort auf die Frage, ob zwischen zwei Kontinenten eine Verbindung geherrscht hat, wird häufig von den Spezialforschern verschiedener Richtung verschieden beantwortet, weil ein jeder dazu neigt, das Ergebnis seines engeren Forschungsbereiches zu verallgemeinern. Es war deswegen ein glücklicher Gedanke von Arldt, um zu einem Überblick auf breiterer Grundlage zu kommen, für jede Landbrücke und jede Zeit eine Abstimmung unter den verschiedenen Spezialforschern vorzunehmen. Es ist selbstverständlich, daß dieses Vorgehen manches Mißliche mit sich bringt. Aber bei der Vielseitigkeit des Tatsachenmaterials bleibt kaum ein anderer Weg, und das Ergebnis scheint auch die Methode zu rechtfertigen. Er benutzte dazu die Äußerungen bzw. Karten von: Arldt, Burckhardt, Diener, Frech, Fritz, Handlirsch, Haug, v. Ihering, Karpinsky, Koken, Koßmat, Katzer, Lapparent, Matthew, Neumayr, Ortman, Osborn, Schuchert, Uhlig, Willis. Die Tabelle auf S. 52 zeigt einen Auszug aus dieser Arldtschen Statistik, und die ersten vier Landbrücken sind ferner in Fig. 15 durch Kurven veranschaulicht. Hierin sind für jede Landbrücke drei Kurven gezeichnet, nämlich die Zahl der bejahenden, die Zahl der verneinenden Stimmen und deren Differenz, also die Stärke der Majorität, letztere durch Schraffur der zugehörigen Fläche hervorgehoben. Diese vier ersten Landbrücken sind solche über heutige Tiefseegebiete, die uns hier besonders interessieren. Das Resultat ist, wie man sieht, trotz mancher Meinungsverschiedenheiten bereits in den großen Zügen recht klar: Die Verbindung zwischen Australien und Vorderindien (nebst Madagaskar und Südafrika) erlosch bald nach Beginn der Jurazeit; die Verbindung zwischen Südamerika und Afrika erlosch in der Unter- bis Mittelkreide, und die Verbindung zwischen Vorderindien und Madagaskar erlosch an der Grenze von Kreide und Tertiär. Bis zu diesen Zeitpunkten

---

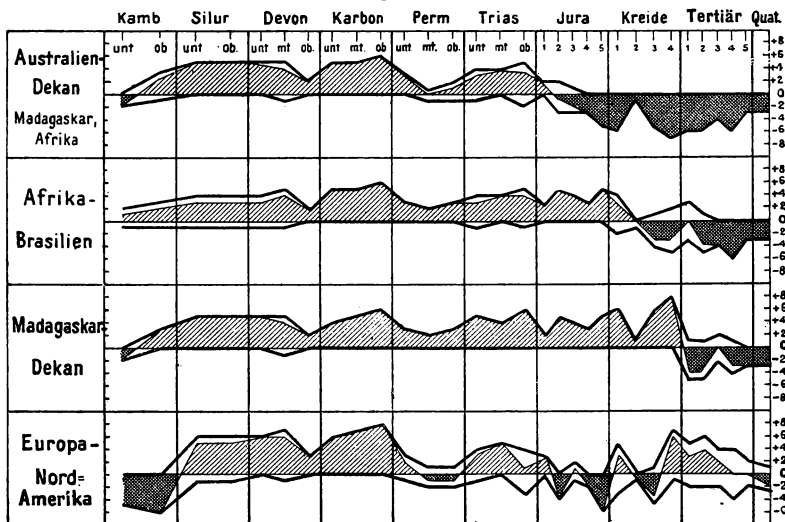
<sup>1)</sup> Die einzelnen Landbrücken sind u. a. behandelt von Th. Arldt in seinem Handb. d. Paläogeographie I, Paläoökologie, Leipzig 1917, wo man auch den größten Teil der Spezialliteratur angegeben findet.

		Australien—Afrika (Dekan, Madagaskar)		Afrika—Südamerika		Vorderindien— Madagaskar		Europa— Nordamerika		Feuerland— Westantarktis		Australien— Ostantarktis		Nordamerika— Südamerika		Alaska—Sibirien	
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Unter-	} Kambrium . . .	2	1	2	1	2	1	5	5	2	2	5	5	6	6	5	6
Ober-		3	1	3	1	3	1	6	6	3	3	6	6	6	6	6	6
Unter-	} Silur . . . . .	5	5	4	1	5	5	6	1	4	4	4	3	4	3	1	6
Ober-		5	5	4	1	5	5	6	1	4	4	4	1	7	1	6	6
Unter-	} Devon . . . . .	5	5	4	1	5	5	6	5	6	4	4	3	3	3	2	4
Mittel-		5	1	5	1	5	1	7	1	1	4	1	4	4	4	1	7
Ober-	} Karbon . . . . .	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	2	3	3	3
Unter-		5	5	5	5	4	6	1	3	4	1	7	7	2	5	7	7
Mittel-	} Perm. . . . .	6	6	6	6	6	8	5	5	5	8	2	6	2	6	2	6
Ober-		3	3	3	3	3	3	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2
Unter-	} Trias . . . . .	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1
Mittel-		2	1	3	3	3	1	2	3	3	2	1	3	3	3	3	3
Ober-	} Rhaet . . . . .	4	1	4	1	5	4	1	1	3	4	3	3	5	5	4	4
Unter-		4	4	4	4	4	5	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2
Ober-	} Lias . . . . .	5	2	5	1	6	4	3	1	4	5	8	8	8	8	8	8
Unter-		2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Ober-	} Dogger . . . . .	2	3	5	5	5	4	4	4	4	4	6	4	2	2	2	2
Unter-		1	3	4	4	4	2	1	3	2	2	4	3	1	2	1	1
Ober-	} Malm . . . . .	3	3	3	3	3	2	2	2	1	2	3	1	2	2	2	2
Unter-		5	5	5	5	5	6	4	1	3	7	6	7	6	6	6	6
Ältere	} Unter- Jüngere	6	4	2	6	5	3	1	4	2	3	8	7	7	7	7	7
Ober-		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Ältere	} Mittel- Jüngere	5	1	4	6	1	5	1	4	1	4	3	4	2	5	5	5
Ober-		7	2	5	8	7	1	1	6	1	6	4	6	4	6	4	6
Unteres	} Eozän . . . . .	6	3	3	1	5	5	2	6	3	3	2	5	7	1	1	1
Oberes		6	1	5	1	5	6	2	2	4	1	5	8	7	1	1	1
Oligozän	} Miozän . . . . .	4	4	2	2	4	2	1	4	4	6	7	1	1	1	1	1
Miozän		6	6	1	4	4	4	1	6	6	2	6	7	1	1	1	1
Pliozän	} Quartär . . . . .	3	3	3	3	2	2	1	3	3	4	3	1	1	1	1	1
Quartär		3	3	3	3	1	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3

herrschte an allen drei Stellen seit kambrischen Zeiten Landverbindung. Erheblich unregelmäßiger war die Landverbindung zwischen Nordamerika und Europa. Aber auch hier herrscht trotz des häufigen Wechsels doch eine recht weitgehende Übereinstimmung der Ansichten. Die Verbindung war in der älteren Zeit wiederholt, namentlich im Kambrium, im Perm sowie in der Jura- und Kreidezeit, gestört, offenbar aber nur durch Transgressionen, welche später die Wiederherstellung der Verbindung zuließen. Der endgültige Abbruch der Beziehungen, wie er der heutigen Trennung durch eine breite Tiefsee entspricht, kann aber erst im Quartär vor sich gegangen sein.

Ganz anders zu bewerten sind die folgenden beiden Spalten unserer Tabelle, welche die Verbindungen zur Antarktis einerseits von Feuerland und andererseits von Australien betreffen. Das starke Überwiegen der negativen Stimmen ist hier offenkundig durch unsere geringe Kenntnis von Antarktika entstanden, welche viele Autoren veranlaßt hat, von einer Verbindung dieses Kontinents mit den anderen noch abzusehen, weil noch kein Anlaß zu dieser Hypothese vorlag. Es kommt hier aus diesem Grunde nur auf die Verteilung der positiven Stimmen an. Diese scheinen zu zeigen, daß in der Drakestraße hauptsächlich von der Kreide

Fig. 15.



Zahl der bejahenden (obere starke Kurve) und Zahl der verneinenden Stimmen (untere starke Kurve)

zur Frage der Existenz von vier Landbrücken seit dem Kambrium.

Die Differenz (Majorität) ist schraffiert. Doppelt, wenn verneinend.

bis zum Pliozän, aber auch früher vielfach ein Formenaustausch vor sich ging, und zwischen Australien und der Ostantarktis namentlich vom Jura bis zum Eozän<sup>1)</sup>. Hierzu ist noch zu bemerken, daß die sehr reichen Beziehungen Australiens zu Südamerika, die offenbar über Antarktika als Brücke gingen, hier aber bisher noch nicht nachgewiesen sind,

<sup>1)</sup> Auch die parallele, in mancher Hinsicht aber gesonderte Brücke (Neuguinea-) Neuseeland—Westantarktis—Südamerika hat nach O. Wilckens noch in der Kreide bestanden, denn die an der Ostküste Neuseelands liegenden marinen Ablagerungen des Obersenon sind mit denen der Westküste Südamerikas faunistisch verwandt.

von Arldt unberücksichtigt gelassen sind, wie denn überhaupt seine Tabelle naturgemäß nicht in der für unsere Zwecke passendsten Form entworfen ist.

Die letzten beiden Spalten unserer Tabelle geben Brücken an bei Gebieten, in denen die Schollen auch heute noch zusammenhängen, nämlich die mittelamerikanische Brücke und die Brücke der Beringstraße. Brücken dieser Art spielen natürlich in der Verschiebungstheorie keine Rolle, weil hier die bisherigen Vorstellungen über ihr zeitweiliges Auftauchen und ihre Wiederbedeckung durch Flachmeer nicht geändert werden. Wir erwähnen gerade diese beiden Brücken nur als Beispiele, um gewisse Mißverständnisse zu beseitigen. Die Betrachtung der Karte zeigt sofort, daß die jetzige Schollenverbindung zwischen Süd- und Mittelamerika nicht etwa auf zufälliger Berührung beruht. Diese Schollen haben vielmehr von alters her zusammengehungen, wenn auch zeitweise, wie unsere Tabelle lehrt, unter Wasser. Über Wasser lag die Verbindung anscheinend im Silur und Devon, dann wieder im Perm bis Mittel-Trias, ferner in der Kreide und — dies unbestritten — nach dem Miozän. Der dauernde Zusammenhang der Schollen steht keineswegs damit im Widerspruch, daß sich Südamerika eher von Afrika ablöste als Nordamerika von Europa, zumal wenn man die großen plastischen Deformationen berücksichtigt, die bei Mittelamerika eingetreten sein müssen. Die Bewegung Südamerikas bestand eben zum großen Teil in einer Drehung. Ähnliches gilt auch für den Schollenzusammenhang an der Beringstraße. Diener's schon erwähnter Einwand: „Wer Nordamerika an Europa heranschiebt, zerreißt seinen Zusammenhang mit der asiatischen Kontinentalscholle an der Beringstraße“<sup>1)</sup> trifft nur für die Merkatorkarte, aber nicht auf der Erdkugel zu, da auch die Bewegung Nordamerikas wesentlich in einer Drehung besteht. Die Schollen waren hier niemals zerrissen, und die Brücke lag über Wasser im Silur und Devon, ferner vom Mittelkarbon bis Mittelperm, sodann im Lias und Dogger und schließlich von der Kreide bis zum Quartär, hier vielleicht unter teilweiser Behinderung durch Eis.

Gehen wir nun über zu einer Besprechung der atlantischen Spalte vom biologischen Gesichtspunkte aus. Der Atlantik wird allgemein für jung im Gegensatz zum Pazifik gehalten. So schreibt L. v. Ubusch: „Im Stillen Ozean finden wir zahlreiche altertümliche Formen, wie *Nautilus*, *Trigonia*, *Ohrenrobbe*. Derartige Formen fehlen im Atlantischen Ozean“<sup>2)</sup>. W. Michaelsen machte mich darauf aufmerksam, daß die

<sup>1)</sup> Diener, Die Großformen der Erdoberfläche. Mitt. d. k. k. geol. Ges. Wien 58, 329—349, 1915. Derselbe, Die marinen Reiche der Triasperiode. Denkschr. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., 1915.

<sup>2)</sup> L. v. Ubusch, Wegeners Kontinentalverschiebungstheorie und die Tiergeographie. Verh. d. Physikal.-Med. Ges. z. Würzburg 1921 (Separat, 13 Seiten).

heutige Verbreitung der Regenwürmer ein besonders einwandfreies Zeugnis für die früheren atlantischen Landverbindungen liefert, weil für diese Tiere das Meer im allgemeinen ein unüberschreitbares Hindernis ist<sup>1)</sup>. Eine besonders große Zahl von Verwandtschaftsfäden spinnt sich bei ihnen in den verschiedensten Breiten quer über den Atlantischen Ozean fort. Im Südatlantik weisen diese Beziehungen mehr auf ältere Zeiten hin (Chilotaceen, Glossoscolecinen-Microchaetinen, Ocneroдрilinen, jüngere Microchaetinen, Trigastrinen), während der Nordatlantik nicht nur von der vielleicht älteren Gattung Sparganophilus überspannt wird, sondern auch von den zweifellos jungen Gattungen der Lumbricinen, die in zusammenhängendem Zuge von Japan bis Portugal verbreitet sind und zugleich jenseits des Atlantik im Osten der Union (nicht aber im Westen!) in endemischen Arten auftreten<sup>2)</sup>.

Für die nordatlantische Brücke ist sehr lehrreich die folgende, von Arldt (a. a. O., S. 39 f.) gegebene Tabelle, welche die Prozentzahlen der identischen Reptilien und Säugetiere hüben und drüben angibt:

	Reptilien Proz.	Säugetiere Proz.
Karbon . . . . .	64	—
Perm . . . . .	12	—
Trias . . . . .	32	—
Jura . . . . .	48	—
Untere Kreide . . . . .	17	—
Oberer Kreide . . . . .	24	—
Eozän . . . . .	32	35
Oligozän . . . . .	29	31
Miozän . . . . .	27	24
Pliozän . . . . .	?	19
Quartär . . . . .	?	30

Der Gang dieser Zahlen stimmt gut mit unserem in Fig. 15 dargestellten Abstimmungsresultat überein, nach welchem die Landverbindungen im Karbon, in der Trias, dann allerdings nur für den unteren, nicht mehr den oberen Jura, aber wieder von der Oberkreide ab das

<sup>1)</sup> Herr Michaelsen hatte die Güte, mir die Kärtchen seines Werkes „Die geographische Verbreitung der Oligochaeten“, 186 Seiten (Berlin 1903), durch Nachtragungen auf den neuesten Stand zu bringen und sie durch wertvolle mündliche Mitteilungen zu ergänzen.

<sup>2)</sup> Mit einem ähnlichen Gedankengang kam Irmscher in seiner am 11. Oktober 1919 in Hamburg gehaltenen öffentlichen Antrittsvorlesung: „Die Entstehung der Kontinente in ihren Beziehungen zur Pflanzenverbreitung“ zu dem Resultat, daß letztere sich gleichfalls mit der Verschiebungstheorie in Einklang bringen läßt. Die großen Verbreitungsmöglichkeiten des Pflanzen-samens z. B. durch Stürme, schaffen hier allerdings eine weitgehende Durchmischung.



ältere Tertiär hindurch von der Mehrzahl der Fachgelehrten angenommen wird. Ganz besonders tritt die Übereinstimmung für das Karbon hervor, vielleicht weil hier die Fauna besonders vollständig bekannt ist<sup>1)</sup>. Sowohl über die Fauna wie die Flora des europäischen und nordamerikanischen Karbons liegen besonders eingehende Untersuchungen in großer Zahl vor von Dawson, Bertrand, Walcott, Ami, Salter, v. Klebelsberg u. a. Letzterer hat besonders auf die faunistische Gemeinsamkeit der marinen Zwischenschichten in den kohlenführenden Schichtenfolgen vom Donez durch Oberschlesien — Ruhrrevier — Belgien — England bis nach dem Westen Nordamerikas hingewiesen, welche bei ihrer kurzen Zeitdauer sehr auffallend ist. Dabei sind die Identitäten keineswegs auf solche Elemente beschränkt, welche eine Verbreitung über die ganze Erde hatten<sup>2)</sup>. Wir können auf weitere Einzelheiten hier nicht eingehen. Das Fehlen von Identitäten bei den Reptilien im Pliozän und Quartär ist natürlich eine Wirkung der Kälte, welche die alte Reptilienfauna vernichtete. Die Säugetiere zeigen vom Zeitpunkt ihres Auftretens in der Erdgeschichte ab das gleiche Bild wie die Reptilien. Im Eozän war die Uebereinstimmung besonders groß. So sagt auch v. Ubisch: „Im Eozän finden wir fast alle Unterordnungen der Säugetiere Nordamerikas auch in Europa vor. Ähnlich steht es mit anderen Klassen“<sup>3)</sup>. Die in unserer Tabelle zum Ausdruck kommende Verengerung der Beziehungen im Pliozän dürfte wohl auf Inlandeis zurückzuführen sein. Wir geben hier noch das Kärtchen wieder (Fig. 16), welches Arldt für die Verbreitung derjenigen Organismen gegeben hat, welche ihm am meisten entscheidend zu sein schienen für die Frage der nordatlantischen Brücke. Die jungen Regenwurm-gattungen der Lumbricinen sind, wie schon erwähnt, von Japan bis Spanien, jenseits des Ozeans aber nur im Osten der Union verbreitet. Die Perlmuschel kommt an den Abrißstellen der Kontinente, auf Irland und Neufundland und den beiderseits angrenzenden Gebieten vor. Noch auffälliger ist die Verbreitung der Gartenschnecke von Süddeutschland über die britischen Inseln, Island und Grönland hinüber zur amerikanischen Seite, wo sie aber nur in Labrador, Neufundland und dem Osten der Union vorkommt. Ähnliches gilt von der Familie der Barsche (Perciden) und anderen Süßwasserfischen. Vielleicht wäre noch das gemeine Heidekraut (*Calluna vulgaris*) zu nennen, das sich außer in Europa nur in Neufundland und den daran angrenzenden Gebieten findet, wie denn auch um-

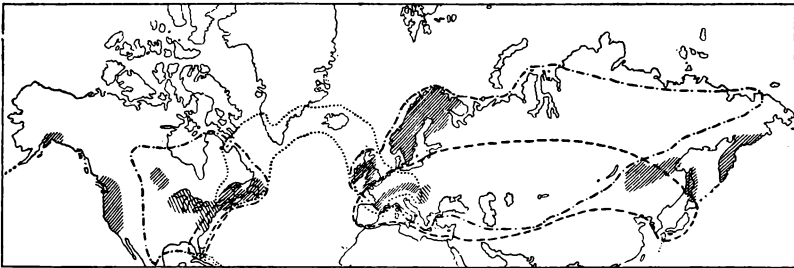
<sup>1)</sup> Je unvollständiger die Fauna bekannt ist, desto geringer muß auch die prozentische Anzahl der Identitäten sein.

<sup>2)</sup> R. v. Klebelsberg, Die marine Fauna der Ostrauer Schichten. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt **62**, 461—556, 1912, sowie briefliche Mitteilung.

<sup>3)</sup> L. v. Ubisch, Wegeners Kontinentalverschiebungstheorie und die Tiergeographie. Verh. d. Physikal.-Med. Ges. z. Würzburg 1921.

gekehrt sich besonders viele amerikanische Pflanzen in Europa ganz auf den Westen Irlands beschränken. Wenn für die letzteren vielleicht auch der Golfstrom als Erklärung angeführt werden kann, so ist das doch für das Heidekraut nicht der Fall. Es spricht manches dafür, daß diese Landbrücke bei Neufundland und Irland noch bis zum Beginn des Quartärs erhalten blieb. Außerdem scheint eine zweite Brücke weiter im Norden bestanden zu haben, die wohl kaum vor der Mitte des Quartärs abriß<sup>1)</sup>. Lehrreich sind in dieser Hinsicht auch die Untersuchungen Warmings und Nathorsts über die grönländische Flora, welche zeigen, daß an der Südostküste Grönlands, also gerade auf der Strecke, welche nach der Verschiebungstheorie noch im Quartär Skandinavien und Nordschottland vorgelagert war, die europäischen Elemente überwiegen, während auf der ganzen übrigen grönländischen Küste einschließlich

Fig. 16.



Verbreitung nordatlantischer Organismen, nach Arldt.

Punktiert: Gartenschnecke. Gestrichelt: Lumbricinen-Regenwürmer. Strichpunktiert: Barsche. Schraffiert Nordost-Südwest: Perlmuschel; desgl. Nordwest-Südost: Hundsfische (Umbra).

Nordostgrönland der amerikanische Einfluß vorherrscht. Nach Semper war die tertiäre Flora von Grinnell-Land interessanterweise enger (zu 63 Proz.) mit der von Spitzbergen als mit der von Grönland (30 Proz.) verwandt, während es heute natürlich umgekehrt ist [64 bzw. 96 Proz.]<sup>2)</sup>. Unsere Rekonstruktion fürs Eozän gibt die Lösung dieses Rätsels, indem hier der Abstand Grinnell-Land-Spitzbergen kleiner ist als der zwischen ersterem und den grönländischen Fundorten.

Für die südatlantische Brücke liegen die Verhältnisse nach unserer Fig. 15 noch klarer und einfacher. Wie unter anderen Stromer betont,

<sup>1)</sup> Scharff, Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika (Proc. of the Royal Irish Ac. 28, 1, 1—28, 1909; nach dem Referat von Arldt, Naturw. Rundsch. 1910).

<sup>2)</sup> Semper, Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und im Polargebiete. Ztschr. Deutsch. Geol. Ges. 48, 261 f., 1896.

nötigt die Verbreitung der Glossopterisflora, der Reptilfamilie der Mesosauridae<sup>1)</sup> und vieles andere zu der Annahme eines großen, die Südkontinente vereinigenden ehemaligen Festlandes. So kommt auch Jaworski<sup>2)</sup> bei einer Prüfung aller Einwände, die natürlich auch hier nicht fehlen, zu dem Resultat: „Alles, was an geologischen Tatsachen in Westafrika und Südamerika bekannt ist, steht in voller Übereinstimmung mit der Annahme, zu der wir auf Grund tier- und pflanzengeographischer Tatsachen der Gegenwart und der Vorzeit gekommen sind, daß nämlich in früheren Erdperioden zwischen Afrika und Südamerika eine Landverbindung an Stelle des heutigen südatlantischen Ozeans bestanden hat.“ Aus pflanzengeographischen Gründen hat Engler den Schluß gezogen: „Unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse würden die angeführten Vorkommnisse von Amerika und Afrika gemeinsamen Pflanzentypen am besten ihre Erklärung finden, wenn erwiesen werden könnte, daß zwischen dem nördlichen Brasilien, südöstlich vom Mündungsgebiet des Amazonenstromes, und der Bai von Biafra im Westen Afrikas größere Inseln oder eine kontinentale Verbindungsmasse und ferner zwischen Natal und Madagaskar eine Verbindung bestanden hätte, deren Fortsetzung in nordöstlicher Richtung nach dem vom sino-australischen Kontinent getrennten Vorderindien schon längst behauptet wurde. Die vielen verwandtschaftlichen Beziehungen der Kapflora zur australischen machen außerdem eine Verbindung mit Australien durch Vermittlung des antarktischen Kontinents wünschenswert“<sup>3)</sup>. Die letzten Verbindungen scheinen zwischen dem nördlichen Brasilien und der Guineaküste geherrscht zu haben: „Westafrika hat ferner mit dem tropischen Süd- und Mittelamerika die Seekuh *Manatus* gemeinsam, die in Strömen und seichtem, warmem Meerwasser lebt, die atlantische Tiefsee aber unmöglich überqueren kann. Man schließt daraus, daß in naher Vergangenheit eine Seichtwasser-Verbindung, wohl entlang der Nordküste der Südatlantik zwischen Westafrika und Südamerika bestanden habe.“ (Stromer.)

Alle diese Argumente sind natürlich dieselben, wie sie auch von den Anhängern der Hypothese der versunkenen Brückenkontinente für sich in Anspruch genommen werden. Die Verschiebungstheorie bietet aber auch vom rein biologischen Standpunkt aus eine einfachere Lösung dar, weil sie zur Erklärung der Pflanzen- und Tierverbreitung nicht

---

1) Dieners Einwand, die permotriassischen Wirbeltierfaunen Südafrikas und Südamerikas seien verschieden, ist nach Stromer hinfällig, da man sie in Südamerika noch nicht genügend kennt. (Geogr. Zeitschr. 1920, S. 287 ff.)

2) Jaworski, Das Alter des südatlantischen Beckens, Geol. Rundsch. 1921, S. 60—74.

3) Nach dem Artikel „Geographie der Pflanzen“ im Handwörterbuch der Naturwissenschaften.

nur die Landverbindung, sondern auch Abstandsänderungen der betreffenden Kontinente heranzieht. Die Insel Juan Fernandez ist in dieser Beziehung vielleicht besonders interessant. Nach Skottsberg zeigt sie botanisch gar keine Verwandtschaft mit der doch so nahen Küste von Chile, sondern nur mit Feuerland (Luft- und Meeresströme!), Antarktika, Neuseeland und den pazifischen Inseln. Dies paßt vorzüglich zu unserer Vorstellung, daß Südamerika, nach Westen wandernd, sich ihr erst in letzter Zeit so weit genähert hat, daß der Florenunterschied auffallend wird. Die Theorie der versunkenen Brücken könnte mit dieser Erscheinung nichts anfangen.

Die Hawai-Inseln haben gleichfalls eine Flora, die am nächsten verwandt nicht mit Nordamerika ist, das ihnen doch am nächsten liegt, und von dem heute Luft- und Meeresströmung herkommen, sondern mit der alten Welt<sup>1)</sup>. Auch dies erscheint verständlich, wenn man berücksichtigt, daß im Miozän, als der Nordpol an der Beringstraße lag, Hawaii eine geographische Breite von 40 bis 50 Grad besaß und also noch in der großen Westwindtrift lag, die von Japan und China kam, und daß außerdem damals die amerikanische Küste erheblich weiter von ihm entfernt war als heute.

Die biologischen Beziehungen zwischen Dekan und Madagaskar, angeblich über ein versunkenes „Lemurien“ hinweg, sind so allbekannt, daß wir uns hier mit einem Hinweis auf unsere Fig. 15 und auf die Zusammenstellungen bei Arldt begnügen wollen. Gerade hier zeigt sich wieder der Vorzug der Verschiebungstheorie, da die beiden Teile in ihrer heutigen Lage einen bedeutenden Breitenunterschied besitzen und nur deshalb ähnliches Klima haben und ähnliche Formen beherbergen können, weil der Äquator zwischen ihnen liegt. Für die Zeiten der Glossopterisflora würde uns dieser große Abstand ein klimatisches Rätsel aufgeben, welches durch die Verschiebungstheorie beseitigt wird. Übrigens darf die Gesamtheit der Glossopterisablagerungen auf den Südkontinenten nicht nur, wie schon erwähnt, als Beweis für damaligen Landzusammenhang, sondern auch für den Vorzug der Verschiebungstheorie gegenüber der der versunkenen Brücken betrachtet werden, denn bei der heutigen Lage der Fundorte ist es unmöglich anzunehmen, daß sie alle zu irgend einer Zeit der Erdgeschichte das gleiche Klima gehabt hätten. Auf diese Tatsachengruppe werden wir indessen erst im nächsten Kapitel näher eingehen.

Wir wollen hier nur noch die Tierwelt Australiens besprechen, die mir von ganz besonderer Bedeutung für die Verschiebungsfrage zu sein

---

<sup>1)</sup> A. Grisebach, Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung. Ein Abriss der vergleichenden Geographie der Pflanzen. Leipzig 1872. Bd. 2, 528 u. 632. — O. Drude, Handbuch der Pflanzengeographie. Stuttgart 1890, S. 487.

scheint. Schon Wallace<sup>1)</sup> erkannte eine deutliche Gliederung in drei verschieden altertümliche Elemente, und an diesem Ergebnis hat sich auch durch die neueren Untersuchungen z. B. von Hedley nichts Wesentliches geändert; das älteste Element, welches hauptsächlich im Südwesten Australiens anzutreffen ist, zeigt Verwandtschaft namentlich mit Vorderindien und Ceylon, weiter auch mit Madagaskar und Südafrika. Hier sind auch wärmeliebende Tiere in der Verwandtschaft vertreten, und auch die Regenwürmer, die gefrorenen Boden scheuen<sup>2)</sup>. Diese Verwandtschaft entstammt der Zeit, als Australien noch mit Vorderindien zusammenhing. Nach unserer Fig. 15 wurde diese Verbindung bereits in der älteren Jurazeit aufgehoben.

Das zweite Faunenelement Australiens ist sehr bekannt, denn es gehören hierher die eigenartigen Säugetiere — Beutler und Kloakentiere —, die sich von der Fauna der Sundainseln so scharf unterscheiden (Wallace-Grenze der Säugetiere). Dies Faunenelement zeigt Verwandtschaftsbeziehungen nach Südamerika. Beuteltiere leben jetzt z. B. außer in Australien sowie auf den Molukken und verschiedenen Südseeinseln hauptsächlich in Südamerika (Opossum oder Beutelratten in einer Art auch noch in Nordamerika verbreitet); fossil sind sie auch noch aus Nordamerika und Europa, aber nicht aus Asien bekannt. Sogar die Parasiten der australischen und nordamerikanischen Beutler sind die gleichen: E. Bresslau<sup>3)</sup> hebt hervor, daß von den Plattwürmern sich die Geoplaniden mit  $\frac{3}{4}$  ihrer rund 175 Arten in diesen beiden Gebieten finden. „Die geographische Verbreitung der Trematoden und Cestoden, die natürlich der ihrer Wirte entspricht, ist bis jetzt nur selten Gegenstand besonderer Untersuchungen gewesen. Daß auch hier Tatsachen von hohem zoogeographischen Interesse zu ermitteln sind, lehrt die Cestodengattung *Linstowia*, die sich ausschließlich in den südamerikanischen Didelphiden (Beutelratten) und in australischen Beutlern

<sup>1)</sup> Wallace, Die geographische Verbreitung der Thiere, deutsch von Meyer. 2. Bd. Dresden 1876.

<sup>2)</sup> Nach Michaëlsens Angabe verbinden die Octochaetinen unmittelbar Neuseeland mit Madagaskar und Vorderindien samt dem nördlichen Hinterindien unter interessanter Überspringung der dazwischen liegenden Hauptscholle Australien. Die lebhaftesten Beziehungen zeigen aber die gattungsreichen Megascolecinen, welche Australien zum Teil unter Einschluß der Nordinsel Neuseelands oder des ganzen Neuseelandgebietes mit Ceylon und besonders dem südlichen Vorderindien, zum Teil außerdem auch dem nördlichen Vorder- und Hinterindien verbinden (und merkwürdigerweise zum Teil auch mit der nordamerikanischen Westküste). — Der Umstand, daß die Regenwürmer keine Verwandtschaft zwischen Australien und Afrika zeigen, bestätigt unsere Annahme, daß diese Kontinente nicht unmittelbar, sondern nur über Vorderindien bzw. Antarktika zusammengehangen haben.

<sup>3)</sup> E. Bresslau, Artikel Plathelminthes im Handwörterb. d. Naturw. 7, 993. — Zschokke, Zentrabl. Bakt. Paras. I, 36, 1904.

(Perameles) und Monotremen (Echidna) findet.“ Von dieser Verwandtschaft mit Südamerika sagt Wallace (a. a. O. I, 463): „Es ist wichtig, hier zu bemerken, daß die hitzeliebenden Reptilien kaum einen Beweis einer nahen Verwandtschaft zwischen den beiden Regionen liefern, während es die kälteaushaltenden Amphibien und Süßwasserfische im Überfluß tun.“ Die gleiche Eigentümlichkeit zeigt die ganze übrige Fauna, so daß Wallace von der Landverbindung Australien–Südamerika meinte, „daß dieselbe, wenn sie überhaupt vorhanden war, nach ihren kalten südlichen Grenzen zu lag.“ Auch die Regenwürmer haben diese Brücke nicht benutzt. Da man hierdurch geradezu auf Antarktika als Verbindung hingewiesen wird, was ja auch auf dem kürzesten Verbindungswege liegt, so ist nicht zu verwundern, daß die von vereinzelt Autoren statt dessen vorgeschlagene „südpazifische“ Brücke, die nur auf der Merkatorkarte die kürzeste Verbindung vortäuscht, fast überall abgelehnt wird<sup>1)</sup>. Dies zweite australische Faunenelement entstammt also der Zeit, wo Australien noch über Antarktika mit Südamerika zusammenhing, also zwischen älterem Jura (dem Abriß von Vorderindien) und dem Eozän (dem Abriß Australiens von Antarktika). Für diese Formen bietet die heutige Lage Australiens keine Isolierung mehr, sie dringen langsam im Sunda-Archipel weiter vor, so daß Wallace die Säugetiergrenze bereits zwischen den Inseln Bali und Lombok hindurch und weiter durch die Makassarstraße legen mußte.

Die dritte Fauna Australiens ist die jüngste, von den Sundainseln eingewanderte, die in Neuguinea haust und bereits den Nordosten Australiens erobert hat. Der Dingo (wilde Hund), Nagetiere, Fledermäuse u. a. sind postdiluvianisch nach Australien eingewandert. Die junge Regenwurmgesellschaft Pheretima, welche mit großer Lebenskraft

---

<sup>1)</sup> Fast allein vertritt Burckhardt die Existenz einer solchen südpazifischen Brücke vom Devon bis zum Eozän, aber nicht aus biologischen Gründen, welche, wie u. a. Simroth (Über das Problem früheren Landzusammenhangs auf der südlichen Erdhälfte. Geogr. Zeitschr. 7, 665—676, 1901) gezeigt hat, sich hierfür nicht ins Feld führen lassen, sondern nur aus einem geologischen Grunde: An der Westküste Südamerikas finden sich zwischen 32 und 39° Südbreite grobe porphyranähnliche Konglomerate, die von früheren Autoren als vulkanisch angesprochen, von B. aber als verfestigtes Strandgeröll betrachtet werden. Da sie weiter östlich durch Sande ersetzt werden, schloß B., daß es sich um eine Küstenlinie handeln müsse — und zwar im Mündungsgebiet eines großen Flusses —, bei welcher die Verteilung von Wasser und Land gerade umgekehrt war wie heute. Simroth (a. a. O.), André (Das Problem der Permanenz der Ozeane und Kontinente, Petermanns Mitt. 63, 348, 1917), Diener, Sörgel haben diesen Burckhardtschen Kontinent abgelehnt, und selbst Arldt, einer der wenigen Anhänger, muß zugeben, daß er sich am wenigsten von allen stützen läßt (Die Frage der Permanenz der Kontinente und Ozeane, Geogr. Anzeiger 19, 2—12, 1918). Für Burckhardts Beobachtungen müssen hiernach wohl andere Erklärungen gesucht werden.

auf den Sundainseln, den südostasiatischen Küstengebieten von der Malaischen Halbinsel bis China und auf Japan die meisten älteren Gattungen verdrängt hat, hat auch Neuguinea vollständig erobert und bereits auf der Nordspitze Australiens festen Fuß gefaßt. Alles dies beweist einen regen Austausch von Fauna und Flora, der erst in jüngster geologischer Zeit begonnen hat.

Diese Dreigliederung der australischen Fauna steht aufs schönste mit der Verschiebungstheorie in Übereinstimmung. Man braucht nur auf unsere drei Rekonstruktionskarten (Fig. 1) zu blicken, um aus ihnen die Erklärung sofort abzulesen. Gerade diese Verhältnisse zeigen aber auch aufs deutlichste den großen Vorzug, den die Verschiebungstheorie auch rein biologisch vor der der versunkenen Brücken besitzt. Der Abstand der einander nächsten Punkte von Südamerika und Australien, nämlich Feuerland und Tasmanien, beträgt, im Großkreis gerechnet, heute 80°, also ebensoviel wie der zwischen Deutschland und Japan; und das mittlere Argentinien liegt von Mittelaustralien ebensoweit ab wie von Alaska, oder wie Südafrika vom Nordpol. Glaubt man wirklich, daß hier eine bloße Landverbindung genügt, um den Formenaustausch sicherzustellen? Und wie seltsam, daß Australien mit den so unendlich näher gelegenen Sundainseln gar keinen Formenaustausch hatte, denen es wie ein Fremdkörper aus einer anderen Welt gegenüber liegt! Niemand kann verkennen, daß hier unsere Annahme, die den Abstand Australiens von Südamerika auf einen Bruchteil verringert und es andererseits von den Sundainseln durch ein breites Tiefseebecken trennt, für die Erklärung der australischen Tierwelt eine Erlösung bedeutet.

## 6. Kapitel. Paläoklimatische Argumente.

Das Gesamtproblem der vorzeitlichen Klimate aufzurollen, ist hier nicht der Ort. Immerhin nötigt uns unsere Beweisführung, wenigstens eine flüchtige Orientierung zu geben, weil erst hierdurch die Gründe klar werden, die sich von dieser Seite her für die Richtigkeit der Verschiebungstheorie darbieten.

Wenn die Lehre von den Klimaten der Vorzeit heute noch sehr unentwickelt ist, so liegt dies jedenfalls nicht an dem Mangel von Klimazeugen aus der Vergangenheit. Ihre Zahl ist Legion, wenn auch freilich manche darunter sind, die wir heute noch nicht sicher deuten können, und leider auch solche, die unrichtig gedeutet sind. Einen großen Teil dieser Zeugnisse stellen die Pflanzen- und Tierversteinerungen. Die baumlose Tundrenflora jenseits der mit der Baumgrenze etwa zusammenfallenden 10°-Isotherme des wärmsten Monats ist auch fossil meist gut von der gemäßigten Waldflora zu unterscheiden, und diese vermöge der in den Hölzern erkennbaren Jahresringe wiederum von der Flora

des tropischen Regenwaldes, und bisweilen auch von der immergrünen subtropischen Hartlaubflora, die zwar auch im heutigen Klimasystem nur einen relativ kleinen Raum einnimmt. Palmen kommen heute nur in Klimaten vor, deren kältester Monat eine Mitteltemperatur nicht unter  $6^{\circ}$  hat, und es ist sehr wahrscheinlich, daß eine ähnliche Temperaturgrenze auch für die Palmen der Vorzeit gegolten hat. Ähnlich trifft man Korallen heute nur in Gewässern, deren Temperatur nie unter  $20^{\circ}$  C sinkt. Im Polarklima haben auch in der Vorzeit keine Reptilien leben können, da sie keine Eigenwärme produzieren, und ebenso keine Regenwürmer, da diese im gefrorenen Boden nicht leben können, wohl aber Amphibien und namentlich Süßwasserfische, welche die Wärme des Wassers ausnutzen, und Säugetiere, die solche selbst erzeugen, usw. Es ist unmöglich, hier alle Momente anzuführen, die zur Entscheidung darüber beitragen können, in welchem Klima eine gegebene fossile Fauna oder Flora gelebt hat. Natürlich sind alle diese Anzeichen, einzeln betrachtet, sehr unsicher, denn bei Tieren wie Pflanzen gibt es Beispiele erstaunlicher Anpassungen an ein für die betreffende Familie ganz fremdes Klima. Aber es geht hier wie bei der Berechnung einer Meteorbahn aus einer großen Anzahl ganz ungenauer Schätzungen: Die einzelne Angabe kann ganz unsicher, oft verkehrt sein, und trotzdem gibt die Gesamtheit, nach den Regeln der Ausgleichsrechnung behandelt, ein recht zuverlässiges Ergebnis.

Dazu kommen noch die anorganischen Klimazeugen, die den Vorzug haben, sich nicht anpassen zu können. Blocklehme, gekritzte Geschiebe und polierte Felsoberflächen bezeugen, namentlich wenn sie gleichartig auf großen Gebieten vorkommen, die Tätigkeit einer Inlandeisdecke, also polares Klima. Kohlen als ehemalige Moore können zwar bei den verschiedensten Temperaturen, aber durchaus nur bei Überschuß des Niederschlags gegenüber der Verdunstung entstehen, Salzlager können umgekehrt durchaus nur im Trockenklima, d. h. bei überwiegender Verdunstung, entstehen. Mächtige fossilleere Sandsteine sind als Wüstenbildungen aufzufassen, und zwar entsprechen rot gefärbte mehr der heißen, gelb gefärbte mehr der gemäßigt temperierten Wüste (vgl. den roten Laterit der Tropen, die Roterden der Subtropen und die gelben Lehme der gemäßigten Breiten) usw.

Die ungeheure Menge von Tatsachen, die sich in dieser Weise als fossile Klimazeugen verwerten lassen, zeigt nun überraschenderweise, daß in den meisten Gegenden der Erde in der Vorzeit ein ganz anderes Klima geherrscht hat als heute. Dafür nur ein besonders in die Augen fallendes Beispiel:

Auf Spitzbergen, welches heute bei strengstem Polarklima unter Inlandeis liegt, haben noch im Alttertiär Wälder gerauscht von größerem Artenreichtum als er heute in Mitteleuropa gefunden wird. Nicht nur



Kiefern, Fichten und Eiben fanden sich, sondern auch Linden, Buchen, Pappeln, Ulmen, Eichen, Ahorn, Efeu, Schlehe, Hasel, Weißdorn, Schneeball, Esche, ja sogar so wärmeliebende Gewächse wie Wasserlilien, Walnuß, Sumpfyzypresse (*Taxodium*), gewaltige Sequoien, Platanen, Kastanien, Gingko, Magnolie, die Weinrebe. Es muß damals auf Spitzbergen ein Klima geherrscht haben, wie heute etwa in Frankreich, die Jahresmitteltemperatur muß 20° höher gelegen haben als heute. Und gehen wir noch weiter in der Erdgeschichte zurück, so finden wir Anzeichen für noch größere Wärme: im Jura und der älteren Kreide wuchsen dort Sagopalmen, die heute nur in den Tropen vorkommen, Gingko (heute in einer einzigen Art in China und Süd-Japan), Baumfarne u. a. Und endlich im Altkarbon finden wir auf Spitzbergen baumartige Calamiten, Lepidodendren, Farnbäume, kurz, dieselbe Flora wie in den jungkarbonen großen Kohlenlagern Europas, die nach dem Urteil der besten Kenner tropisch war. Damals muß die Jahresmitteltemperatur auf Spitzbergen etwa 30° höher gewesen sein als heute.

Dieser ungeheure Klimawechsel vom tropischen zum polaren Klima legt sofort den Gedanken einer Verschiebung der Pole und des Äquators und damit des ganzen zonalen Systems der Klimate nahe. Und diese Annahme findet sofort ihre Bestätigung darin, daß Zentralafrika, 90 Breitengrade südlich von Spitzbergen gelegen, in demselben Zeitraum eine ebenso gewaltige, aber gerade umgekehrte Klimaänderung erlitt: Im Karbon unter einer Inlandeisdecke begraben, heute in der äquatorialen Regenzone. 90° östlich von Zentralafrika aber, im Sunda-Archipel, trat keine Klimaänderung ein, diese Gegend hatte mindestens seit dem Tertiär das gleiche warme Klima wie heute, wie sich schon in der unveränderten Erhaltung zahlreicher altertümlicher Pflanzen und Tiere, wie z. B. der Sagopalme oder des Tapirs zeigt. In gleicher Lage war auch der nördliche Teil von Südamerika, wo u. a. gleichfalls der Tapir erhalten blieb, während er in Nordamerika, Europa und Asien nur fossil, in Afrika gar nicht zu finden ist.

Es ist daher nicht zu verwundern, daß man bei den Versuchen, das System der vorzeitlichen Klimaänderungen zu ergründen, schon frühzeitig und immer wieder auf Polverlegungen zurückgegriffen hat. Die daneben herlaufende Hypothese eines Gleitens der ganzen Erdrinde über ihre Unterlage, die nur den Zweck verfolgt, die Erdachse in bezug auf die Hauptmasse der Erde unverändert zu halten, können wir ohne weiteres mit der Hypothese der Verlagerung der Erdachse zusammenfassen, da wir kein Mittel zu einer Entscheidung zwischen beiden haben. Wir wollen also ein für allemal unter Polwanderung die Verlagerung der Pole auf der Erdoberfläche verstehen ohne Rücksicht darauf, ob diese durch Verschiebung der Kruste oder Verlagerung der Achse auch im Erdinnern oder beides zusammen erzeugt wurde. Bereits Herder

hat in seinen Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit auf eine solche Erklärung der Vorzeitklimata hingewiesen. Sodann wurde sie mehr oder weniger ausführlich von zahlreichen Autoren vertreten, nämlich Evans (1876), Taylor (1885), Löffelholz von Colberg (1886), Oldham (1886), Neumayr (1887), Nathorst (1888), Hansen (1890), Semper (1896), Davis (1896), Reibisch (1901), Kreichgauer (1902), Golfier (1903), Simroth (1907), Walther (1908), Yokoyama (1911), Dacqué (1915), sowie neuerdings Eckardt in zahlreichen Arbeiten, zuletzt 1921, E. Kayser in seinem bekannten Lehrbuch der Geologie (1918), Koßmat (1921) u. a.<sup>1)</sup> Indessen hat diese Lehre stets starken Widerspruch gerade innerhalb der engeren geologischen Fachkreise hervorgerufen, und bis zu den Arbeiten von Neumayr und Nathorst hat die große Mehrzahl der Geologen Polverschiebungen ganz abgelehnt. Nach den genannten Arbeiten ändert sich das Bild insofern, als die Anhänger der Polwanderungen, wenn auch sehr langsam, zahlreicher werden, und heute steht wohl die Mehrzahl der Geologen auf dem in E. Kayser's Lehrbuch formulierten Standpunkt, daß jedenfalls die Annahme einer großen tertiären Polverschiebung „schwer zu umgehen“ ist. Dies darf wohl festgestellt werden trotz der auffallenden Schärfe, mit der einige Gegner gegen diese Vorstellungen kämpfen.

So zwingend indessen die Gründe für Polverlegungen für gewisse Zeiten der Erdgeschichte sind, so ist es doch unleugbar, daß alle bisherigen Versuche, die Lage der Pole kontinuierlich durch die ganze Zeitenfolge zu bestimmen, stets auf innere Widersprüche geführt haben, und zwar auf Widersprüche so grotesker Art, daß es nicht zu verwundern ist, wenn hieraus der Verdacht entstand, man befinde sich mit der Annahme von Polverlegungen überhaupt auf einem Irrwege. Solche systematischen Versuche sind namentlich von Löffelholz von Colberg<sup>2)</sup>, Reibisch<sup>3)</sup> und Simroth<sup>4)</sup>, Kreichgauer<sup>5)</sup> und Jacobitti<sup>6)</sup> unternommen worden. Von ihnen hat Reibisch leider seine von der Kreide ab ganz zutreffenden Vorstellungen in die wunderliche Zwangsjacke einer

1) Über die Literatur bis 1918 siehe Th. Arldt, Die Ursachen der Klimaschwankungen der Vorzeit, besonders der Eiszeiten. Ztschr. f. Gletscherkunde **11**, 1918.

2) Carl Freiherr Löffelholz von Colberg, Die Drehungen der Erdkruste in geologischen Zeiträumen. Eine neue geologisch-astronomische Hypothese, München 1886; 2. sehr vermehrte Auflage 1895.

3) P. Reibisch, Ein Gestaltungsprinzip der Erde; 27. Jahresber. d. Ver. Erdkunde zu Dresden 1901, S. 105—124. — Zweiter Teil (enthält nur unwesentliche Ergänzungen) Mitt. Ver. Erdk. Dresden **1**, 39—53, 1905. — III. Die Eiszeiten. Ebenda **6**, 58—75, 1907.

4) H. Simroth, Die Pendulationstheorie. Leipzig 1907.

5) Kreichgauer, Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.

6) E. J. Jacobitti, Mobilità dell' Assa Terrestre, Studio Geologico. Torino 1912.

strengen „Pendulation“ der Pole auf einem „Schwingungskreise“ eingekleidet, die als physikalisches Kreiselgesetz wahrscheinlich falsch, jedenfalls unbegründet ist und dabei zu zahlreichen Widersprüchen mit den Beobachtungen führt. Simroth hat ein umfangreiches biologisches Tatsachenmaterial gesammelt, welches gute Belege für Polwanderungen enthält, aber von der behaupteten strengen Gesetzmäßigkeit des Hin- und Herpendelns nicht überzeugen kann. Richtiger ist wohl der rein induktive Weg, nämlich ohne vorgefaßte Meinung aus den fossilen Klimazeugen die Lage der Pole zu bestimmen. Diesen Weg ist namentlich Kreichgauer in seinem sehr eingehenden und klar geschriebenen Buche gegangen, wenn er sich auch daneben auf ein unzureichend begründetes Dogma über die Anordnung der Gebirge stützt. Fast alle diese Versuche ergeben für die jüngeren Zeiten ungefähr das gleiche Resultat, nämlich eine Lage des Nordpols zu Beginn des Tertiärs in der Nachbarschaft der Aleuten und von da eine Wanderung nach Grönland, wo er im Quartär anzutreffen ist. Für diese Zeiten ergeben sich auch keine größeren inneren Unstimmigkeiten. Anders wird es jedoch für die Zeiten vor der Kreide. Hier gehen nicht nur die Ansichten der genannten Autoren weit auseinander, sondern es führen alle diese Rekonstruktionen infolge der Nichtberücksichtigung der Kontinentalverschiebungen auf hoffnungslose Widersprüche, und zwar Widersprüche solcher Art, daß sie für jede überhaupt denkbare Pollage ein absolutes Hindernis bilden.

Das wichtigste dieser Hindernisse bilden die permokarbonischen Glazialablagerungen auf der südlichen Halbkugel. Diese Eisspuren sind auf allen Südkontinenten gefunden worden, zum Teil mit überraschender Deutlichkeit, so daß man aus den Schrammen in der polierten Felsoberfläche noch die Bewegungsrichtung der Eismassen ablesen kann. Zuerst und am besten sind diese Spuren in Südafrika studiert worden, dann aber wurden sie auch in Brasilien, Argentinien, auf den Falklandsinseln, in Togo, im Kongogebiet, ferner in Vorderindien, in West-, Mittel- und Ostaustralien gefunden<sup>1)</sup>. Selbst wenn wir den Südpol an die denkbar günstigste Stelle (50 Süd, 45 Ost) inmitten dieser Eisspuren legen, so bekämen die entferntesten Inlandeisspuren in Brasilien, Vorderindien und Ostaustralien eine geographische Breite von nicht ganz 10°, d. h. es wäre eine ganze Halbkugel der Erde unter Inlandeis begraben gewesen, hätte also auch das dazu nötige Polarklima gehabt. Die andere Halbkugel aber, deren karbonische und permische Ablagerungen doch teilweise recht gut bekannt sind, zeigt keinerlei sichere Spuren von Vereisung, sondern im Gegenteil an zahlreichen Orten die Reste tropischer Vegetation. Daß dies Ergebnis sinnlos ist, braucht kaum gesagt zu werden.

---

<sup>1)</sup> Vergleiche die Karte in Dacqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915.

Von zahlreichen Autoren ist dies bereits hervorgehoben worden, am deutlichsten vielleicht von Koken<sup>1)</sup>, dem nichts anderes übrig zu bleiben schien, als die Annahme, daß alle diese Eismassen in großer Seehöhe gebildet wurden. Diese Hypothese muß aber dem Klimatologen ebenso unmöglich erscheinen wie die von F. v. Kerner, daß es sich um lokale Anomalien der Wärmeverteilung, verursacht durch kalte Meeresströmungen u. dgl. handle. Es ist deshalb verschiedentlich, insbesondere von A. Penck, hervorgehoben worden, daß diese Verhältnisse die Annahme von Verschiebungen der Erdrinde doch nicht unwahrscheinlich machen. Aber auch die Annahme, daß diese Spuren nacheinander gebildet wurden, während der Pol wanderte oder die Erdkruste unter ihm sich verschob, scheidet daran, daß sich in den antipodisch gelegenen Gebieten keine entsprechenden Erscheinungen nachweisen lassen. Lassen wir den Südpol vom heutigen Brasilien über Afrika bis nach Australien wandern — schon die Schnelligkeit dieser Wanderung würde berechtigtes Mißtrauen erregen —, so müßte der Nordpol eine Bahn von China bis östlich von Mittelamerika beschreiben, wo er doch Spuren hinterlassen haben müßte, und dies widerspräche auch durchaus der anderweitig bestimmbar Lage des karbonischen und permischen Äquators und der damaligen Trockenzonen. Je genauer und vollständiger wir die gesamten Klimazeugen jener Zeiten kennen lernen, um so klarer wird es, daß sie bei der heutigen Lage der Kontinente sich überhaupt in keine noch so geartete Lage der Pole und der Klimagürtel einfügen lassen. Es ist nicht zu viel gesagt, daß dieser scheinbare innere Widerspruch der Beobachtungen untereinander die Entwicklung der Paläoklimatologie geradezu gelähmt hat. Insbesondere mußten alle oben angeführten Versuche, die Pollage kontinuierlich in der Erdgeschichte zu verfolgen, an dieser Klippe scheitern.

Dies Rätsel der permokarbonen Eiszeit findet nun durch die Verschiebungstheorie eine überaus packende Lösung: gerade diejenigen Erdteile, welche diese Eisspuren tragen, rücken jetzt konzentrisch auf Südafrika zusammen, so daß das gesamte, vom Eise bedeckt gewesene Gebiet nicht größer wird als das der diluvialen Eisspuren auf der Nordhalbkugel. Hier handelt es sich nicht mehr um eine bloße Vereinfachung, welche die Verschiebungstheorie leistet; sie schafft vielmehr hier zum ersten Male die Möglichkeit einer Erklärung überhaupt.

Bei der großen Bedeutung dieser Dinge für die Frage nach der Richtigkeit der Verschiebungstheorie wollen wir im folgenden versuchen, auch den wichtigsten sonstigen Klimazeugen aus der damaligen Zeit Rechnung zu tragen und zu sehen, ob sie sich auf Grundlage der

---

<sup>1)</sup> Koken, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband d. N. Jahrb. f. Min. 1907.

Verschiebungstheorie in eine bestimmte Orientierung der Klimagürtel einfügen.

Vorausgesetzt sei, daß wir von vornherein damit zu rechnen haben, daß auch diese stark reduzierte Eiskappe zu keiner Zeit in voller Ausdehnung bestanden hat, sondern durch eine Wanderung des Südpols nacheinander in den verschiedenen Ländern in Erscheinung getreten ist. Die Altersbestimmungen sind zwar an den meisten Fundorten noch nicht so genau, daß diese relativ geringfügigen Zeitdifferenzen schon geologisch einwandfrei nachweisbar sind. Aber diese Zeitverschiebung ist doch auch von geologischer Seite bereits angenommen worden. So gibt L. Waagen<sup>1)</sup> an, daß die Schichten mit Glossopterisflora in Afrika und Indien über, in Australien unter dem Blocklehm liegen. „Daraus geht wohl eines unzweideutig hervor, daß in Indien und Südafrika das Eis früher, in Australien aber später seinen Mantel ausbreitete, und so können wir für Indo-Afrika eine karbonische, für Australien eine permische Eiszeit ansetzen.“ Auch in Argentinien liegen nach Gerth<sup>2)</sup> die Sandsteine mit Glossopteris und Gangamopteris über den dortigen Glazialschichten. Hiernach wäre es nicht unwahrscheinlich, daß dann die westlichsten Spuren in Brasilien, Togo und Kongo sogar aus dem älteren Karbon stammen. Da aus dem Unterdevon wieder Eisspuren aus Südafrika bekannt sind<sup>3)</sup>, hätte sich der Südpol vom Unterdevon bis zum unteren Karbon etwa vom Kapland bis Loanda bewegt, wäre dann aber fast umgekehrt, wäre im Oberkarbon von Südafrika auf die Südspitze von Vorderindien übergetreten und hätte sich im Perm nach Australien hinein bewegt. Die zugehörige Bahn des Nordpols verläuft ganz im nördlichen Pazifik und konnte also keine nennenswerten Eisspuren erzeugen. Wir wollen nun sehen, wie sich hierzu die sonstigen Klimazeugen verhalten. Die wichtigsten sind in Fig. 17 eingetragen.

Betrachten wir zunächst die Verbreitung der Glossopterisflora. Der klimatische Charakter dieser Flora wird verschieden gedeutet; nach einigen ist es eine polare Tundrenflora, nach anderen nur eine gemäßigte. Allgemein zugegeben wird, daß sie in einem kälteren Klima zu Hause war, als die noch zu besprechende tropische Hauptflora des Karbons. Wir können aber meines Erachtens noch ohne Gefahr des Irrtums einen Schritt weiter gehen, wenn wir berücksichtigen, daß es sich um eine baumlose Flora handelt, die also jedenfalls jenseits der damaligen Baumgrenze noch fortkam. Natürlich ist es nicht notwendig, daß die damalige Baumgrenze dieselbe Temperatur hatte wie die heutige. Unsere

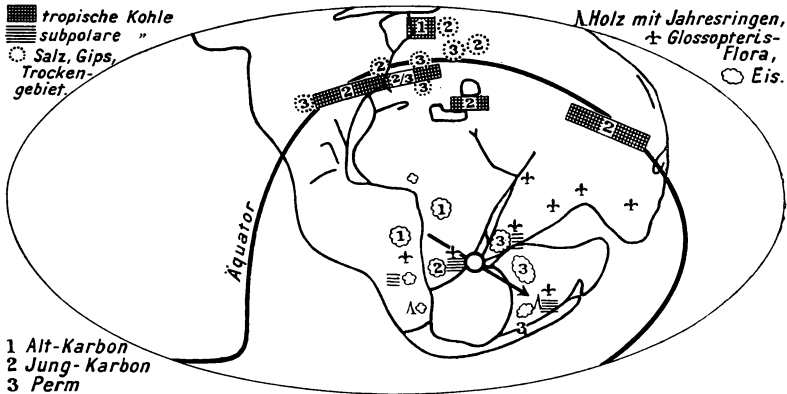
<sup>1)</sup> L. Waagen, Unsere Erde, S. 437. München, Allg. Verl.-Ges., o. J.

<sup>2)</sup> Gerth, Die Fortschritte der geol. Forschung in Argentinien und einigen Nachbarstaaten während des Weltkrieges. Geol. Rundsch. 1921, S. 74—87.

<sup>3)</sup> H. Cloos, Geolog. Beobacht. in Südafrika. III. Die vorkarbonischen Glazialbildungen des Kaplandes. Geol. Rundsch. 6, Heft 7/8, 1916.

heutige Baumgrenze fällt mit der  $10^0$ -Isotherme des wärmsten Monats mit einer Genauigkeit zusammen, die auf den ersten Blick in Erstaunen versetzt<sup>1)</sup>, aber leicht dadurch erklärt wird, daß die Bäume eben durch ihre Erhebung vom Erdboden nunmehr auf die Lufttemperatur, die wir meteorologisch messen, angewiesen sind, während die dem Boden sich anschmiegende Tundrenflora bei der dort Tag und Nacht ununterbrochenen Sonnenstrahlung die starke Erwärmung des Bodens (und der unmittelbar darüber liegenden Luft) ausnutzt und so noch bis zum Pol eine längere Vegetationsperiode mit Temperaturen von  $10^0$  oder darüber sich schafft. Eine ähnliche Rolle wird jedenfalls auch die karbonische

Fig. 17.



Klimazeugen aus dem Permokarbon.

Baumgrenze gespielt haben, wenn es auch möglich ist, daß die Grenztemperatur für die damaligen, so anders gearteten Gewächse eine andere war<sup>2)</sup>. Diese damalige „Polar“-Flora wird auf den Südkontinenten allgemein in Schichten gefunden, die teils unter, teils über den Glazialschichten liegen und also eine ähnliche Rolle spielen, wie die Interglazialschichten der europäischen Eiszeit. Diese Flora greift aber, wie zu erwarten, über die Eisgrenzen hinaus, denn sie findet sich auch noch

<sup>1)</sup> Köppen, Baumgrenze und Lufttemperatur. Petermanns Mitt. 1919, S. 201—203.

<sup>2)</sup> In Grönland wächst auch jetzt ein Farn am Rande des Inlandeises. Aber die Grenze der Farnbäume ist heute auf der Südhalbkugel 30 bis  $50^0$ : „Die südlichsten Punkte, wo noch Farnbäume auftreten, sind Tasmanien und die Südspitze Neuseelands mit Auckland. In Südbrasilien geht die *Dicksonia sellowiana* und *Alsophila procera* bis S. Paulo; in N-Argentinien bis Misiones; im Kapland ist *Hemitelia capensis* die letzte Etappe nach Süden.“ (Robert Potonié, Paläoklimatisches im Lichte der Paläobotanik, Naturw. Wochenschr., 26. Juni 1921, S. 383.)

in Kaschmir und dem östlichen Himalaja, sowie in Indochina und auf Borneo.

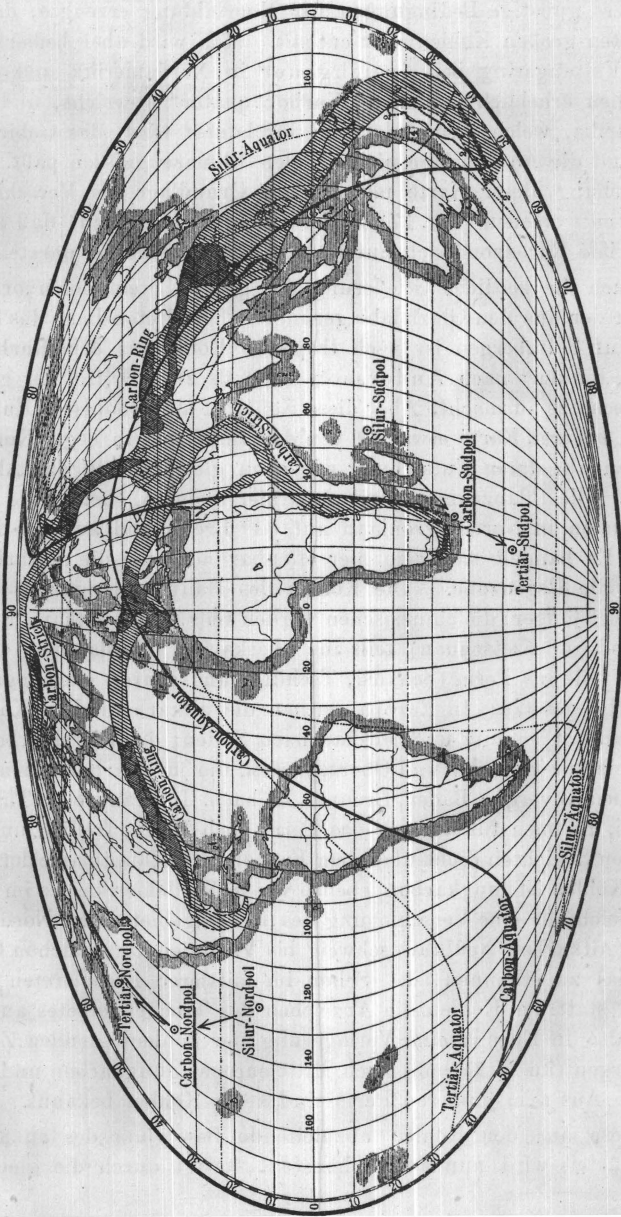
Hölzer mit Jahresringen, die vermutlich dem borealen oder „Schneewaldklima“ Köppens entsprechen, sind für diese Zeit bisher meines Wissens nur an zwei Stellen gefunden worden, nämlich von Arber in Australien (Neusüdwaale) und von Halle auf den Falklandsinseln.

Endlich sind aus dem damaligen Südpolaregebiet noch Steinkohlenschichten bekannt, wiederum in enger Verbindung mit der Glossopterisflora und meist unmittelbar auf den permokarbonen Moränen liegend. Sie sind bekannt aus Argentinien (Altkarbon), Südafrika, Dekan und Australien. Offenbar haben wir es hier mit den damaligen subpolaren Torfmooren zu tun, die genau unseren quartären und postquartären Torfmooren in Europa (sowie denen in Feuerland) entsprechen.

Diese Kohlevorkommen sind aber relativ unbedeutend gegenüber dem großen Gürtel produktiver Steinkohlenflöze, welcher sich durch Nordamerika, Europa und Asien (China) hinzieht. Die erhaltenen Pflanzenreste deuten hier nach H. Potonié<sup>1)</sup> auf tropische Gewächse, unter anderem wegen ihres schnellen Wachstums und der Größe der Blattwedel, wegen des Fehlens von Jahresringen, der Verwandtschaft mit heute in den Tropen heimischen Familien, der Häufigkeit von Baum- und Kletterfarnen und der heute nur in den Tropen vorkommenden Stammbürtigkeit der Blüten (Kauliflorie) der Kalamariazeen, gewisser Lepidodendrazeen und der Sigillariazeen. Früher glaubte man vielfach (Ramann, Frech u. a.), daß die Torfbildung an tiefe Temperatur gebunden und in den Tropen unmöglich sei, weil hier die Verwesungsprozesse viel kräftiger seien. Dies lag nahe, solange man noch keine rezenten Moore aus der äquatorialen Regenzone kannte. Dies hat sich indessen durch die Entdeckung eines großen Moores im östlichen Teil von Sumatra am Nordufer des Kamparflusses als irrtümlich erwiesen; auch hier genügt der durch Wasserbedeckung bewirkte Abschluß vom Luftsauerstoff, um die Verwesung zu unterbinden und Torf zu erzeugen. Und inzwischen sind weitere tropische Moore aus Ceylon und dem äquatorialen Afrika bekannt geworden. Der früher sehr lebhafte Streit um die Tropennatur unserer Steinkohlen kann daher als entschieden gelten. Wie unsere Fig. 17 zeigt, liegt dieser Steinkohlengürtel genau auf dem Großkreis, der von der Mitte des Vereisungsgebietes um 90° entfernt ist. Daß diese günstige Lösung nur bei Annahme der Verschiebungstheorie möglich ist, zeigt die nebenstehende, zum Vergleich mitgeteilte Karte von Kreichgauer (Fig. 18). Ähnlich wie über dem frühtertiären Äquator entstand auch über dem Karbonäquator ein Gürtel

<sup>1)</sup> H. Potonié, Die Tropensumpfflachmoornatur der Moore des produktiven Karbons. Jahrb. d. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt 30, Teil I, H. 3. Berlin 1909. — H. Stremme, Über tropische Moore. „Gaea“ 45, Nr. 11, 1909.

Fig. 18.



Karbonische Faltungen und Äquatorlage, nach Reichgauer.



von Gebirgsfalten („Karbonring“ Kreichgauers), der wohl gerade besonders günstige Bedingungen für Moorbildung erzeugte, da er die genannten großen Kohlenlager enthält. Man wird aber bemerken, daß dieser Faltungsring bei Kreichgauer in Nordamerika und auch in Australien erheblich von dem „Karbonäquator“ abweicht, und daß in Südamerika, welches von letzterem durchquert wird, das Gebirge ganz fehlt und die Äquatorlage nicht zu den Klimazeugnissen paßt. Durch Vergleichung dieser Karte mit der auf Grundlage der Verschiebungstheorie entworfenen (Fig. 17) wird es besonders deutlich, daß auch die äquatoriale Regenzone sich nur in letzterer einwandfrei darstellen läßt.

Auch die zeitliche Gliederung der großen Steinkohlenvorkommen paßt zu der aus den Glazialablagerungen abgeleiteten Lage des Südpols. Auch auf Spitzbergen ist noch tropische Kohle aus dem Karbon vorhanden, die dort nach Andersson mehr als zwei Drittel der gesamten Kohlenschätze ausmacht. Aber diese Kohle ist altkarbonisch (Kulm). Sie liegt in unserer Karte etwa  $90^\circ$  von den Eisspuren in Togo, Kongo und Brasilien ab, deren Entstehung wir oben gleichfalls in das Altkarbon setzten. Die Pflanzenreste sind auch hier tropisch, ebenso wie die entsprechenden in Nordostgrönland auf  $81^\circ$  Breite und auf der Melville-Insel. Es handelt sich also hier offenbar noch um die altkarbonische äquatoriale Regenzone. Die Kohlen des Hauptkohlegürtels dagegen sind meist jünger: die chinesischen werden teils in das Altkarbon (Schantung und Süd-Szetschuan), teils ins Oberkarbon (Nordabhang des Nanschan), teils ins Perm (Schansi, Tschili, Mandschurei) oder sogar Trias [Hunan]<sup>1)</sup> gesetzt. In Europa reichen die altkarbonischen Kohlen bis Schottland, Chemnitz und Moskau nach Süden; die mittelkarbonischen schon bis zur Bretagne und Oberschlesien, die jungkarbonischen bis zur westlichen Auvergne, Baden, Brenner, Laibach. In Frankreich, Thüringen, Sachsen, Böhmen führt sogar das Perm noch Kohle, freilich nur in den untersten Schichten dicht über dem Karbon. Die Hauptmasse der europäischen Kohlen ist jungkarbon, ebenso wie in Nordamerika, wo im übrigen wohl gleichfalls eine Verschiebung des Kohlengebietes von Norden nach Süden (Altkarbon Neubraunschweig bis Virginien, Jungkarbon Ohio bis Alabama) zu erkennen ist. Schon im mittleren Perm treten aber in Europa statt der Kohlen die Anzeichen des Trockengebietes auf. Wir sehen also in Europa eine Verlagerung der kohlenbildenden Zone von Spitzbergen (im Altkarbon) nach Mitteleuropa (Jungkarbon und ältestes Perm). Aus dem jüngeren Perm sind keine Kohlen bekannt.

Diese aus den Kohlen abzuleitende Bewegung des äquatorialen Regengürtels wird nun aufs schönste bestätigt durch die gleichartige

<sup>1)</sup> F. Frech, Die Kohlenvorräte der Welt. Finanz- und Volkswirtschaftl. Zeitfragen, 43. Hft. Stuttgart 1917.

Verlagerung der nachrückenden nördlichen Trockenzone, die sich namentlich in den Salz- und Gipsablagerungen zeigt<sup>1)</sup>. Während die Kohlen gerade in dem jüngsten hier betrachteten Zeitraum, dem Perm, fehlen, tun dies die Salzablagerungen in dem ältesten, d. h. im Altkarbon. Erst im Jungkarbon finden wir Salz und Gips im östlichen Ural, nördlich des Kohlegürtels, und auch bereits in Neufundland, hier oberhalb, also zeitlich nachfolgend auf den Kohlehorizonten. Auch hatte Spitzbergen nach Semper damals bereits arides Klima. Die Trockenzone folgt also der Kohlenbildung dicht auf den Fersen. Die größten Salz- und Gipsablagerungen treten aber erst im Perm auf, und zwar zuerst im oberen Perm, in welchem die Kohle bereits verschwunden ist, nämlich in Ost-rußland, Norddeutschland, in den Südalpen und in den Vereinigten Staaten. Auch die Salzbildung rückt also in diesen Zeiträumen von Norden nach Süden vor, nämlich von Spitzbergen (im Jungkarbon) bis zu den Südalpen (im oberen Perm), und folgt dabei der Kohlenbildung nach. Es kann daher kaum ein Zweifel darüber herrschen, daß es sich hier um die nördliche Trockenzone handelt.

Wir haben uns im vorangehenden auf die wichtigsten Klimazeugen dieser Zeit beschränkt, und man wird zugeben müssen, daß sich diese auf dem Boden der Verschiebungstheorie mit großer Folgerichtigkeit darstellen lassen. Es würde zu weit führen, wenn wir auch die weniger wichtigen Klimazeugen hier vollständig anführen wollten. Auch diese passen sich, soweit es sich bisher übersehen läßt, ohne Ausnahme gut in das Gesamtbild ein. Nur einige Beispiele dafür: Die mittlere Größe der Insektenflügel betrug nach Handlirsch im Unter- und Mittelkarbon in Europa 51 mm, im Oberkarbon und Perm nur noch 20 bis 17 mm. Dies stimmt damit überein, daß der Äquator bei uns im Unterkarbon seine nördlichste Lage hatte und Europa im Perm bereits in die nördliche Trockenzone geriet. Aus dem Unterkarbon sind Korallenriffe nicht nur aus Kantabrien und den karnischen Alpen, sondern auch aus Belgien, England und Irland bekannt, aus dem mittleren und oberen Karbon aus Nordamerika [mittl. Karbon: Indiana, Illinois, Alabama, oberes Karbon: Kansas bis Texas]<sup>2)</sup>.

Dagegen enthält das Perm von Timor nur Einzelkorallen, nicht die von warmem Wasser zeugenden Riffe.

Das Perm von Uruguay und Süd-Brasilien weist nach Gerth Zeichen rascher Erwärmung auf; es tritt dort bereits Mesosaurus auf, und darüber finden sich bereits Kalk- und Dolomiteinlagerungen in den Schiefer-tonen, die ja stets auf warmes Wasser hindeuten. Besonders gut passen

<sup>1)</sup> Über die für paläoklimatische Zwecke so überaus wichtigen Salzablagerungen gibt Auskunft J. O. Freiherr von Buschman, Das Salz, 2 Bd. Leipzig 1906. Leider sind die geologischen Zeitangaben oft recht unvollständig.

<sup>2)</sup> Th. Arldt, Paläogeographie 2. Leipzig 1921.

auch die permokarbonen „Red Beds“ im westlichen Nordamerika in unser Bild hinein, die offenbar dem Wüstengebiet der nördlichen Trockenzone angehören. Daß große Teile von Afrika vom Karbon zum Perm aus der gemäßigten Regenzone in die südliche Trockenzone gierten, harmoniert wohl auch mit Passarges Resultat, der zur Erklärung der heutigen dortigen Oberflächenformen eine lange Wüstenperiode im Mesozoikum annimmt<sup>1)</sup>.

Werfen wir zum Vergleich noch einen Blick auf die Klimaverteilung in der dem Karbon vorangehenden Devonzeit, wobei wir allerdings die Ungenauigkeit unserer Kartengrundlage berücksichtigen müssen, bei der die karbonischen Gebirgsfalten nicht ausgeglättet sind. Es wurde schon erwähnt, daß altdevonische Eisspuren aus Südafrika bekannt sind. Andererseits sind die Spuren der nördlichen Trockenzone in der schon bei den geologischen Argumenten besprochenen Wüstenformation des Old Red in Nordamerika, Grönland, Spitzbergen und Nordeuropa bekannt, welche in Nordamerika und in den Ostseeprovinzen auch Salz und Gips enthält und sich hierdurch als echtes Erzeugnis der Trockenzone dokumentiert. Der altdevonische Äquator muß also ähnlich wie der oberkarbonische orientiert gewesen sein. Die devonischen Kohlen bei Neunkirchen in der Eifel würden folgerichtig zur äquatorialen Regenzone gehören, und die devonischen Korallenriffe in England, Belgien, Südfrankreich, Nordwestdeutschland, Schlesien und den Alpen ordnen sich gut in dies Bild ein. Der größte Teil von Afrika (unterer nubischer Sandstein) und Brasilien lag in der südlichen Trockenzone. Wir können indessen hier auf Einzelheiten nicht weiter eingehen, es genügt, gezeigt zu haben, daß bei den für das Karbon und Perm gefundenen Pollagen auch der Anschluß an die devonische Pollage nicht fehlt.

Die Gesamtheit dieser Klimazeugen für die permokarbonische Zeit gibt ein so überzeugendes Bild von den damaligen klimatischen Zonen, daß ich nicht sehe, wie man diese Auffassung von der Lage und Bewegungsrichtung der Pole abweisen könnte. Hierdurch werden diese Zeugnisse zu einem starken Beweis für die Richtigkeit der Verschiebungstheorie.

Wir haben im vorangehenden gerade die Karbonzeit ausgewählt, weil sie die durch die Verschiebungstheorie geschaffene Vereinfachung am deutlichsten zeigt. Es ist ja klar, daß die Rolle dieser Theorie um so größer wird, je weiter wir in der Erdgeschichte zurückgehen, da hiermit auch die Verschiebungen der Kontinente im Vergleich zu ihrer heutigen Lage immer größer werden. Und andererseits ist das Karbon die älteste Zeit, bis zu der die Verschiebungstheorie bisher ausgearbeitet

---

<sup>1)</sup> Passarge, Die Inselberglandschaft im tropischen Afrika. Naturwiss. Wochenschr., N. F., 3, 657, 1904.

ist. Infolgedessen sind auch die Kriterien, welche wir aus dem Studium der Pollage der späteren Zeiten für die Verschiebungstheorie erhalten, von allmählich abnehmender Wichtigkeit. Wollten wir die Sachlage vollständig durchprüfen, so müßten wir mit gleicher Ausführlichkeit wie für das Permokarbon die Lage der Klimagürtel auch für die folgenden Zeiten bis zum Quartär bestimmen und in jedem Fall untersuchen, wie weit durch die Verschiebungstheorie Verbesserungen eintreten. Diese Arbeit ist noch nicht mit der erforderlichen Sorgfalt ausgeführt, ich hoffe sie jedoch in nicht allzu ferner Zeit gemeinsam mit W. Köppen in einer besonderen Veröffentlichung durchführen zu können. Zur allgemeinen Orientierung seien hier die Ergebnisse einer provisorischen Durchsicht nur der am meisten in die Augen fallenden Klimazeugnisse mitgeteilt, die in der vorigen (2.) Auflage dieses Buches im einzelnen dargestellt sind. Es ist vorauszusehen, daß die geplante ausführlichere Bearbeitung zu einer Abänderung dieser Zahlen führen wird, doch liegt kein Grund für die Annahme vor, daß sie sich grundsätzlich ändern werden. Ich erhielt dort folgende Lagen des Nord- und Südpols, bezogen auf das heutige, mit Afrika starr verbunden gedachte Koordinatensystem:

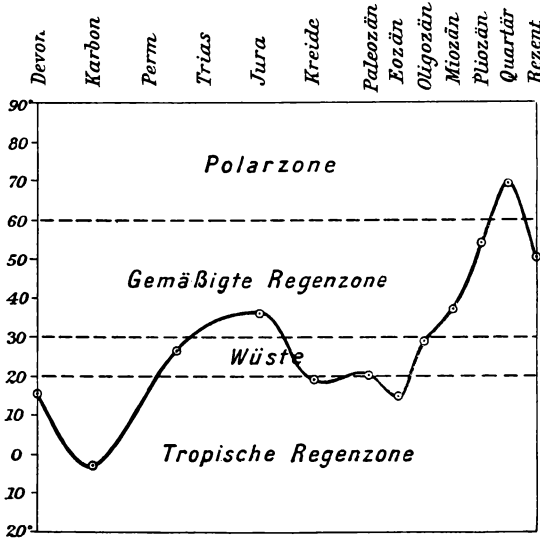
	Nordpol		Südpol		Deutschland
Rezent . . . . .	90° N	—	90° S	—	50° N
Quartär . . . . .	70 N	10° W	70 S	170° O	69 N
Pliozän . . . . .	90 N	—	90 S	—	54 N
Miozän . . . . .	67 N	172 W	67 S	8 O	37 N
Oligozän . . . . .	58 N	etwa 180 W	58 S	etwa 0	29 N
Eozän . . . . .	45 N	" 180 W	45 S	" 0	15 N
Paleozän . . . . .	50 N	" 180 W	50 S	" 0	20 N
Kreide . . . . .	48 N	140 W	48 S	40 O	19 N
Jura . . . . .	69 N	170 W	69 S	10 O	36 N
Trias } (Mittellage) .	50 N	130 W	50 S	50 O	26 N
Perm } .					
Karbon . . . . .	25 N	155 W	25 S	25 O	3 S
Devon . . . . .	30 N	140 W	30 S	40 O	15 N

Die Zahlen der letzten Spalte geben an, in welchen geographischen Breiten sich ein heute in 50° Breite liegender Ort Deutschlands im Laufe der geologischen Zeiten befunden hat. Sie werden veranschaulicht durch die nachstehende Fig. 19.

Nur die quartäre Vereisung Nordamerikas und Nordeuropas sei noch mit wenigen Worten gestreift, jedoch auch nur insoweit, als sie Kriterien für die Verschiebungstheorie liefert. Wie Fig. 20 zeigt, hingen

im Anfang des Quartärs nach der Verschiebungstheorie die Kontinente noch unmittelbar zusammen. Die Trennung mag sich etwa zur Zeit der Hauptvereisung vollzogen haben, möglicherweise auch schon kurz vorher. Jedenfalls war der Schollenabstand in der Hauptphase der Vereisung noch nicht groß; bei der letzten Vereisung müssen dagegen die Schollen bereits deutlich getrennt gewesen sein. Dies hat man namentlich aus dem nach Westen gerichteten Gefälle der Strandlinien im westlichen Norwegen geschlossen. Es war schon früher darauf hingewiesen, daß sich unter diesen Voraussetzungen die äußersten Endmoränen in

Fig. 19.



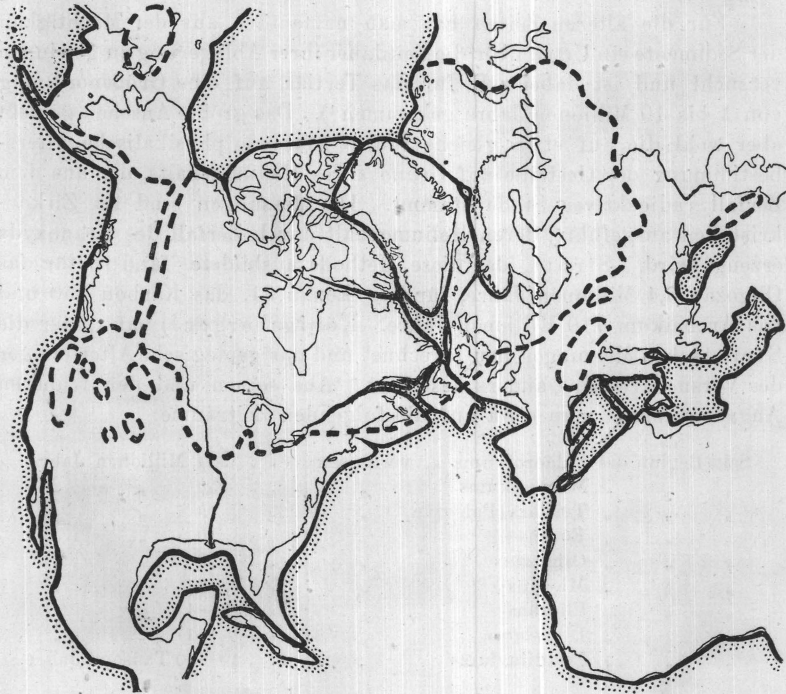
Die Breitenlage Mitteleuropas im Laufe der Erdgeschichte.

Europa und Nordamerika glatt aneinanderfügen. Was uns aber hier vor allem interessiert, ist die bedeutende Verringerung des Gesamtareals der Vereisung nach der Verschiebungstheorie. Wie man auch sonst über die heikle Frage nach der „Ursache der Eiszeit“ denken möge, jedenfalls wird man zugestehen müssen, daß auch hier die Verschiebungstheorie das Verständnis der Erscheinung nicht erschwert, sondern vereinfacht. Noch eine interessante Einzelheit aus dem Erscheinungsgebiet der quartären Vereisung sei erwähnt: In Tasmanien lag nach A. Penck die diluviale Schneegrenze 500 bis 600 m tiefer als auf Neuseeland. Bei der heutigen, fast gleichen Breite beider Lokalitäten ist dies schwer verständlich. Die Verschiebungstheorie beseitigt diese Schwierigkeit, denn nach ihr lag Tasmanien damals wesentlich südlicher als Neuseeland.

### 7. Kapitel. Geodätische Argumente.

Vor allen anderen Theorien mit ähnlich weitreichenden Aufgaben hat die Verschiebungstheorie den Vorzug voraus, daß sie sich durch exakte astronomische Ortsbestimmungen prüfen läßt. Wenn die Kontinentalverschiebungen so lange Zeiträume hindurch tätig waren, so ist wohl ohne weiteres anzunehmen, daß sie auch heute noch fort dauern, und es ist nur die Frage, ob die Bewegungen schnell genug sind, um

Fig. 20.



Rekonstruktion der Kontinentalschollen für die große Eiszeit.

sich unseren astronomischen Messungen innerhalb nicht allzulanger Zeiträume zu verraten. Um hierüber ein Urteil zu gewinnen, müssen wir auf die absolute Zeitdauer der geologischen Abschnitte etwas eingehen. Die Bewertung derselben ist bekanntlich unsicher, aber doch nicht in dem Maße, daß es eine Beantwortung unserer Frage unmöglich macht. Der seit der letzten Eiszeit verflossene Zeitraum wird von A. Penck auf Grund seiner alpinen Glazialstudien auf 50 000 Jahre, von Steinmann auf mindestens 20 000, höchstens 50 000, von Heim nach neueren

Berechnungen aus der Schweiz und ebenso von den Glazialgeologen der Vereinigten Staaten nur auf etwa 10 000 geschätzt. Milankovitch kommt durch mathematische Untersuchungen auf einen klimatischen Höhepunkt der letzten Eiszeit etwa vor 25 000 Jahren, und ein Klima-Optimum (das von schwedischen Geologen bestätigt wird) vor 10 000 Jahren. De Geer schließt aus seinen Auszählungen von Lehmhorizonten, daß der zurückgehende Eisrand vor 12 000 Jahren Schonen passiert hat, vor 14 000 Jahren aber noch in Meklenburg lag. Für unsere Zwecke reicht die Übereinstimmung dieser Zahlen bereits völlig aus.

Für die älteren Zeiten hat man namentlich aus der Mächtigkeit der Sedimente ein Urteil über die Zeitdauer ihrer Ablagerung zu gewinnen versucht und ist dabei z. B. für das Tertiär auf eine Größenordnung von 1 bis 10 Millionen Jahre gekommen<sup>1)</sup>. Das größte Ansehen genießt aber wohl die auf etwa gleiche Werte führende physikalische Altersbestimmung der Gesteine auf Grund ihres Heliumgehalts, der aus dem Zerfall radioaktiver Stoffe stammt. Die Messungen sind an Zirkonkristallen ausgeführt, deren Heliumgehalt durch Zerfall des Uranoxyds erzeugt wird. Strutt, der diese Methode ausbildete, fand so für das Oligozän 8,4 Millionen Jahre, für das Eozän 31, das Karbon 150 und das Archaikum 710 Millionen Jahre. Königsberger<sup>2)</sup> hat später die Struttischen Messungen neu berechnet und das geologische Alter einiger der Versuchsgesteine anders bestimmt. Aus seinen und den früheren Angaben kommt man etwa auf die folgenden Zeiträume:

Seit Beginn des	Paläozoikums	verflossen . . .	500 Millionen Jahre		
" "	Mesozoikums	" . . .	50	"	"
" "	Tertiärs (Paleozän)	" . . .	15	"	"
" "	Eozäns	" . . .	10	"	"
" "	Oligozäns	" . . .	8	"	"
" "	Miozäns	" . . .	6	"	"
" "	Pliozäns	" . . .	2—4	"	"
" "	Diluviums	" . . .	$\frac{1}{2}$ —1	"	"
" "	Postdiluviums	" . . .	10—50 Tausend Jahre.		

Mit Hilfe dieser Zahlen und den von den Kontinenten zurückgelegten Wegen können wir uns unschwer ein ungefähres Bild von dem zu erwartenden Betrag der jährlichen Verschiebung machen. Leider werden die Zahlen auch besonders dadurch sehr unsicher, daß der Zeitpunkt, zu dem die Schollen sich trennten, auch in der relativen geologischen Zeitfolge meist noch recht ungenau bestimmt ist. Es ist

1) Vergl. Dacqué, *Grundl. u. Meth. d. Paläogeographie*, S. 273. Jena 1915, und Rudzki, *L'âge de la terre*, *Scientia* **13**, Nr. XXVIII, 2, S. 161—173, 1913.

2) Königsberger, *Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage*. *Geol. Rundsch.* **1**, 241, 1910.

daher zu erwarten, daß manche von diesen Zahlen künftig noch stark verändert werden müssen. Einstweilen komme ich auf die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werte:

	Zurück- gelegte Entfernung km	Trennung vor Mill. Jahren etwa	Jährliche Bewegung m
Sabineinsel—Bäreninsel . . . . .	1070	0,05—0,1	21—11
Island—Norwegen . . . . .	920	0,05—0,1	18— 9
Kap Farvel—Schottland . . . . .	1780	0,05—0,1	36—18
Kap Farvel—Labrador . . . . .	790	0,05—0,1	16— 8
Neufundland—Island . . . . .	2410	2—4	1,2—0,6
Kap S. Roque—Kamerun . . . . .	4880	20	0,2
Buenos Aires—Kapstadt . . . . .	6220	25	0,2
Feuerland—Süd-Sandwichinseln . . . . .	2390	2	1
Madagaskar—Afrika . . . . .	890	0,1	9
Vorderindien—Südafrika . . . . .	5550	15	0,4
Tasmania—Wilkesland . . . . .	2890	8	0,4

Die größte Änderung ist also bei dem Abstand Grönlands von Europa zu erwarten. Die Bewegung ist hier eine ostwestliche, die astronomischen Ortsbestimmungen können also nur eine Vergrößerung der Längendifferenz, nicht der Breitenunterschiede, ergeben.

Man ist nun in der Tat bereits auf diese Vergrößerung der Längendifferenz Grönland—Europa aufmerksam geworden. J. P. Koch hat im sechsten Bande der Ergebnisse der Danmark-Expedition<sup>1)</sup> in dessen Hauptteil „Survey of Northeast Greenland“ auf S. 240 in einem „The drift of North Greenland in a westerly direction“ überschriebenen, 16 Seiten langen Kapitel<sup>2)</sup> die Längenbestimmungen von Sabine (1823), Børgen und Copeland (1870) und Koch (1907) verglichen und dabei eine mit der Zeit zunehmende Differenz gefunden, die einer Vergrößerung des Abstandes zwischen Nordostgrönland und Europa entspricht, und zwar beträgt diese Vergrößerung

im Zeitraum von 1823—1870 . . . . 420 m oder 9 m pro Jahr  
 „ „ „ 1870—1907 . . . . 1190 „ „ 32 „ „ „

Die Längenbestimmungen sind nicht genau an der gleichen Stelle ausgeführt. Sabine beobachtete am Südufer der nach ihm benannten Insel, und leider bestehen hier auch noch gewisse, freilich nicht sehr wichtige Unsicherheiten über den genaueren Beobachtungsort, die sich voraus-

<sup>1)</sup> Danmark-Ekspeditionen til Grönlands Nordøstkyst 1906—1908 under Ledelsen af L. Mylius-Erichsen 6 (Meddelelser om Grönland 46). København 1917.

<sup>2)</sup> Vgl. mein Referat in Astr. Nachr. 208, Nr. 4986. Mai 1919.



sichtlich durch eine nochmalige Besichtigung der Örtlichkeit würden beheben lassen. Börgen und Copeland beobachteten ebendort, aber einige 100 Meter östlicher, Kochs Beobachtungen dagegen sind weit nördlicher, am Danmarkshafen auf Germanialand angestellt, sind aber durch ein Dreiecksnetz mit der Sabineinsel verbunden. Die aus dieser Übertragung entspringenden Ungenauigkeiten wurden von Koch eingehend untersucht mit dem Resultat, daß sie gegenüber der viel größeren Ungenauigkeit der Längenbestimmungen selber vernachlässigt werden können. Da diese in allen drei Fällen durch Mondbeobachtungen gewonnen sind, ist notwendigerweise die Genauigkeit weit geringer als etwa bei funkentelegraphischer Längenbestimmung. Ein Bild von dem Genauigkeitsgrad gibt der „mittlere Fehler“, der aus der inneren Übereinstimmung der Beobachtungsreihen abgeleitet wird. Dieser mittlere Fehler beträgt:

1823 . . . . .	etwa 124 m
1870 . . . . .	„ 124 „
1907 . . . . .	„ 256 „

Vergleichen wir diese mittleren Fehler mit den beobachteten Änderungen der Länge, so sieht man, daß letztere ganz erheblich größer sind. Koch schließt deshalb: „Aus dem Vorangehenden geht hervor, daß die Fehlerquellen weder einzeln noch vereinigt genügen, um den Unterschied von 1190 m zu erklären, der zwischen der Lage von Haystack nach den Bestimmungen der Danmark-Expedition und der Germania-Expedition besteht. Die einzige Fehlerquelle, die in dieser Verbindung überhaupt in Betracht kommt, ist die astronomische Längenbestimmung. Aber um die Abweichung durch die fehlerhafte Lage des Observatoriums zu erklären, müßten wir den wirklichen Fehler der astronomischen Längenbestimmung vier- bis fünfmal größer annehmen als dessen mittleren Fehler, was vollkommen sinnlos ist“. Hiergegen hat freilich F. Burmeister<sup>1)</sup> eingewendet, daß der mittlere Fehler nur bei einer unendlich großen Zahl von Beobachtungen die ihm hier zugedachte Rolle spielt, und daß im vorliegenden Falle der wirkliche Fehler des Resultats dennoch den Betrag der beobachteten Differenz erreichen könne. Er hält deshalb Kochs Nachweis nicht für ausreichend. Wenn dies nun auch vom theoretischen Standpunkte aus gewiß zutrifft und wir uns keinesfalls bei dem vorliegenden Ergebnis beruhigen dürfen, sondern neue genauere Messungen mit Hilfe der Funkentelegraphie zu gewinnen suchen müssen, so glaube ich doch, daß Burmeisters Kritik über das Ziel hinausschießt. Wenn der exakte quantitative Nachweis auch genaueren Messungen vorbehalten bleibt, so wird man dennoch

<sup>1)</sup> F. Burmeister, Die Verschiebung Grönlands nach den astronomischen Längenbestimmungen. Peterm. Mitt. 1921, S. 225—227.

Koch das Vorrecht der ersten Entdeckung dieser Koordinatenänderung lassen müssen.

Wie unsere Tabelle lehrt, ist ein noch größerer Verschiebungsbetrag bei Kap Farvel zu erwarten. Auch auf Island müßte sich die Verschiebung im Laufe von fünf bis zehn Jahren einwandfrei ermitteln lassen.

Weniger günstig liegen die Verhältnisse bei der Längendifferenz Europa—Nordamerika. Nach unserer Tabelle ist hier ein jährlicher Zuwachs des Abstandes von etwa 1 m zu erwarten, aber diese Zahl gilt als Mittel seit dem Abriß Neufundlands von Irland. Seitdem scheint sich aber die Bewegungsrichtung Nordamerikas durch den Abriß von Grönland geändert zu haben, und zwar scheint sie seitdem mehr nach Süden gerichtet zu sein. Dies geht aus der heutigen relativen Lage der korrespondierenden Küstenpunkte von Labrador und Südwestgrönland hervor und wird auch bestätigt durch die später noch eingehender zu besprechende Sprungrichtung bei der Erdbebenspalte von San Franzisko, sowie die beginnende Stauchung der kalifornischen Halbinsel. Es läßt sich deshalb schwer sagen, wie groß der zu erwartende heutige Längenzuwachs ist. Jedenfalls wird er aber kleiner sein müssen als 1 m pro Jahr. Aus den vorliegenden, mit dem Kabel gewonnenen transatlantischen Längenbestimmungen von 1866, 1870 und 1892 hatte ich seinerzeit auf eine tatsächliche Vergrößerung des Abstandes um sogar mehrere Meter im Jahre geschlossen. Nach Galle<sup>1)</sup> sollen jedoch die dabei zugrunde gelegten Messungen nicht richtig kombiniert sein. Kurz vor dem Kriege war mit Rücksicht auf unsere Frage eine neue Längenbestimmung mit Amerika im Gange, die auch durch eine funkentelegraphische Messung kontrolliert wurde. Obwohl diese Messung durch Zerschneiden des Kabels bei Kriegsbeginn vorzeitig abgebrochen wurde und infolgedessen das Resultat nicht die wünschenswerte Genauigkeit besitzt, scheint doch daraus hervorzugehen, daß die Veränderung noch zu klein ist, um sich mit Sicherheit nachweisen zu lassen. Es wurde nämlich für den Längenunterschied Cambridge—Greenwich gefunden<sup>2)</sup>:

1872 . . . . .	4 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 31,016 <sup>s</sup>
1892 . . . . .	4 44 31,032
1914 . . . . .	4 44 31,039

Die älteste Bestimmung von 1866, für welche ich 4<sup>h</sup> 44<sup>m</sup> 30,89<sup>s</sup> gefunden hatte, ist als angeblich zu ungenau fortgelassen worden. Es ist hier nach wohl sehr zu wünschen, daß eine neue vollständige Längenbestimmung ausgeführt wird, aber man wird mit der Möglichkeit rechnen

<sup>1)</sup> Galle, Entfernen sich Europa und Nordamerika von einander? Deutsche Revue, Febr. 1916.

<sup>2)</sup> Vgl. den Jahresber. d. preuß. Geodät. Instituts in Vierteljahrsschr. d. Astron. Ges. 51, 139, sowie Astronomical Journal Nr. 673/674.

müssen, daß die Verschiebung zu klein ist, um schon jetzt sicher wahrgenommen zu werden.

Vielleicht wird es aber möglich sein, die Verschiebung Nordamerikas durch korrespondierende Breitenbestimmungen mit Grönland zu ermitteln. Auch bei der Breitendifferenz Madagaskar–Afrika besteht wohl Aussicht, ihre Änderung durch wiederholte Bestimmungen in nicht allzu langer Zeit zu messen.

Zum Schluß sei noch auf die Veränderung der geographischen Breite der europäischen und nordamerikanischen Sternwarten hingewiesen. A. Hall<sup>1)</sup> betrachtete folgende Breitenabnahmen als gesichert: bei Washington in 18 Jahren um 0,47"; bei Paris in 28 Jahren um 1,3"; bei Mailand in 60 Jahren um 1,51"; bei Rom in 56 Jahren um 0,17"; bei Neapel in 51 Jahren um 1,21"; bei Königsberg i. Pr. in 23 Jahren um 0,15"; bei Greenwich in 18 Jahren um 0,51". Auch für Pulkowa ergab sich nach Kostinsky und Sokolow eine säkulare Breitenabnahme. Da man aber die Entdeckung machte, daß durch die sog. „Saalrefraktion“ in der Kuppel systematische Fehler ähnlicher Größe entstanden, hat man später alle Abweichungen auf diese Fehlerquelle geschoben. Indessen mehren sich neuerdings die Stimmen, nach denen auch die internationalen Breitenbeobachtungen für Europa und Amerika eine Breitenänderung erkennen lassen, freilich jetzt eine Zunahme<sup>2)</sup>.

### III. Erläuterungen und Schlußfolgerungen.

#### 8. Kapitel. Die Zähflüssigkeit des Erdkörpers.

Nachdem wir in den vorangegangenen Kapiteln die Hauptbeweiskräfte für die Verschiebungstheorie zusammengestellt haben, wollen wir sie nunmehr als richtig voraussetzen und unter dieser Voraussetzung eine Reihe von Problemen behandeln, die immerhin so eng mit dem Vorstellungskreis der Verschiebungstheorie verknüpft sind, daß eine Auseinandersetzung mit ihnen wünschenswert erscheint. Es wird dabei auf manches alte Problem ein neues Licht fallen, und es werden auch manche Dinge zur Sprache kommen, in denen man eine weitere Bestätigung der Verschiebungstheorie, wenn auch nicht von gleicher Beweiskraft wie die früheren, erblicken kann.

Bei den Geophysikern wird jetzt viel die Frage diskutiert, ob und wie weit die Erde als zähflüssiger oder als starrer Körper zu betrachten

<sup>1)</sup> Günther, Lehrb. d. Geophysik 1, 278. Stuttgart 1897.

<sup>2)</sup> W. D. Lambert, The Latitude of Ukiah and the Motion of the Pole. Journ. of the Washington Ac. of. Sc. 12, Nr. 2, 19. Januar 1922.

sei. Wir wollen die Gründe für beide Auffassungen der Reihe nach durchsprechen und mit denen für die Zähflüssigkeit beginnen. Es sind dies namentlich die Erscheinungen der Isostasie, der Kontinentalverschiebungen, der Polwanderung und der Abplattung.

Daß die Isostasie, das Tauchgleichgewicht der Erdrinde, in großen Zügen überall erfüllt ist, ist eine anerkannte Tatsache. Ebenso unzweifelhaft ist das Vorkommen vertikaler Ausgleichsbewegungen zur Herstellung der Isostasie da, wo sie über einem größeren Gebiet gestört ist. Wir haben bereits im 2. Kapitel die Isostasie besprochen und dort auch bereits hingewiesen auf Skandinavien und Nordamerika als Beispiele für isostatische Ausgleichsbewegungen; sie waren im Quartär durch die Last des Inlandeises um etwa 250 bzw. 500 m gesenkt, haben sich aber nach Abschmelzen des Eises um diese Beträge gehoben. Daß es sich hier nicht um elastische Deformationen handelt, hat Rudzki gezeigt<sup>1)</sup>, indem er berechnete, daß sich nach der Airyschen Theorie des Tauchgleichgewichts aus der von ihm zu 280 m angenommenen Hebung Skandinaviens die sehr plausible Dicke des einstigen Inlandeises von 933 m ergibt (für Nordamerika mit 500 m Hebung 1667 m), während die Annahme einer elastischen Deformation auf die ganz unwahrscheinliche Eisdicke von 6 bis 7 km führen würde. Auch das Nachhinken der Steigbewegung bezeugt, daß es sich um Fließbewegungen handelt: Skandinavien steigt noch jetzt um 1 m im Jahrhundert, obwohl es bereits seit dem Klima-Optimum vor 10 000 Jahren vom Eise entlastet ist. W. Köppen hat es jüngst wahrscheinlich gemacht, daß das unter der Eislast gesenkte Gebiet rings von einer Zone mit geringer entgegengesetzter Vertikalbewegung umgeben ist, und erklärt dies durch das seitliche Ausweichen des Simas unter der herabgedrückten Scholle<sup>2)</sup>. Alles dies setzt natürlich Zähflüssigkeit voraus.

Aber nicht nur die vertikalen Bewegungen zur Herstellung der Isostasie, sondern auch die horizontalen Bewegungen der Kontinente verlangen durchaus, daß die Erde sich zähflüssig verhält. Auf diesen Punkt brauchen wir nicht einzugehen, da er im vorangehenden genügend ausgeführt ist.

Die dritte hierher gehörige Erscheinung ist die Verlagerung der Rotationspole in der Erdgeschichte. Im 6. Kapitel haben wir die Pollage für die Karbonzeit abgeleitet; sie ist eine wesentlich andere als heute. Wir wissen zwar nicht, ob die Lage auch in bezug auf das Erdinnere geändert ist, oder ob, wie manche Autoren wollen, sich nur die Kruste verschoben hat. Vermutlich ist beides der Fall. Aber wie dem auch

---

<sup>1)</sup> Rudzki, Physik der Erde, S. 229. Leipzig 1911.

<sup>2)</sup> W. Köppen, Das System in den Klimawechseln und Bodenbewegungen des Quartärs im Ostseegebiet. Zeitschr. f. Glaziologie 1922.

sei, in jedem Falle brauchen wir die Annahme, daß der Erdball oder ein Teil von ihm sich zähflüssig verhält. Bei einer Krustendrehung ist dieses ohne weiteres klar; handelt es sich aber um Polverlegungen relativ zum Erdinneren, so brauchen wir gleichfalls eine zähflüssige Erde. Denn schon Laplace hat bewiesen, daß sich die Achse in einer starren Erde nicht verlagern kann. Bereits die Anschauung sagt uns, daß in diesem Falle die Achse größter Trägheit durch den äquatorialen Abplattungswulst außerordentlich festgelegt ist, so daß auch die größten Kontinentalverschiebungen und andere geologische Ereignisse sie nicht merklich verlagern können; und damit muß auch die Rotationsachse, bis auf die kleine Eulersche Perturbation, diese Lage innehalten. Anders, wenn die Erde zähflüssig ist. Unter dieser Annahme sagt Lord Kelvin<sup>1)</sup>: „Wir können nicht nur zulassen, sondern sogar als höchst wahrscheinlich behaupten, daß die Achse größter Trägheit und die Rotationsachse, immer nahe beieinander, in alten Zeiten sehr weit von ihrer gegenwärtigen geographischen Position entfernt gewesen sein können, und daß sie nach und nach um 10, 20, 30, 40 oder mehr Grade gewandert sein können, ohne daß dabei jemals eine wahrnehmbare plötzliche Störung, sei es des Wassers oder des Landes, stattgefunden hat.“ Auch Rudzki sagt<sup>2)</sup>: „Falls die Paläontologen einmal zu der Überzeugung kämen, daß in einer der vergangenen geologischen Epochen die Verteilung klimatischer Zonen auf eine von der gegenwärtigen ganz verschiedene Rotationsachse hinweist, so bliebe den Geophysikern nichts übrig, als dieses Postulat zu akzeptieren.“ Besonders hat Schiaparelli<sup>3)</sup> die Frage der Polwanderung für die drei Fälle einer völlig starren Erde, einer völlig flüssigen Erde und einer solchen mit verzögerter Anpassung an die jeweilige Pollage (d. i. einer zähflüssigen) untersucht. Im ersten Falle kommt er natürlich zu dem Laplaceschen Resultat der Unveränderlichkeit der Rotationsachse. Im Falle der völlig flüssigen Erde dagegen werden die Pole sehr beweglich, da nunmehr die Abplattung jeder Änderung der Pollage sofort folgt und daher nichts mehr zur Stabilisierung der Trägheitsachse beitragen kann. In diesem Falle wären außerordentlich schnelle Polwanderungen zu erwarten, wie sie in der Erdgeschichte nicht vorkommen. Bei der dritten Annahme der verzögerten Anpassung endlich verhält sich die Erde wie starr, solange die polverlegenden Kräfte eine gewisse Schwelle nicht überschreiten. Dann ist nur die Eulersche Perturbation vorhanden, wie es heute

---

<sup>1)</sup> Zitiert nach Grabau, Principles of Stratigraphy, S. 897—898. New York 1913.

<sup>2)</sup> Rudzki, a. a. O., S. 209.

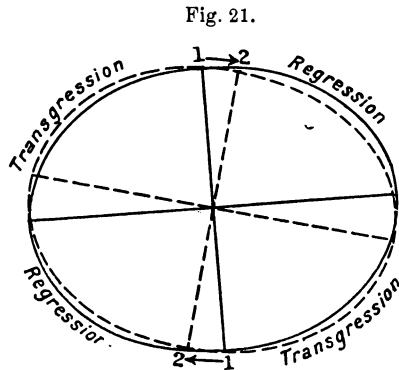
<sup>3)</sup> Schiaparelli, De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques (Mém. prés. à l'observatoire de Poulkova à l'occasion de sa fête semiséculaire), 32 S. St. Pétersbourg 1889.

beobachtet wird. Sobald aber diese Grenze überschritten wird (d. i. sobald der Radius der Perturbationskurve die kritische Grenze überschreitet), geht der Pol gewissermaßen durch; es können dann weitreichende, wenn auch langsame Polwanderungen stattfinden. Da nun Polwanderungen dieser Art in der Erdgeschichte ganz offensichtlich nachweisbar sind, muß geschlossen werden, daß die Erde sich wie ein zähflüssiger Körper verhält.

Die letzte als Beweis für die Zähflüssigkeit der Erde anzuführende Erscheinung ist ihre Abplattung. Soweit die Genauigkeit unserer Messungen ein Urteil gestattet, stehen Betrag und Orientierung ihrer Abplattung in Übereinstimmung mit ihrer Rotation, was nur durch Fließen erreicht werden kann. Aber wir können diese Frage geologisch untersuchen, indem wir die wechselnden Überflutungen (Transgressionen) und Trockenlegungen (Regressionen) mit den Polwanderungen vergleichen. Daß zwischen diesen

Dingen ein einfacher Zusammenhang besteht, haben bereits zahlreiche Autoren, wie z. B. Reibisch, Kreichgauer, Semper, Heil, Köppen u. a. vermutet. Fig. 21 erläutert dies: Wenn die Erde bei einer Polwanderung in ihrer Formänderung nachhinkt, während der Ozean sich sofort einstellt, muß vor dem wandernden Pol Regression, hinter ihm Transgression herrschen. Die Rekonstruktionskarten der Verschiebungstheorie setzen uns

jetzt in die Lage, dieses schon lange behauptete, aber niemals nachgewiesene Gesetz zu verifizieren. Wir wählen dazu die Zeit von Devon bis zum Perm, weil die Pole hier schnell wanderten<sup>1)</sup>, wie im 6. Kapitel gezeigt wurde. Tragen wir in unsere Karbon-Erdkarte die Küstenlinien für Alt-Devon und Alt-Karbon ein nach den üblichen paläogeographischen Darstellungen, z. B. von Koßmat oder L. Waagen, so ergeben sich die in Fig. 22 dargestellten untergetauchten und aufgetauchten Gebiete. In dieser Zeit rückte aber der Südpol vom Kapland nach Loanda vor, also in der Richtung auf Südamerika, und der

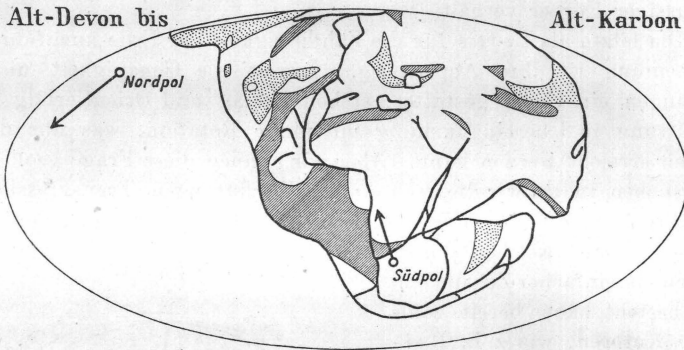


Trans- und Regressionen bei Polwanderung.

<sup>1)</sup> Die gleichfalls sehr rasche Polwanderung im Tertiär eignet sich weniger gut dazu, weil hier die Kontinente schon weiter aufgetaucht waren; das Schelfareal ist hier bereits so klein geworden, daß die Änderungen seiner Grenzen nicht mehr so auffällig sind wie in älteren Zeiten, wo viel größere Teile der Kontinentalschollen unter Wasser lagen.

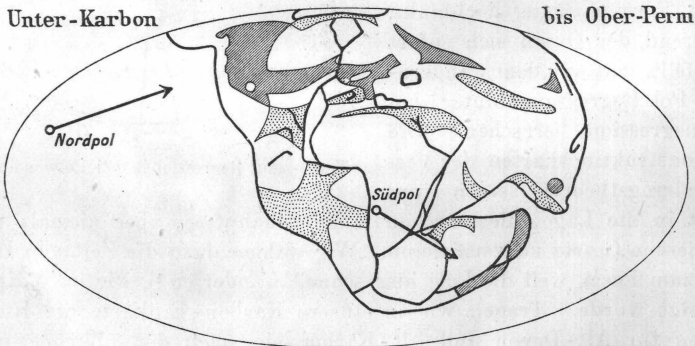
Nordpol entfernte sich von Nordamerika. Wir sehen also die Regel bestätigt: Vor dem Pol Regression, hinter dem Pol Transgression. In der Folgezeit, vom Alt-Karbon bis zum jüngeren Perm, kehrten nun nach unserer früheren Darstellung die Pole ihre Bewegungsrichtung

Fig. 22.



Transgression (punktiert), Regression (schraffiert) und Polwanderung zwischen Alt-Devon und Alt-Karbon.

Fig. 23.



Transgression (punktiert), Regression (schraffiert) und Polwanderung zwischen Unterkarbon und Oberperm.

beinahe um: Der Südpol wanderte von Loanda bis nach Australien hinein, und der Nordpol näherte sich Nordamerika. Die für diesen Zeitraum sich ergebenden Transgressionen und Regressionen sind in Fig. 23 eingetragen, und man sieht wieder die Regel bestätigt, was um so wirkungsvoller erscheint, als sich die Verhältnisse sowohl in Nordwie in Südamerika gerade umgekehrt haben. Es ist dies meines Wissens

der erste Nachweis für die Richtigkeit der schon lange geforderten Regel, und die Klarheit dieses Ergebnisses scheint mir wiederum ein Zeichen nicht nur für die Richtigkeit der Verschiebungstheorie, sondern auch der von uns angenommenen Lage und Bewegung der Pole in dieser Zeit zu sein.

Wir können noch eine zweite ähnliche Probe auf die Transgressionsregel machen, indem wir nunmehr die ganze Erdgeschichte, aber auf beschränktem Raum berücksichtigen. Aus unserer Breitenkurve Mitteleuropas (Fig. 19 auf S. 76) läßt sich ablesen, daß Europa sich vom Karbon bis Anfang Jura dem Pol näherte („vor“ dem Pol), von da bis zum Eozän sich entfernte („hinter“ dem Pol), und von da bis zum Quartär sich wieder stark näherte („vor“ dem Pol). Die europäischen Trans- und Regressionen entsprechen dem durchaus: Vom Karbon bis zum Beginn des Jura herrschte im allgemeinen Regression, dann aber setzen große Transgressionen ein, die das Jurameer und Kreidemeer schaffen und noch bis zum Eozän einen großen Teil Europas unter Wasser halten. Von da ab beginnt aber eine auffallende Regression, die zur gänzlichen Trockenlegung Europas führte. Es kann wohl kein Zufall sein, daß auch hier die Regel so gut stimmt<sup>1)</sup>.

Wir sind wegen der Neuheit der Sache etwas näher auf den Zusammenhang zwischen Polwanderung und Transgressionen eingegangen, als der Gedankengang dieses Buches unmittelbar erfordert hätte. Was können wir nun aus diesen Verhältnissen für die Zähflüssigkeit der Erde schließen? Die Niveauänderungen, die bei dieser Trans- und Regression erzeugt werden, sind der Größenordnung nach einige Hundert Meter. Um so viel kann also die Erdkruste vor dem Pol oberhalb, hinter ihm unterhalb ihrer Gleichgewichtslage liegen. Alle diese Transgressionen haben ja den Charakter der Flachsee wie etwa die Nord- oder Ostsee. Der Äquatorialradius der Erde ist aber um 21 km größer als der polare. Bei der fast 90° betragenden Polwanderung zwischen Karbon und Quartär müßte also, wenn die Erde sich starr verhalten hätte, Spitzbergen um fast 21 km aufgetaucht, Zentralafrika sich um den gleichen Betrag unter den Meeresspiegel gesenkt haben. Statt dessen haben wir, wie gesagt, nur vorübergehende Hebungen und Senkungen um

---

<sup>1)</sup> Nicht alle Niveauschwankungen werden sich freilich auf diese Weise erklären lassen. Eine andere Ursache, die Senkung durch Belastung mit Inlandeis, wurde bereits besprochen. Die Ausbildung großer polarer Inlandeiskappen muß ferner eine merkliche allgemeine Senkung des Ozeanspiegels im Gefolge haben, und die Abschmelzung entsprechend ein Ansteigen des Ozeans. Da es nachweislich Zeiten in der Erdgeschichte gab, wo wenigstens an einem Pol kein Inlandeis vorhanden war (weil er mitten im Pazifik lag), muß es auch nicht unerhebliche Schwankungen des Meeresspiegels aus diesem Grunde gegeben haben. Immerhin dürften die großen Züge im Wechsel der Transgressionen unmittelbar auf Polwanderungen zurückzuführen sein.



einige Hundert Meter. Die Erde hat sich also der neuen Lage ihrer Rotationsachse weitgehend angepaßt, der Erdradius ist unter Spitzbergen um 21 km kürzer, unter Zentralafrika um 21 km länger geworden, was natürlich nur durch Fließen geschehen kann.

So klar nun diese Dinge für die Zähflüssigkeit der Erde sprechen, so ist diese doch von manchen Geophysikern in Zweifel gezogen worden, weil sich nachweisen läßt, daß die Erde sich etwa 2- bis 3 mal so zäh wie Stahl bei Zimmertemperatur verhält (der einen Zähigkeitskoeffizienten von  $8 \times 10^{11}$  cgs-Einheiten besitzt). Wir müssen hierauf etwas eingehen. Auf drei verschiedenen Wegen ist man zu diesem Resultat gelangt. Aus den Beobachtungen von Geiger und Gutenberg über die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen im Erdkern folgt, daß der Zähigkeitskoeffizient in einer Tiefe von 0,4 Erdradien  $36 \times 10^{11}$  cgs ist, während sich für den Gesteinsmantel etwa  $7 \times 10^{11}$  cgs ergibt. Andererseits fand Schweydar<sup>1)</sup> aus den elastischen Gezeiten des festen Erdkörpers, die mit dem Horizontalpendel gemessen werden, für die gezeitenwirksame Starrheit der Erde den Wert 18, für den Erdmittelpunkt  $31 \times 10^{11}$ . Drittens läßt sich aber ein Zähigkeitskoeffizient auch aus den Polschwankungen berechnen. Diese zerfallen in zwei übereinander liegende Perioden, nämlich eine erzwungene Schwingung von Jahresperiode, die nach Spitaler und Schweydar auf die Beeinflussung der Trägheitsachse durch die jährliche Verlagerung der Luftmassen zurückzuführen ist, und als Haupterscheinung eine freie Schwingung von 14 Monaten, die einem Kreisen des Rotationspols um den Trägheitspol entspricht. Nach Eulers theoretischer Berechnung unter Annahme einer starren Erde sollte die Periode dieser Schwingung nur 10 Monate betragen. Newcomb vermutete, daß sie durch die Nachgiebigkeit der Erde verlängert sei, die eine teilweise Anpassung der Ellipsoidform an die neue Rotationsrichtung gestattet, und Hough und Schweydar berechneten hieraus in Übereinstimmung mit dem Ergebnis aus den Gezeitenbeobachtungen einen Zähigkeitskoeffizienten von  $18 \times 10^{11}$ . Für den anfänglich rund 1500 km dick geschätzten Silikatmantel der Erde<sup>2)</sup> fand Schweydar im Einklang mit der seismischen Forschung den Wert  $7 \times 10^{11}$  und für den von Wiechert nach Erdbebenbeobachtungen wahrscheinlich gemachten

<sup>1)</sup> W. Schweydar, Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte, gemessen mit zwei Horizontalpendeln im Bergwerk in 189 m Tiefe bei Freiberg i. Sa., Zentralbureau d. Internat. Erdmess. N. F., Nr. 38, Berlin 1921.

<sup>2)</sup> Die Wiechertsche Schule (B. Gutenberg, Über Erdbebenwellen. Nachr. d. Ges. Wiss. zu Göttingen 1914) fand auf Grund der Ausbreitung der Erdbebenwellen schließlich vier Unstetigkeitsflächen, nämlich in 1200 km, 1700 km, 2450 km und 2900 km Tiefe, von denen die erste und die letzte am ausgeprägtesten erscheinen, so daß man zurzeit wohl am besten einen rund 1200 km mächtigen Steinmantel, eine etwa 1700 km mächtige Zwischenschicht und einen 3500 km im Radius messenden Erdkern annimmt.

Eisenkern etwa  $20$  bis  $24 \times 10^{11}$ . Auf die Unterschiede dieser Zahlen kommt es wenig an. Es genügt zu wissen, daß die Erde als Ganzes sich starrer als Stahl verhält.

Schweydar hat ferner auch die durch Erdbebenbeobachtungen nahegelegte Frage untersucht, ob etwa unter der Erdrinde eine flüssige Magmaschicht vorhanden ist: „Es zeigt sich, daß eine Magmaschicht, deren Fluidität auch nur mit der des Siegellacks bei Zimmertemperatur zu vergleichen und deren Mächtigkeit auch nur  $100$  km wäre, nicht vorhanden sein kann. Schätzungsweise ergibt sich, daß die Annahme einer zirka  $600$  km dicken zähflüssigen Schicht, deren Zähigkeitskoeffizient von der Ordnung  $10^{13}$  bis  $10^{14}$  ist, unter einer  $120$  km dicken Erdrinde mit den Beobachtungen am besten im Einklang steht.“ Der Zähigkeitskoeffizient von Siegellack bei Zimmertemperatur ist von der Größenordnung  $10^9$ , d. h. Schweydar findet, daß das Sima unter den Kontinentalschollen etwa  $10\,000$  mal so zäh wie Siegellack von Zimmertemperatur ist.

Es ist gewiß nicht zu verwundern, wenn diese auf keine Weise anzuzweifelnden Ergebnisse als Widerspruch mit unseren oben entwickelten Anschauungen über die Zähflüssigkeit der Erde empfunden werden.

Die Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs liegt in den großen Dimensionen des Erdkörpers und in den langen Zeiträumen, welche für die geologischen Veränderungen zur Verfügung stehen. Es ist dies ein Punkt, der in der bisherigen Literatur erst ganz ungenügend gewürdigt ist, aber für die Geophysik von der größten Bedeutung ist. Eine kleine Modellkugel aus Stahl verhält sich im Laboratorium durchaus wie ein starrer Körper. Aber eine Stahlkugel von der Größe der Erde fließt unter dem Einfluß ihrer eigenen Anziehungskraft, wenigstens wenn man ihr die nötigen Jahrtausende Zeit läßt. Es ist der Übergang von der Herrschaft der Molekularkräfte (Starrheitsgrad) zu der der Massenkräfte (Schwere), der hier in Erscheinung tritt<sup>1)</sup>. Isostasie bedeutet Überwiegen der Massenkräfte, Fehlen der Isostasie dasjenige der Molekularkräfte. Aus diesem Grunde haben 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. Schon beim Monde herrscht, wenn man ihn als Ganzes nimmt, Isostasie; die großen Unebenheiten seiner Oberfläche zeigen aber, daß die Massenkräfte dort bereits erheblich geringer sind als auf der Erde, so daß die Molekularkräfte mehr hervortreten. Auch

<sup>1)</sup> „Les forces molaires l'emportent sur les forces moléculaires“ (Loukaschewitsch, Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents, S. 7. Petersburg 1910.)

die Höhe der Gebirge ist eben keine zufällige Größe, wie schon die von A. Penck<sup>1)</sup> hervorgehobene gleichförmige Höhe der Alpengipfel nahelegt, sondern wesentlich durch das Verhältnis dieser beiden Kräfte bestimmt. Die Gebirge zeigen also an, wie weit sich die Molekularkräfte noch gegen die Schwere behaupten können.

Auch auf die Frage, auf welche Weise denn die bloße Dimension des Weltkörpers einen solchen Einfluß auf das Verhalten seines Materials ausüben kann, brauchen wir die Antwort nicht schuldig zu bleiben. Wir wissen, daß Stahl 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 der Stahl kein fester Körper mehr, ja man kann wohl sagen, daß es dafür überhaupt keinen festen Körper mehr gibt, es haben vielmehr alle Stoffe die Eigenschaft der Zähflüssigkeit, nur werden die Zeiten, die sie für die Deformation brauchen, je nach ihrem Zähigkeitskoeffizienten verschieden. In letzterer Hinsicht ist es sehr lehrreich, daß Schweydar zu dem Resultat kommt, die Simasphäre sei etwa 10 000 mal so zäh wie Siegellack bei Zimmertemperatur. Wirft man eine Stange Siegellack auf den Boden, so zerspringt sie in scharfkantige Stücke; läßt man sie aber, an zwei Punkten unterstützt, in der Schwebelage liegen, so kann man schon nach einigen Wochen ein Durchhängen bemerken, und nach einigen Monaten hängen die nicht unterstützten Teile schon fast vertikal herab. Geologisch gesprochen, ist also Siegellack bei Zimmertemperatur von solcher Leichtflüssigkeit, daß wir dafür zur Erklärung der Erscheinungen gar keine Verwendung hätten. Hat das Sima einen Zähigkeitskoeffizienten, der 10 000 mal so groß ist als der des Siegellacks, so bedeutet ein Monat beim Siegellack ein Jahrtausend beim Sima. Und damit sind wir bei einer Zeitdimension, die den geologischen Veränderungen mehr angepaßt ist. Wir dürfen also aus Schweydars Zahlen nicht den Schluß ziehen; Die Erde hat dieselbe Zähigkeit wie Stahl, also verhält sie sich wie ein starrer Körper. Dies tut sie nur kurzdauernden Kräften gegenüber, wie bei den schnell wechselnden Gezeiten, oder gar den Erdbebenwellen, vielleicht auch den Polschwankungen. Sobald wir aber statt Sekunden, Tagen oder Jahren mit Jahrtausenden oder Jahrmillionen zu tun haben, muß es heißen:

---

<sup>1)</sup> A. Penck, Die Gipfelfur der Alpen. Sitz. Ber. d. Pr. Ak. d. Wiss., S. 256—268. Berlin 1919.

Die Erde hat nur die Zähigkeit des Stahls, also verhält sie sich wie ein zähflüssiger Körper.

Es soll keineswegs gelehnet werden, daß diese Vorstellungen etwas Paradoxes haben. Aber man vergesse nicht, daß schon unsere Laboratoriumsversuche mit zähflüssigen Stoffen uns paradox erscheinen, weil sie der gewöhnlichen Erfahrung zuwiderlaufen. Pech verhält sich z. B. gegen Schlag und Stoß wie ein absolut fester Körper, aber wenn man ihm Zeit läßt, fängt es unter dem Einfluß der Schwere an zu fließen; ein Stück Kork läßt sich mit Gewalt nicht durch eine Schicht Pech hindurchtreiben, aber bei längerer Zeit genügt sein geringer Auftrieb, um es vom Boden eines Gefäßes langsam durch das Pech hindurch aufsteigen zu lassen. Weil diese Dinge paradox erscheinen, bot ja auch die Erklärung des Fließens der Gletscher dem Verständnis Schwierigkeiten, so daß man zunächst besondere Ursachen, wie z. B. die 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.

Es bedarf noch der Erwähnung, daß es eine große Zahl verschieden definierter Zähigkeits- oder Festigkeits- oder Starrheitskoeffizienten gibt. Ohne hierauf näher einzugehen, soll nur an einem Beispiel gezeigt werden, um welche Eigenschaften der Körper es sich dabei handelt.

Maxwell nennt einen Körper „weich“, wenn er einem Zwange schnell, aber erst nach Überschreitung einer gewissen Kraftgrenze folgt, dagegen nennt er ihn „zähflüssig“, wenn er auch schon einem unendlich kleinen Zwange, wenn auch unendlich langsam folgt. „Wird die zunehmende Formänderung nur erreicht, wenn der Zwang einen gewissen Wert übersteigt, so nennt man die Substanz fest, so weich sie auch sein mag. Wenn dagegen schon ein kleinster Zwang, wenn er nur lange genug dauert, eine stetig wachsende Formänderung bewirkt, so ist der Stoff als eine zähe Flüssigkeit zu bezeichnen, so hart er auch sein mag. So ist eine Talgkerze viel weicher als eine Siegelackstange. Legt man aber beide horizontal zwischen zwei Stützen, so wird der Siegelack sich in wenigen Sommerwochen durch sein eigenes Gewicht nach unten durchbiegen, während die Kerze gerade bleibt. Die Kerze ist mithin ein weicher fester Körper, der Siegelack eine äußerst zähe Flüssigkeit“<sup>1)</sup>.

Ähnlich wie Talg würde sich auch Wachs verhalten. Eine Wachsfigur kann sich, wenn nur die Zimmertemperatur nicht den Schmelzpunkt erreicht, jahrhundertlang erhalten, ohne zu zerfließen, während die gleiche Figur, aus Siegelack gegossen, allmählig zerfließen würde.

<sup>1)</sup> Zitiert nach H. Hess, Die Gletscher, S. 16. Braunschweig 1904.

In der Natur gibt es alle Übergänge zwischen diesen beiden Maxwellschen Extremen, und auch die angeführten Beispiele stellen in Wirklichkeit nicht diese Extreme dar; auch beim Siegelack genügt wohl nicht ein unendlich kleiner Zwang, um die Deformation eintreten zu lassen, nur liegt die Schwelle so tief, daß er unter seinem eigenen Gewicht, also „von selbst“ zu fließen beginnt. Auf jeden Fall müssen zusammengesetzte Körper, wie der Silikatmantel der Erde, Züge von beiden Arten aufweisen. Wenngleich daher weder das Sima noch das Sial mit einem der Maxwellschen Prototype gleichzusetzen ist, so bringt ein Vergleich mit diesen doch meines Erachtens viel Licht in die unseren Vorstellungen so schwer zugänglichen Verschiebungsprozesse. Es zeigt sich dabei ein deutlicher Unterschied zwischen diesen beiden Stoffen, den wir nicht besser erläutern können, als indem wir das Sima mit Siegelack, das Sial mit Talg oder Wachs vergleichen. Das Sima ist das härtere Material (Basalt der beste Pflasterstein!), aber dennoch das flüssigere. Sial bewahrt die Form (Kontinentalscholle), solange die Kräfte unter einem Schwellenwert bleiben, wird aber bei Überschreitung dieser Schwelle gefaltet oder zerrissen.

Wir haben bisher noch gar nicht die Temperaturverhältnisse im Erdkörper berücksichtigt. Auch diese sind von Bedeutung für die Frage nach der Verschiebungsmöglichkeit. Die zusammengesetzten Silikatgesteine haben, wie die Versuche von Doelter und Day gezeigt haben, keinen scharfen Schmelzpunkt, sondern nur ein mitunter sehr großes Schmelzintervall; man kann sagen, daß Diabas bei 1100°, die Vesuvlaven bei etwa 1400 bis 1500° schmelzen. Diese Zahlen gelten allerdings für Atmosphärendruck, so daß man für 100 km Tiefe wohl einige 100° zu addieren hat<sup>1)</sup>. Auf der anderen Seite geben die heute tiefsten Bohrlöcher Czuchow II und Paruschowitz V in Oberschlesien für die obersten 2 km der Erdkrinde eine Temperaturzunahme von 3,1° pro 100 m Tiefe<sup>2)</sup>. Diese Messungen sind allerdings in Sedimenten ausgeführt, die wohl eine geringere Wärmeleitfähigkeit besitzen, was zur Folge hat, daß sich die Isothermen in ihnen zusammendrängen. Im Urgestein des Gotthard-, Mönch- und Simplontunnels ergab sich nur

<sup>1)</sup> Bei allen Stoffen, die 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° pro Atmosphäre, was Vogt auf 0,005° verbessert. Dagegen sinkt der Schmelzpunkt mit stark zunehmendem Druck ein wenig bei allen solchen Stoffen, die 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>2)</sup> Michael und Quitzow, Die Temperaturverhältnisse im Tiefbohrloch Czuchow in Oberschlesien. Jahrb. d. Kgl. Preuß. Geol. Reichsanstalt 1910.

2,2, 2,2 und  $2,4^0$  pro 100 m. Da hier wieder wegen der konvexen Bergform ein abnorm schwaches Gefälle angenommen werden darf, so wird man  $2,5^0$  pro 100 m als einen guten Durchschnittswert für die Kontinentalschollen betrachten. Entsprechende Messungen im Sima sind natürlich nicht ausführbar. Wenn Friedländers Angabe<sup>1)</sup> zutrifft, der für vulkanische Tiefengesteine eine kleinere Wärmeleitfähigkeit und ein Temperaturgefälle von  $6^0$  pro 100 m findet, so würde bei geradliniger Extrapolation schon in 9 km Tiefe (unter dem Meeresspiegel) in der Kontinentalscholle die gleiche Temperatur (etwa  $230^0$ ) herrschen, wie unter der Tiefsee, unterhalb dieses Niveaus aber wäre die Unterlage der Tiefsee heißer als die gleich tiefen Schichten der Kontinentalscholle. Friedländers Zahlen sind freilich wohl noch wenig zuverlässig. Aber es würde also schon ein geringer Unterschied der Leitfähigkeit im obigen Sinne genügen, um den Umstand zu kompensieren, daß am Tiefseeboden noch in 5 km Tiefe unter dem Meeresspiegel  $0^0$  herrscht, während die Kontinentalschollen in gleicher Tiefe bereits eine Temperatur von etwa  $135^0$  haben<sup>2)</sup>.

Bei linearer Extrapolation kämen wir in der Kontinentalscholle für 100 km Tiefe bereits auf  $2500^0$  C, also weit über den Schmelzpunkt der Gesteine. Indessen ist man sich darüber einig, daß eine solche geradlinige Extrapolation unzulässig ist. Wir kennen aber leider das Gesetz nicht, nach dem sich das Temperaturgefälle mit der Tiefe ändert. Wahrscheinlich ist es in erster Linie abhängig von der Verteilung des Radiums in der Erdrinde. Für die zentrale Temperatur der Erde, die heute im Gegensatz zu früheren viel höheren Schätzungen meist zu etwa 3000 bis  $5000^0$  angenommen wird, besitzen wir infolgedessen nur sehr dürftige Grundlagen. Immerhin ist wahrscheinlich, daß wir in 100 km Tiefe Temperaturen zwischen 1000 und  $2000^0$  zu erwarten haben, so daß die Annahme, am Unterrand der Kontinentalschollen sei etwa der Schmelzpunkt erreicht, nicht im Widerspruch zu unseren bisherigen Erfahrungen steht.

Freilich darf man nicht glauben, daß diese Schmelztemperatur überall in derselben Tiefe liegt und daß diese Tiefe zeitlich konstant ist. Für beide Fragen ist sehr lehrreich die Erscheinung der „Granit-aufschmelzungen“, deren Deutung durch die Beobachtungen von Cloos in Südafrika von den bisherigen Zweifeln befreit worden ist. Sie zeigen, daß diese Schmelzisotheime sogar zeitweise bis zur Erdoberfläche vordringen kann. Es ist wahrscheinlich, daß diesen Stellen mit abnorm

1) J. Friedländer, Beitr. z. Geophys. **11**, Kl. Mitt., S. 85—94, 1912.

2) Hierdurch wird allen Hypothesen der Boden entzogen, welche die Einsenkung der Ozeanbecken auf die Abkühlung durch das kalte Tiefenwasser zurückführen wollen, sowie auch dem Einwand, der Tiefseeboden müßte wegen niedrigerer Temperatur fester sein als die Kontinentalschollen.

hoher Lage der Schmelzisotheime andere mit abnorm tiefer Lage gegenüberstehen. Worauf die zeitlichen Änderungen zurückzuführen sind, wissen wir nicht. Vielleicht sind auch hier die radioaktiven Umwandlungen im Spiele.

Durch die hohe Temperatur muß jedenfalls die Flüssigkeit des Simas erhöht werden. Wie sich diese Verhältnisse mit der Tiefe ändern, und ob es insbesondere am Unterrande der Kontinentalschollen eine Zone größter Flüssigkeit gibt, wissen wir noch nicht.

Die Absonderung der Sialschollen wird aber jedenfalls dadurch begünstigt, daß nach Doelter<sup>1)</sup> der Schmelzpunkt der Sialgesteine allgemein um etwa 200 bis 300° höher liegt als der der Simagesteine, so daß bei gleicher Temperatur magmatisches Sima und festes Sial nebeneinander bestehen können; und ferner auch dadurch, daß auch das geschmolzene Sial noch zäher ist als das geschmolzene Sima.

Indessen darf man, wie ich glaube, der ganzen Temperaturfrage doch keine entscheidende Bedeutung beilegen, da ja, wie Schweydar's Ergebnisse zeigen, auch unter den Kontinenten das Sima noch immer eine Zähigkeit besitzt, die 10000 mal so groß wie die des Siegellacks bei Zimmertemperatur ist. Vermutlich würden sich alle Prozesse sehr ähnlich abspielen, auch wenn die Schmelztemperatur der Silikate nirgends erreicht würde.

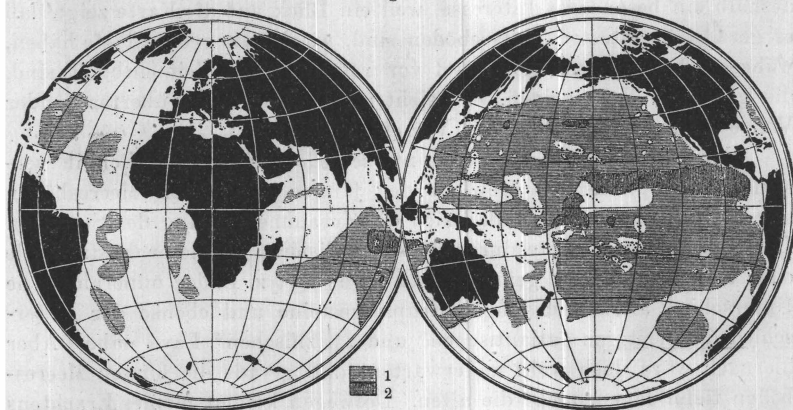
## 9. Kapitel. Der Tiefseeboden.

Wir hatten oben gesehen, daß es sich bei den schnellsten Kontinentalverschiebungen doch nur um jährliche Abstandsvergrößerungen von etwa 10 m bei einer Entfernung von etwa 1000 km handelt. Wenn sich dieser Betrag von 10 m gleichmäßig auf den ganzen Abstand verteilt, so würde jeder Meter einen Zuwachs von 0,01 mm im Jahre zu verzeichnen haben. Das ist eine sehr kleine Größe. Da das Gestein des Tiefseebodens natürlich von allerlei Spalten durchsetzt wird, so würde eine sehr geringfügige Erweiterung dieser feinen Risse genügen, um die Gesamtentfernung um den geforderten Betrag zu strecken. In tieferen Schichten würde das Sima sich ohne Schwierigkeit um diese Beträge ziehen können. Es ist also nicht notwendig, daß bei diesem ganzen Prozeß jemals geschmolzenes Sima an die Oberfläche gekommen ist. Aber andererseits ist es doch wahrscheinlich, daß diese Prozesse sich unregelmäßiger abspielen. An der einen Stelle wird die Oberfläche keinen Zuwachs erhalten, an anderen muß der Zuwachs zur Kompensation um so viel größer werden. Und dabei werden wenigstens hier und da doch auch hochtemperierte Teile des Sima entblößt werden.

<sup>1)</sup> Doelter, Petrogenesis. Die Wissenschaft 13. Braunschweig 1906.

Man braucht aber nicht anzunehmen, daß mit dem Zutagetreten solchen hochtemperierten Materials am Meeresboden irgendwelche katastrophalen Ereignisse verbunden wären. Der „kritische Druck“ des Wassers beträgt ja nur 200 Atmosphären und wird also schon in 2000 m Tiefe erreicht. In solchen Tiefen tritt also bei noch so großer Erhitzung keine Dampfbildung mehr ein, sondern das überkritisch erhitzte Wasser sucht nur vermöge seiner Gewichtsverminderung aufzusteigen, wobei es natürlich bald der Mischung mit den fast auf den Gefrierpunkt abgekühlten Wassermassen der Tiefsee anheimfällt. So pflegen ja auch unterseeische Lavaergüsse in aller Ruhe zu erfolgen. Nach Bergeat

Fig. 24.



Karte der Tiefseesedimente, nach Krümmel.  
1 roter Tiefseeton, 2 Radiolarienschlamm.

haben z. B. in den Jahren 1888, 1889 und 1892 in der Nähe von Vulcano solche unterseeischen Ausbrüche in 700 bis 1000 m Tiefe stattgefunden und eine Zerreißung des von Lipari nach Milazzo führenden Kabels zur Folge gehabt, wodurch man überhaupt erst auf sie aufmerksam wurde. Es gilt als eine bekannte Eigentümlichkeit solcher submarinen Eruptionen, sich fast geräuschlos zu vollziehen<sup>1)</sup>.

Die Tiefen der drei großen Ozeane sind nicht genau dieselben. Kossinna<sup>2)</sup> berechnet nach den Grollschen Tiefenkarten die mittlere Tiefe des Pazifik zu 4028, des Indik zu 3897 und des Atlantik zu 3332 m. Ein getreues Bild dieser Tiefenverhältnisse gibt auch die Verteilung der Tiefseesedimente (Fig. 24), worauf einst Krümmel mich

<sup>1)</sup> E. Kayser, Lehrb. d. Geologie 1, Allgem. Geologie, 5. Aufl., S. 784. Stuttgart 1918.

<sup>2)</sup> E. Kossinna, Die Tiefen des Weltmeeres. Veröff. d. Inst. f. Meereskunde a. d. Univ. Berlin, N. F. A. Geogr. naturw. Reihe, H. 9.



persönlich hinwies. Der rote Tiefseeton und der Radiolarienschlamm, die beiden echt „abyssischen“ (Tiefsee-) Sedimente, sind wesentlich auf den Pazifik und östlichen Indik beschränkt, während Atlantik und westlicher Indik von „epilophischen“ Sedimenten bedeckt sind, deren größerer Kalkgehalt mit der geringeren Meerestiefe ursächlich verknüpft ist. Daß diese Tiefenunterschiede keine zufälligen sind, sondern systematischer Art, und daß sie mit dem Unterschied zwischen „atlantischem“ und „pazifischem“ Küstentyp zusammenhängen, zeigt am besten der Indik, dessen Westhälfte atlantischen, und dessen Osthälfte pazifischen Charakter trägt. Denn hier ist wiederum die Osthälfte erheblich tiefer als die Westhälfte. Diese Dinge haben für die Verschiebungstheorie deshalb ein besonderes Interesse, weil ein Blick auf die Karte zeigt, daß es gerade die ältesten Tiefseeböden sind, welche die größte Tiefe haben, während diejenigen, welche erst vor relativ kurzer Zeit entblößt sind, die geringste Tiefe zeigen. So sieht man in Fig. 24 in überraschender Weise sozusagen die Spur der Verschiebungen.

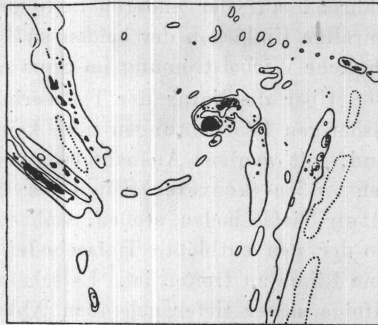
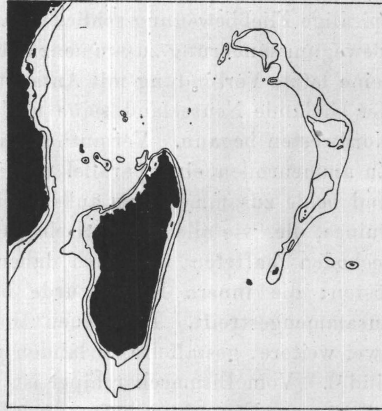
Der Grund für diese Tiefenunterschiede könnte natürlich in verschiedenem spezifischem Gewicht der jungen und alten Meeresböden liegen. Es wäre denkbar, daß sich die Zusammensetzung des Simas im Laufe der Erdgeschichte durch Auskristallisieren gewisser Bestandteile oder andere Ursachen geändert hat. Das legt z. B. der mineralogische Unterschied alter und junger Eruptivgesteine und ebenso der Unterschied der heutigen „atlantischen“ und „pazifischen“ Lava nahe. Aber hiernach wäre doch wohl zu erwarten, daß gerade die jungen Meeresböden tiefer lägen, nicht die alten. Deswegen kommt meines Erachtens für die Tiefenunterschiede auch eine Erklärung durch die Temperaturverhältnisse in Frage. Die alten Tiefseeböden werden stärker ausgekühlt und deshalb schwerer sein als die jungen. Beträgt nämlich das spezifische Gewicht des Simas 2,9, so würde es bei Temperaturerhöhung um  $100^{\circ}$  unter Zugrundelegung des kubischen Ausdehnungskoeffizienten für Granit 0,000 026 9 auf 2,892 verändert. Zwei um  $100^{\circ}$  verschieden temperierte Tiefseeböden, die miteinander im isostatischen Gleichgewicht stehen, müßten dann einen Tiefenunterschied von 300 m aufweisen, um welche der wärmere Boden höher liegt. Es ist freilich schwer vorstellbar, daß z. B. der Boden des Atlantik seine höhere Tiefentemperatur einen auf Millionen Jahre zu schätzenden Zeitraum hindurch bewahrt haben sollte, selbst wenn man den anfänglichen Temperaturunterschied viel höher ( $1000$  bis  $1500^{\circ}$ ) bemessen darf. Allein wir wissen ja nicht, aus welcher Quelle die Innenwärme der Erde überhaupt stammt. Wenn sie durch den Zerfall des Radiums erzeugt oder auch nur teilweise unterhalten wird, dürfte der Gedanke, daß frisch entblößte Tiefenschichten wegen höheren Radiumgehalts selbst geologische Zeiten hindurch erhöhte Temperatur aufweisen können, wohl nicht ganz von der Hand zu weisen sein.

Wenn das Sima wirklich ein zähflüssiger Körper, vergleichbar dem Siegelack, ist, so wäre es merkwürdig, wenn sich seine Fähigkeit zu strömen nur im Ausweichen vor den triftenden Sialschollen äußerte, und nicht auch Strömungen selbständigeren Charakters aufträten. Die Karte gibt an einigen Stellen durch die Verzerrung früher anscheinend geradliniger Inselketten eine un-

mittelbare Anschauung von solchen mehr lokalen Strömungen des Simas. In Fig. 25 sind zwei Beispiele dafür gegeben, nämlich das der Seychellen und das der Fidschi-Inseln. Der halbmond-förmige Seychellenschelf, der die einzelnen, aus Granit bestehenden Inseln trägt, läßt sich weder Madagaskar noch Vorderindien anpassen, deren geradlinige Konturen vielmehr auf einstigen unmittelbaren Zusammenhang deuten. So liegt die Deutung nahe, daß es sich um geschmolzene, von der Unterseite der Scholle aufgestiegene Sialmassen handelt, die dann von dem Simastrom entführt wurden und in der Richtung auf Vorderindien bereits ein gut Stück Weges zurückgelegt haben. Dieser Simastrom, dem auch Madagaskar schon folgt, „läuft“ genau in der Spur Vorderindiens, vielleicht durch dessen Verschiebung erzeugt, vielleicht auch umgekehrt letztere erzeugend; worauf das Abbrechen Ceylons hindeutet. Die Bewegungen in Flüssigkeiten, auch in zähen, sind nur selten

so einfacher Art, daß man Ursache und Wirkung klar auseinanderhalten kann, und unsere Kenntnis dieser Dinge ist noch allzu lückenhaft. Es ist deshalb töricht, von der Verschiebungstheorie zu verlangen, daß sie jede in Erscheinung tretende relative Bewegung in ihr System eingliedern und erklären könne. Wir betrachten diese Dinge nur zur Erläuterung von Fließerscheinungen im Sima, und diese letzteren

Fig. 25.



Oben: Madagaskar und Seychellen-Bank.

Unten: Die Fidschi-Inseln.

(Tiefenlinien 200 und 2000 m; Tiefseerinnen punktiert.)

gehen besonders aus den zurückgebogenen Enden des Schelfs hervor, welche zeigen, daß die Bewegung des Simastroms von der Mittellinie Madagaskar—Vorderindien beiderseits abnimmt. Wir können auch sagen: der Strom läuft am stärksten im frisch entblößten Sima, während die älteren Tiefseeböden nordwestlich und südöstlich davon sich langsamer bewegen. Die zweite Figur zeigt in der Gruppe der Fidschiinseln eine Form, die an einen zweiarmigen Spiralnebel erinnert und auf eine spiralförmige Fließbewegung schließen läßt. Ihre Entstehung scheint mit der Bewegungsänderung zusammenzuhängen, welche Australien erfuhr, als es seine letzte Verbindung mit Antarktika zerriß und unter Zurücklassung der Girlande Neuseeland seine noch heute erkennbare Bewegung nach Nordwesten begann. Vermutlich bildeten die Fidschiinseln vor diesem Zusammenrollen eine parallel neben dem Tongarücken liegende Kette, und beide zusammen eine äußere Girlande der Scholle Australien—Neuguinea, die, wie alle ostasiatischen Girlanden, außen an dem alten Tiefseeboden hafteten und sich daher innen von der Kontinentalscholle lösten; die innere Kette wurde beim Abzug der Scholle wirbelartig zusammengestreift. Die neuen Hebriden und Salomoninseln dürften zwei weitere, gestaffelte Girlanden sein, die unterwegs liegen geblieben sind<sup>1)</sup>. Vom Bismarckarchipel ist dabei Neupommern, wie früher erwähnt, an Neuguinea haften geblieben und herumgeschleppt worden, während auf der anderen Seite der großen australischen Scholle das spiralförmige Umbiegen der beiden südlichsten Ketten der Sundainseln eine ähnliche Wirbelströmung im Sima andeutet wie die Fidschiinseln.

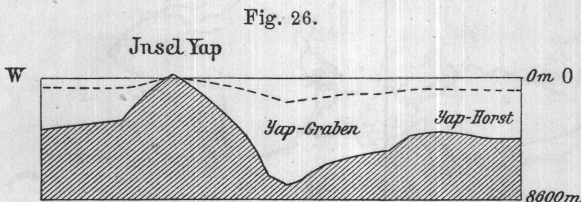
Über die Natur der Tiefseerinnen<sup>2)</sup> läßt sich wohl auf Grund der bisherigen Beobachtungen noch kein abschließendes Bild gewinnen. Sie sind, mit wenigen Ausnahmen von vielleicht anderer Entstehung, stets den Außen- (konvexen) Seiten der Girlanden vorgelagert, wo diese an alten Tiefseeböden stoßen, während auf der Innenseite der Girlande, wo der neu entblößte Tiefseeboden fensterartig zutage liegt, niemals eine Rinne zu treffen ist. Es scheint also, als sei der alte Tiefseeboden infolge seiner tiefer gehenden Abkühlung und Erhärtung allein dazu befähigt, Rinnen zu bilden. Vielleicht darf man sie als Randspalten auffassen, deren eine Seite vom Sial der Girlande, und deren andere vom Sima des Tiefseebodens gebildet wird. Daran darf das in Fig. 26 dargestellte, in Wirklichkeit sehr flache Profil nicht irre machen, denn es ist natürlich durch die Schwere stark eingeebnet.

<sup>1)</sup> Hedley kommt auch auf biologischem Wege zu dem Resultat, daß Neuguinea mit Neukaledonien, den neuen Hebriden und den Salomoninseln eine Einheit bilden.

<sup>2)</sup> Die Bezeichnung „Tiefseeegraben“ ist weniger glücklich, da sie die Behauptung einschließt, daß es sich um Grabenbrüche ähnlich denen der Kontinentalschollen handelt.

Bei der tiefen, rechtwinklig gebogenen Rinne südlich und südöstlich der Insel Neupommern beruht die Entstehung offensichtlich auf dem gewaltsamen Fortzerren der Insel nach Nordwesten infolge Anhaftens an Neuguinea; die 100 km tief hinabreichende Inselfscholle pflügt das Sima, welches nachströmend das Loch noch nicht ganz gefüllt hat. Es ist dies vielleicht derjenige Fall, wo wir uns am genauesten Rechenschaft über die Entstehung einer Tiefseerinne ablegen können.

Für die Atakamarinne westlich von Chile scheint sich die Möglichkeit noch einer anderen Erklärung zu ergeben. Berücksichtigen wir nämlich, daß sich bei der Aufstauung dieses Gebirges alle Schichten unterhalb des Tiefseeebeneaus nach unten stauchen (vgl. im folgenden den Abschnitt über Gebirgsbildung), so muß hierdurch auch der benachbarte Tiefseeboden mit hinabgezogen werden. Dazu kommt noch ein weiterer Grund für das Sinken des Kontinentalrandes, nämlich die Abschmelzung der nach unten gerichteten Gebirgsfaltung und die durch



Fünffach übertiefer Querschnitt durch die Yap-Rinne, nach G. Schott und P. Perlewitz.  
(Oben gestrichelt die natürlichen Maßverhältnisse.)

die Westwanderung der Scholle bewirkte Entführung der geschmolzenen Massen nach Osten, wo sie ja nach unseren Annahmen teilweise in der Abrolhosbank auftauchen. Auch hierdurch muß der Kontinentalrand sinken und das benachbarte Sima mit hinabschleppen.

Indessen bedürfen alle diese Vorstellungen über die Natur der Tiefseerinnen noch durchaus der Bestätigung durch weitere genauere Erforschung, namentlich auch durch Schweremessungen. Bisher liegen hierüber meines Wissens nur Heckers Beobachtungen über der Tongarinne vor, die eine starke Schwerestörung ergaben [ $\Delta g = -0,25$ , auf dem Tongaplateau dagegen  $+0,13$  bis  $0,22$ ] <sup>1)</sup>. Dies würde mit unserer Vorstellung stimmen, daß hier der isostatische Ausgleich durch Nachströmen des Simas noch nicht erfolgt ist. Es wäre aber von großer Wichtigkeit, die Natur dieser interessanten Schwerestörung durch weitere Beobachtungen auch an anderen Rinnen genauer kennen zu lernen.

<sup>1)</sup> O. Hecker, Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Großen Ozean und an den Küsten. Zentralbureau d. Internat. Erdmess. N. F. Nr. 16. Berlin 1908.

### 10. Kapitel. Die Sialsphäre.

Wir wollen in diesem Kapitel die Sialsphäre, und zwar zunächst in ihrer Gesamtheit, betrachten, die heute nur noch in Bruchstücken in Gestalt der Kontinentalschollen die Erde bedeckt.

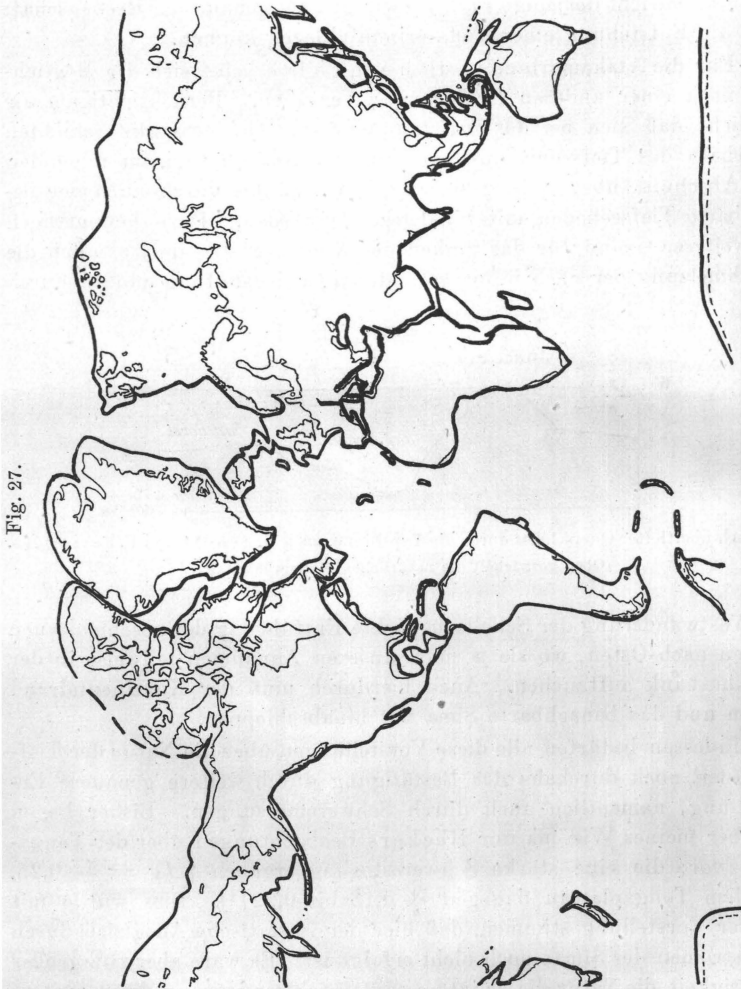


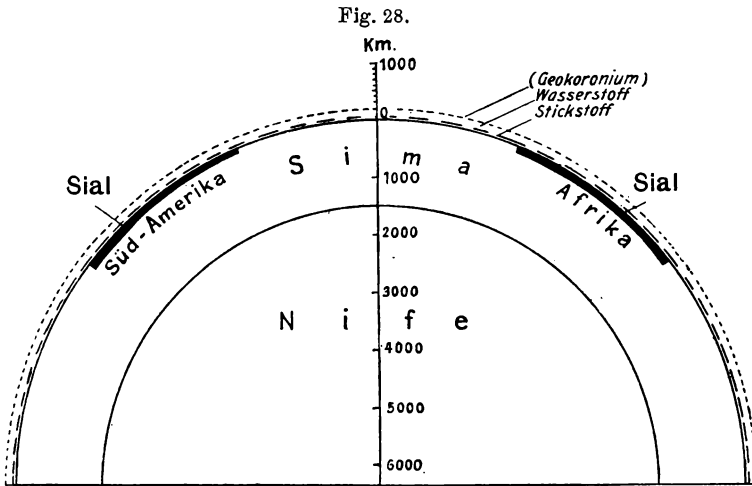
Fig. 27.

Karte der Kontinentalschollen in Merkatortprojektion.

In Fig. 27 ist zunächst eine Erdkarte der Kontinentalschollen gegeben. Da die Schelfe zu ihnen gehören, weichen diese Konturen an manchen Stellen erheblich von den bekannten Küstenlinien ab. Es ist für unsere Betrachtungen wichtig, sich von dem gewohnten Bilde der

Erdkarte freizumachen und eine gewisse Vertrautheit mit diesen Konturen der vollständigen Kontinentalschollen zu gewinnen. 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.

Fig. 28 gibt ferner einen Querschnitt der Erde auf einem größten Kreise durch Südamerika und Afrika in getreuen Größenverhältnissen wieder. Gebirge, Kontinente und ozeanische Vertiefungen bilden so geringfügige Unebenheiten, daß sie sich innerhalb der Kreislinie abspielen, die in der Figur die Erdoberfläche bezeichnet. Dagegen läßt sich die Dicke der Kontinentalschollen, die etwa 100 km beträgt, hier



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

gut darstellen. Der vermutlich hauptsächlich aus Nickel und Eisen bestehende Kern der Erde trägt nach E. Suess die Bezeichnung Nife. Zum Vergleich sind auch die Hauptschichten der Atmosphäre eingetragen: Die Stickstoffsphäre bis 60 km Höhe und darüber die leichten Gase. Die Zone der Witterungserscheinungen, die nur bis 11 km Höhe reicht (Troposphäre), ist zu dünn, um zur Darstellung zu gelangen.

Es war schon früher gesagt, daß das Material dieser Kontinentalschollen hauptsächlich Gneis sei. Es ist aber bekannt, daß die Kontinente an ihrer Oberfläche vielfach nicht aus Gneis, sondern Sedimenten bestehen, und wir müssen uns deshalb darüber klar werden, welche Rolle diese im Aufbau der Kontinentalschollen 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 Stellen das Urgebirge jeder Sedimentdecke bar ist. Clarke schätzt die mittlere Mächtigkeit auf den Kontinentalschollen zu 2400 m. Da aber die Gesamtdicke der Kontinentalschollen auf etwa 100 km veranschlagt werden darf, so ist klar, daß diese Sedimentdecke nur eine oberflächliche Verwitterungsschicht bedeutet, bei deren völliger Entfernung überdies die Schollen zur Wiederherstellung der Isostasie fast bis zur früheren Höhe ansteigen würden, so daß am Relief der Erdoberfläche wenig geändert würde.

Es ist wohl nicht unwahrscheinlich, daß in den ältesten vorgeologischen Zeiten die Sialhaut noch die ganze Erde umkleidete. Sie kann damals nicht 100, sondern nur etwa 30 km dick gewesen sein und muß mit einer „Panthalassa“ bedeckt gewesen sein, deren durchschnittliche Tiefe A. Penck zu 2,64 km berechnet, und die wohl nur wenige oder gar keine Teile der Erdoberfläche frei ließ.

Für die Richtigkeit dieser Vorstellung sprechen jedenfalls zwei Gründe, nämlich die Entwicklung des Lebens auf der Erde und der tektonische Bau der Kontinentalschollen.

„Es zweifelt wohl kaum jemand ernstlich daran, daß das Leben des Süßwassers sowie des festen Landes und der Luft aus dem des Meeres hervorgegangen ist“<sup>1)</sup>. Vor dem Silur kennen wir keine luftatmenden Tiere; der älteste Landpflanzenrest stammt aus dem Obersilur von Gotland. Nach Gothan<sup>2)</sup> sind noch aus dem älteren Devon hauptsächlich nur moosartige Pflanzen ohne eigentliches Laub bekannt. „Spuren eigentlicher, spreitiger Blätter sind im älteren Devon selten. Fast alle Gewächse waren klein, krautig und von geringer Standfestigkeit.“ Dagegen wird die Flora im Oberdevon bereits der karbonischen ähnlich „durch das Auftreten großer, entwickelter, geadeter Blattspreiten, durch die durchgeführte Arbeitsteilung der Pflanze in bezug auf Ausbildung der tragenden und assimilierenden Organe . . . Der Charakter der Flora des älteren Devons, ihre niedrige Organisation, ihre geringe Größe usw. legt den Gedanken nahe, daß die Landflora dem Wasser entstammt, wofür sich schon Potonié, Lignier, Arber u. a. ausgesprochen haben. Die im Oberdevon beobachteten Fortschritte sind aufzufassen als Anpassung an die neue Lebensweise auf dem Lande, in der Luft.“

Andererseits scheint es, als ob bei Ausglättung aller Falten in den Kontinentalschollen die Sialrinde tatsächlich genügend vergrößert wird, um sich um die ganze Erde herumzuschließen. Heute nehmen die Kon-

1) Steinmann, Die kambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwicklung. Geol. Rundschau 1, 69, 1910.

2) Gothan, Neues von den ältesten Landpflanzen. Die Naturwiss. 9, 553, 1921.

tinentialschollen mit ihren Schelfen allerdings nur noch ein Drittel der Erdoberfläche ein, aber schon für das Karbon erhalten wir eine bedeutende Vergrößerung (auf etwa die Hälfte der Erdoberfläche). Je weiter wir aber in der Erdgeschichte zurückgehen, um so umfangreicher sind die Faltungsvorgänge. E. Kayser<sup>1)</sup> schreibt: „Es ist von großer Bedeutung, daß die ältesten archaischen Gesteine überall auf der Erde stark gestört und gefaltet sind. Erst vom Algonkium an finden sich neben gefalteten hier und da ungefaltete oder nur schwach gefaltete Ablagerungen. Gehen wir zur nachalgonkischen Zeit über, so sehen wir, wie die Ausdehnung und Zahl der starren unnachgiebigen Massen hier immer größer und dementsprechend der Umfang der faltbaren Krustenteile immer beschränkter wird. Dies gilt besonders für die karbonisch-permischen Stauungen. In nachpaläozoischer Zeit schwächten sich die faltenden Kräfte allmählich mehr und mehr ab, um indes in der jüngeren Jura- und der Kreidezeit wieder zu erwachen und in der jüngeren Tertiärzeit einen neuen Höhepunkt zu erreichen. Es ist aber sehr bezeichnend, daß das Verbreitungsgebiet dieser jüngsten großen Gebirgsstauung selbst hinter der karbonischen Faltung ganz beträchtlich zurückblieb.“

Hiernach steht unsere Annahme, daß die Sialsphäre einstmals die ganze Erde umgab, jedenfalls nicht mit den sonstigen Anschauungen im Widerspruch. Diese verschiebbare und selber plastische Erdhaut wurde nun durch Kräfte, deren Natur später erörtert werden wird, auf der einen Seite aufgerissen, auf der anderen zusammengesoben. Die Entstehung und Erweiterung der Tiefsee stellt also nur die eine Seite dieses Prozesses dar, deren andere Seite in der Faltung besteht. Auch biologische Gründe scheinen dafür zu sprechen, daß die Tiefsee erst im Laufe der Erdgeschichte sich herausgebildet hat. So schreibt Walther<sup>2)</sup>: „Allgemeine biologische Gründe, die stratigraphische Stellung der heutigen Tiefseefauna, ebenso wie tektonische Untersuchungen drängen uns die Überzeugung auf, daß die Tiefsee als Lebensbezirk keine primitive Eigenschaft der Erde aus den ältesten Perioden ist, und daß ihre erste Anlage in dieselbe Zeit fällt, wo in allen Teilen der jetzigen Kontinente tektonische Faltungsbewegungen einsetzen und das Relief der Erdoberfläche so wesentlich umgestalten.“ Die ersten Risse der Sialsphäre, in denen die Simasphäre zum ersten Male zutage trat, mögen denen ähnlich gewesen sein, welche heute die ostafrikanischen Gräben bilden. Sie öffneten sich um so weiter, je größere Fortschritte die Faltung des Sial machte. Es war ein Vorgang, den wir etwa mit dem Zusammenfallen eines runden Papierlampions vergleichen können. Auf der einen Seite

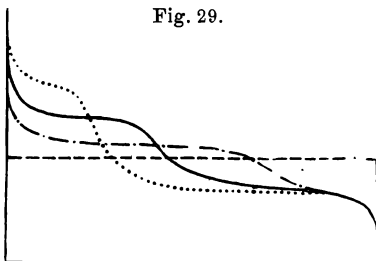
<sup>1)</sup> E. Kayser, Lehrb. d. allg. Geol., 5. Aufl., S. 904. Stuttgart 1918.

<sup>2)</sup> J. Walther, Über Entstehung und Besiedelung der Tiefseebecken. Naturwiss. Wochenschr., N. F. 3. Bd., Heft 46. (Zitiert nach Eckardt).



Öffnung, auf der anderen Zusammenschub. Höchstwahrscheinlich ist es die Fläche des allgemein für sehr alt gehaltenen Pazifischen Ozeans, die auf diese Weise zuerst ihres Sialmantels beraubt wurde. Schon beim Aufreißen, aber auch bei der weiteren Öffnung und vielleicht auch späterhin bei dem Prozeß der Westwanderung der ganzen Kontinentalmassen bröckelten vom Rande des Sialmantels kleinere Stücke ab, die im Sima stecken blieben und jetzt als Inseln oder submarine Erhebungen den Tiefseeboden bedecken. Die Inselreihen des Pazifik zeigen eine merkwürdige Parallelität; Arldt hat 19 Reihen ausgemessen, welche alle sehr nahe N 62° West streichen<sup>1)</sup>. Vielleicht darf man annehmen, daß dieser Strich des Pazifik jene alte Verschiebungsrichtung andeutet, durch welche sich dieses Tiefseebecken öffnete oder doch erweiterte. Es wäre nicht undenkbar, daß die alten Faltungen in den Gneissmassiven

Fig. 29.



Ehemalige und künftige hypsometrische Kurve der Erdoberfläche.

.... für die Zukunft, — für die Gegenwart,  
- - - für die Vorzeit, — — im Urzustand  
(zugleich mittleres Krustenniveau).

Brasilens, Afrikas, Vorderindiens und Australiens das Äquivalent dieser Öffnung des Pazifik darstellen; die jüngere, nördliche Streichrichtung in Afrika würde gut zur Richtung der pazifischen Inselreihen passen (d. h. diese Richtung in einem Winkel von 90° schneiden).

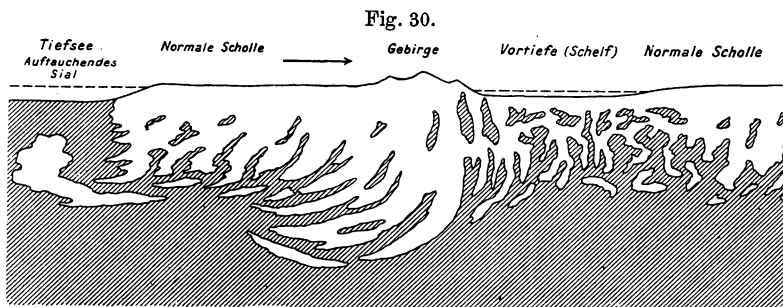
Diese Zusammenschübe der Sialsphäre mußten natürlich eine Verdickung und damit ein Herauswachsen zur Folge haben, während gleichzeitig die Tiefseebecken geräumiger wurden. Die Überflutungen der Kontinentalschollen mußten daher — abgesehen von ihrem Ortswechsel — im Laufe der Erdgeschichte im ganzen immer mehr abnehmen. Dies Gesetz ist allgemein anerkannt. Es geht auch aus der Betrachtung unserer drei Rekonstruktionskarten (S. 4) sehr deutlich hervor.

Es ist wichtig zu beachten, daß der Entwicklungsprozeß der Sialrinde einseitiger sein mußte, auch wenn die Kräfte wechselten. Denn Zugkräfte können die Falten einer Kontinentalscholle nicht wieder glätten, sondern sie höchstens zerreißen. Das wechselnde Spiel der Druck- und Zugkräfte ist also nicht imstande, seine Wirkungen selbst wieder aufzuheben, sondern erzeugt einseitig fortschreitende Wirkungen: Zusammenschub und Zerteilung. Die Sialdecke wird im Laufe der Erdgeschichte immer kleiner (an Oberfläche) und dicker, aber sie wird auch immer mehr zerteilt. Diese Dinge ergänzen einander und sind Wirkungen

<sup>1)</sup> Arldt, Handb. d. Paläogeographie 1, 231—232. Leipzig 1917.

derselben Ursachen. In Fig. 29 sind die hypsometrischen Kurven dargestellt, welche hiernach für die Vorzeit, Gegenwart und Zukunft anzunehmen sind. Das heutige mittlere Krustenniveau stellt zugleich die ursprüngliche Oberfläche der noch ungespaltenen Sialsphäre dar.

Über den inneren Bau der Sialschollen wissen wir nur sehr wenig. Den Umstand, daß an zahlreichen Orten auf den Kontinentalschollen sich Vulkane befinden, die simatische Magmen herausquellen lassen, hat Stübel durch die wohl allgemein gebilligte Annahme erklärt, daß sich im Innern der Scholle, allseits umgeben von festem oder jedenfalls zäherem Sial, flüssige oder relativ flüssige Simaeinschlüsse befinden (periphere Magmenherde), welche die Vulkane speisen. Andererseits ist kein Grund einzusehen, warum sich im Erdkörper die doch nur wenig verschiedenen Materialien des Sial und Sima vollständig trennen oder getrennt haben sollten, viel wahrscheinlicher ist von vornherein ein



Querschnitt durch eine Sialscholle.

allmählicher Übergang vom einen zum anderen. Ich stelle mir deshalb einstweilen den Bau der Sialkruste in einer Weise vor, wie sie schematisch in Fig. 30 dargestellt ist: Zu oberst eine Zone zusammenhängenden Sials mit isolierten Simaeinschlüssen, darunter eine Verzahnungszone, in der jeder der beiden Teile zusammenhängend ist, und ganz unten eine Zone zusammenhängenden Simas, dem einzelne isolierte Sialpartien eingelagert sind. Wenigstens wird der ursprüngliche Bau der Sialrinde mehr oder weniger diesem Schema entsprochen haben. Durch Zusammenschub kann sich diese Rinde vom Sima reinigen; das meiste Sima wird dabei nach unten herausgepreßt, einiges (in Vulkanen) auch nach oben, wo es sich als flache Decke ausbreitet. Bei großen Kontinentalverschiebungen wird sich am Unterrand der Sialscholle eine Art Gleitfläche ausbilden, die dadurch charakterisiert ist, daß sich hier die mineralogische Zusammensetzung besonders schnell ändert.

Eine solche Struktur der Kontinentalschollen würde für manche Erscheinungen eine Erklärung bieten; z. B. würde es hiernach verständlich

sein, daß in der Spur mancher triftenden Schollen (wie Australien) der Tiefseeboden mit zahlreichen Erhöhungen bedeckt ist, bei denen man im Zweifel sein kann, ob sie zum Tiefseeboden oder zu den Kontinental-schollen zu zählen sind. Auch daß die Oberkante der Scholle ihre Kontur beibehält, während die tieferen Teile sich ziehen (Umgebung von Island), erscheint hiernach besonders leicht verständlich. Endlich ist es vielleicht möglich, die vielbesprochene „Labilität“ der Geosynklinalen dadurch zu erklären, daß hier auch in den oberen Partien der Sialkruste besonders viele und große Simaeinschlüsse vorhanden sind. Durch das größere spezifische Gewicht dieser Massen würde die Oberfläche einer solchen Scholle tiefer liegen als die Umgebung, und die größere Flüssigkeit dieser Einschlüsse würde auch ihre Beweglichkeit in vertikaler Richtung erhöhen, so daß sie sich unter der Last der Sedimente leicht senkt. Wenn sodann gebirgsbildende Schubkräfte auftreten, so muß ein solcher Schollenteil aus demselben Grunde für Faltung prädestiniert sein. Die großen Lavaergüsse, mit denen die Gebirgsbildung stets verbunden ist, scheinen die Richtigkeit dieser Vorstellungen zu bestätigen. Die Einschlüsse werden eben bei der Faltung herausgepreßt.

Auch sonst bietet die Erdoberfläche zahlreiche Anzeichen dafür, daß das Wesen des Vulkanismus in einem passiven Herauspressen der Simaeinschlüsse aus der Sialrinde zu suchen ist. Am schönsten zeigen dies die gebogenen Inselgirlanden. Hier muß durch die Biegung auf der konkaven Innenseite Pressung, auf der konvexen Außenseite Zerrung eintreten. Tatsächlich ist ihr geologischer Bau von einer auffallenden Gleichförmigkeit: die Innenseite trägt stets eine Reihe von Vulkanen, die Außenseite zeigt keinen Vulkanismus, aber starke Zerklüftung und Verwerfungen. Diese überall wiederkehrende Anordnung der Vulkane ist so auffallend, daß sie mir von der größten Bedeutung für die Frage nach dem Wesen der Vulkane zu sein scheint. „In den Antillen kann man eine vulkanische Innenzone und zwei Außenzonen unterscheiden, von denen die äußerste aus jüngeren Ablagerungen aufgebaut ist und an Höhe zurücktritt (Suess). Der Gegensatz einer hochvulkanischen Innenzone und einer Außenzone mit zurücktretendem Vulkanismus kommt auch in den Molukken (Brouwer) und in Ozeanien (Ardt) zur Geltung. Die Analogie mit der Anordnung von Vulkanzonen auf der Innenseite von Schubzonen, wie im karpathischen oder varistischen Hinterland, springt in die Augen“<sup>1)</sup>. Die Lage des Vesuv, Ätna, Stromboli entspricht diesem Schema; von den Inseln des Südantillenbogens zwischen Feuerland und Grahamland ist gerade der stark gebogene mittelste Rücken der Süd-Sandwich-Inseln basaltisch, und einer seiner Vulkane ist noch

<sup>1)</sup> W. v. Lozinski, Vulkanismus und Zusammenschub. Geol. Rundschau 9, 65—98, 1918.

tätig. Eine besonders interessante Einzelheit beschreibt Brouwer von den Sunda-Inseln <sup>1)</sup>: Von den beiden südlichsten Inselketten trägt nur die einheitlich gebogene nördliche Vulkane, nicht die südliche (mit Timor), die durch Kollision mit dem australischen Schelf bereits in umgekehrter Richtung gebogen wird. An einer Stelle aber, bei Wetter, ist auch die nördliche Kette bereits ein wenig eingebault, weil die südliche (Nordostende von Timor) hier gegen sie drängt; und gerade an dieser Stelle ist auf der nördlichen Kette der Vulkanismus, der früher auch hier tätig war, erloschen, offenbar, weil hier die Biegung zurückgeht. Brouwer macht auch darauf aufmerksam, daß auch die gehobenen Korallenriffe nur da vorkommen, wo der Vulkanismus fehlt oder erloschen ist, was gleichfalls darauf hindeutet, daß gerade diese Gebiete sich zusammenschieben. Das zunächst paradoxe Ergebnis, daß der Vulkanismus dort aufhört, wo Zusammenschub beginnt, findet im Rahmen unserer Vorstellungen eine ungezwungene Erklärung.

## 11. Kapitel. Faltung und Spaltung.

Schon 1878 hat A. Heim in seinen klassischen „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“ die Anschauung entwickelt, daß die großen Faltegebirgsketten durch einen beträchtlichen Zusammenschub der Erdrinde entstanden sind. Erweitert wurde diese Lehre dann durch die Entdeckung schuppenartiger Überschiebungsfalten in den Alpen, wonach der Zusammenschub noch gewaltiger wurde. Nach dieser neuen Auffassung, der sich A. Heim anschloß, berechnete er den Zusammenschub der Alpen, den er früher auf  $\frac{1}{2}$  geschätzt hatte, nunmehr auf  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{8}$ . Später hat Ampferer Fließbewegungen der tieferen Schichten angenommen, die von beiden Seiten gegeneinander gerichtet sind, unter dem Gebirge aber nach unten gehen, und die oberen Schichten passiv mitführen (Unterströmungen). Ganz neuerdings weist Koßmat auf die Biegungen der Gebirgsketten, ihre fächerförmige Scharung an manchen Stellen hin, die ihm nur durch große horizontale Verschiebungen erklärbar erscheinen; „viele Züge im Relief und Bau der Erde lassen erkennen, daß eine Erklärung der Gebirgsbildung mit großartigen tangentialen Rindenbewegungen rechnen muß“ <sup>2)</sup>. Diese Vorstellung ist bereits fast identisch mit der der Verschiebungstheorie.

<sup>1)</sup> H. A. Brouwer, On the Non-existence of Active Volcanoes between Pantar and Dammer (East Indian archipelago), in Connection with the Tectonic Movements in this Region. Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam, Proceed. Vol. XXI, Nr. 6 u. 7, 1917. — Über Gebirgsbildung und Vulkanismus in den Molukken. Geolog. Rundsch. 8, Heft 5/8, S. 197—209, 1917.

<sup>2)</sup> F. Koßmat, Erörterungen zu A. Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebungen. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin 1921, S. 103.

Denn es bedeutet nur einen kleinen Schritt weiter, wenn man die Ketten des Himalaja aus dem riesigen Zusammenschub eines langen Rindenstückes erklärt, dessen Südende, das heutige Vorderindien, einst neben Madagaskar lag.

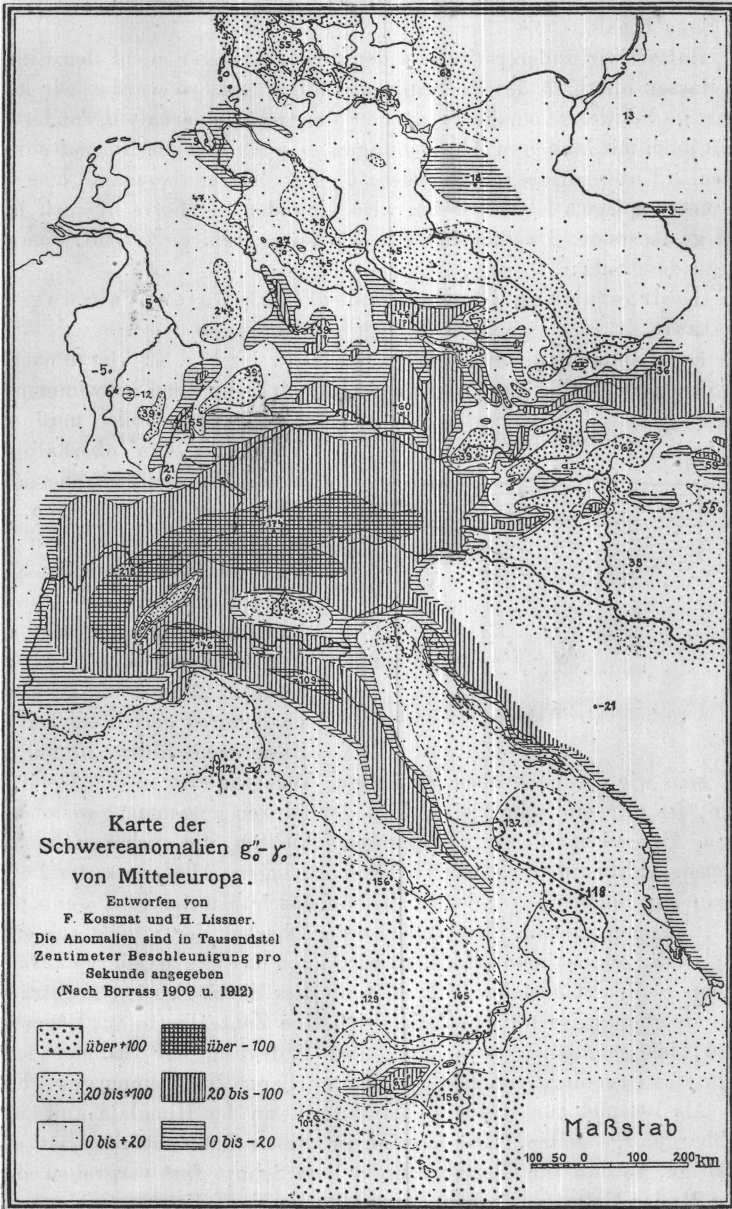
Neben dieser schrittweisen Entwicklung der Theorie vom horizontalen Schub läuft freilich eine Reihe anderer Erklärungsversuche der Gebirgsbildung, nach welchen die Erhebung der Gebirge durch innere Kräfte geschehen soll, seien es nun vulkanische Kräfte, der Druck wachsender Kristalle, chemische Umwandlungen oder platzheischende vulkanische Intrusionen<sup>1)</sup>. Wengleich das gelegentliche Mitwirken solcher Ursachen nicht geleugnet werden soll, erscheint es mir hoffnungslos, hierin die Hauptursache der Gebirgsbildung zu suchen. Wir können daher auf diese Vorstellungen nicht näher eingehen.

Wichtig für das Verständnis des Faltungsvorganges sind die Schweremessungen. Koßmat hat diese in einer interessanten Arbeit für Mitteleuropa untersucht<sup>2)</sup>, welcher wir die Karte Fig. 31 entnehmen. Die wirklich beobachteten Schwerewerte sind, wie üblich, so reduziert worden, als wenn das ganze Relief der Erde bis zum Meeresniveau abgehobelt und die Messung in diesem Meeresniveau ausgeführt wäre, d. h. es ist außer der Reduktion auf das Meeresniveau auch noch der Einfluß der Massen oberhalb des letzteren vom Resultat abgezogen. Der so reduzierte Beobachtungswert ist dann mit dem für die betreffende geographische Breite gültigen Normalwert der Schwere verglichen und die Differenz, die Schwereanomalie, in der Figur dargestellt worden. Sie zeigt uns unmittelbar das Massendefizit unter dem Gebirge, durch welches das letztere isostatisch kompensiert ist. „Man kann hier nur zu der bereits von manchen Geophysikern und von Heim ausgesprochenen Auffassung kommen, daß nicht Lockerung das Defizit bewirkte, sondern daß durch die Faltung die oberen, relativ leichten Teile der Erdrinde gewaltig verdickt sind, und daß dieser Wulst während seiner Entstehung in die plastische Unterlage einsank. Das Faltengebirge wuchs nicht nur in die Höhe, sondern durch sein Gewicht auch in die Tiefe: dem Faltenhochgang steht, wie sich Heim dafür ausdrückt, ein noch größerer Faltentiefgang gegenüber.“ Wir können also in der Karte geradezu die angenäherte Topographie der Unterseite der Sialrinde erblicken;

<sup>1)</sup> Vgl. hierzu K. Andréé, Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914. Ein extremer Vertreter der Intrusionstheorie ist Walther Penck. (Die Entstehung der Gebirge der Erde. Deutsche Revue, Sept./Okt. 1921.)

<sup>2)</sup> F. Koßmat, Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. Abb. d. Math.-Naturw. Kl. d. Sächs. Akad. d. Wiss. 38, Nr. 2. Leipzig 1921. — Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde. Geol. Rundsch. 12, Heft 3/5, S. 165—189, 1921.

Fig. 31.



Schwerestörung unter dem Gebirge (nach Kossmat).

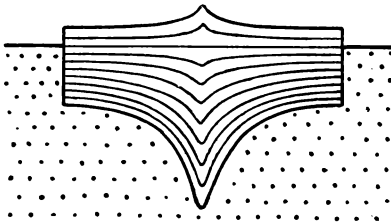
unter den Alpen, wo die Schwereanomalie den größten negativen Wert erreicht, senkt sich auch die Unterseite der Sialrinde am tiefsten in das Sima hinab.

Hätten wir andererseits von den Beobachtungen nicht den Einfluß der Massen oberhalb des Meeresniveaus abgezogen, so würden wir keine derartige Schwereanomalie im Raume des Gebirges erhalten, sondern — wenn auch mit kleineren Abweichungen — auch hier die Normalschwere finden. Unterirdisches Massendefizit und Massenüberschuß oberhalb des Meeresspiegels kompensieren also einander, es herrscht auch beim Gebirge Isostasie. Da dies für alte wie junge Gebirge zutrifft, kommen wir zu dem Satz:

Gebirgsfaltung ist Zusammenschub unter Wahrung der Isostasie.

Es ist empfehlenswert, sich an der Hand der Fig. 32 klarzumachen, was dies bedeutet. Beim Zusammenschub einer im Sima schwimmenden

Fig. 32.



Zusammenschub unter Wahrung der Isostasie.

Kontinentalscholle muß das Verhältnis von oberhalb der Simaoberfläche immer das gleiche bleiben. Da wir die Dicke der 5 km aus dem Sima herausragenden Kontinentalschollen zu 100 km annehmen, können wir dies Verhältnis zu rund 1:20 ansetzen. Also muß auch der nach unten gerichtete Teil des Zusammenschubs 20 mal so

groß sein wie der nach oben gerichtete. Was wir also in den Gebirgen sehen, ist nur ein sehr kleiner Teil der ganzen zusammengeschobenen Masse. Es sind nämlich nur diejenigen Schichten, die auch vor dem Zusammenschub bereits über dem Tiefseeeiveau lagen. Alles was unter diesem Niveau lag, bleibt auch bei dem Zusammenschub unter ihm, wenn man von Störungen absieht. Bestand also der Oberbau der Scholle aus einer 5 km mächtigen Sedimentschale, so wird auch das ganze Gebirge anfangs nur aus Sediment bestehen. Erst wenn dies durch Erosion abgetragen wird, steigt zum isostatischen Ausgleich eine Zentralkette aus Urgestein empor, bis schließlich nach gänzlicher Abfegung der Sedimentdecke ein breites Urgebirge von fast gleicher mittlerer Höhe emporgewachsen ist. Als Beispiel für das erste Stadium kann der Himalaja und seine Nachbargebirge gelten. Die Erosion in diesen Sedimentfalten ist eine gewaltige, so daß die Gletscher unter dem Schutt fast vergraben sind, wie z. B. der Baltorogletscher, der größte im Kara-Korum-Gebirge, der bei nur  $1\frac{1}{2}$ —4 km Breite (Länge 56 km) nicht weniger als 15 Mittel-

moränen trägt. Im zweiten Stadium, bei dem die Zentralkette bereits aus Urgestein besteht, beiderseits aber noch von Sedimentzonen flankiert wird, befinden sich die Alpen. Da die Erosion im Urgestein viel geringer ist, sind die Alpengletscher moränenarm, eine Hauptursache ihrer Schönheit. Das norwegische Gebirge endlich repräsentiert das dritte Stadium: Die Sedimentdecke ist hier ganz beseitigt, und der Aufstieg des Urgebirges ist vollendet. Auch die Abtragung der Sedimenthaube eines Gebirges vollzieht sich also unter Wahrung der Isostasie.

Wir müssen noch mit einigen Worten auf die fast stets erkennbare Unsymmetrie der Faltengebirge eingehen. Es ist durchaus die Regel, daß man bei Annäherung an das Gebirge von der einen Seite her einen allgemeinen, allmählichen Geländeanstieg, oft auch schon Vorberge u. dgl. zu passieren hat, während auf der anderen Seite die „Vortiefe“ bis dicht an das Hauptfaltensystem heranreicht. Hierüber ist schon viel geschrieben worden. Im Rahmen unseres Vorstellungskreises ergibt sich eine sehr einfache Erklärung: Die bei der Faltung tief hinabgesenkten Sialmassen breiten sich in der Tiefe aus, legen sich also teilweise unter die ungefaltete Rinde neben dem Faltenzug und tragen diese empor, natürlich auf Kosten der Höhe des Gebirges selbst. Nur wenn die Rinde keine fortschreitende Bewegung über das Sima hinweg hat, kann diese Ausbreitung symmetrisch nach beiden Seiten geschehen. Schiebt sich aber die Rinde — abgesehen von ihrer Faltungsbewegung — als Ganzes noch über das Sima fort (was fast immer der Fall sein wird), so muß die Ausbreitung der Sialmassen einseitig erfolgen. Die europäische und asiatische Scholle streben zweifellos seit langem dem Äquator zu, schieben sich also relativ zum Sima nach Süden. Außerdem nehmen sie vermutlich an der allgemeinen Westwanderung der Kontinente teil. Ihre Gesamtbewegung relativ zum Sima wird also nach Südwesten gerichtet sein. Die Ausbreitung der Sialmassen unter ihnen muß also einseitig nach Nordosten erfolgen. Dies ist in der Tat der Fall, wie unsere Karte Fig. 31 zeigt. Besonders deutlich ist diese Verlagerung der Schwereanomalie oder, was dasselbe ist, der hinabgesenkten Sialmassen bei den Apenninen. Aber auch das Massendefizit der Alpen breitet sich weit nach Nordosten bis zum Nordrand von Böhmen und nach Mitteldeutschland aus. Und umgekehrt dringt von Süden her eine Zone mit Massenüberschuß unter die Alpenketten vor, welche anzeigt, daß hier den oberirdischen Falten keine Hinabsenkung von Sialmassen in die Tiefe entspricht. An dieser Stelle herrscht übrigens eine beträchtliche Abweichung von der Isostasie, was ohne weiteres verständlich ist. Denn der nach unserer Karte abnorm hohen Lage der Krustenbasis müßte, falls Isostasie herrscht, eine geringere Schollendicke entsprechen, d. h. die Oberfläche der Scholle müßte dort besonders tief, jedenfalls unter Wasser liegen. Wenn statt dessen hier schon beträchtliche See-



höhen erreicht werden, so ist dies nur durch Abweichung von der Isostasie möglich, indem dieser Krustenstreifen durch seine starre Verbindung mit den benachbarten beträchtlich oberhalb seiner Gleichgewichtslage gehalten wird. Über diese Abweichungen von der Isostasie gibt uns die Koßmatsche Karte allerdings nicht unmittelbar Aufschluß.

James Hall bemerkte zuerst, daß die Mächtigkeit der Sedimente im Faltengebirge stets größer ist als in den benachbarten ungefalteten Gebieten. Dies ist so zu verstehen, daß vor der Faltung in diesem Gebiet dieselben Sedimentschichten in größerer Mächtigkeit abgelagert wurden als in der Umgebung. Diese Regel hat sich überall bestätigt gefunden und den Geologen viel zu denken gegeben. Da es sich um Ablagerungen handelt, die oft viele Kilometer mächtig sind, gleichwohl aber alle in flachem Wasser entstanden sein müssen, so muß angenommen werden, daß während der Sedimentation die Scholle im gleichen Tempo sank, wie die Aufschüttung erfolgte, so daß die jeweilige Oberfläche stets in gleicher Höhe blieb. Dies läßt sich nach Hall als isostatische Ausgleichsbewegung infolge des Gewichts der Ablagerungen deuten, ebenso wie die Senkung einer Kontinentalscholle unter der Last des Inlandeises. Aber warum sind es gerade solche Schollenteile mit besonders mächtigen Sedimentablagerungen, welche später von der Faltung betroffen werden? Man bezeichnet solche Regionen mit starker Sedimentation als Geosynklinalen (Mulden). Das genannte Gesetz formuliert Haug: Kettengebirge entstehen aus Geosynklinalen<sup>1)</sup>. Vielleicht hieße es noch besser: aus Schelfen, da man einen Randschelf, wie z. B. den, aus welchem die Anden Südamerikas aufgebaut sind, kaum als Mulde bezeichnen kann. Daß gerade die Schelfe bei der Faltung bevorzugt werden, kann verschiedene Gründe haben. Schon früher war erwähnt, daß sie vielleicht besonders häufige und große Simaeinschlüsse enthalten und hierdurch plastischer sind. Es kann auch sein, daß hier die Sialrinde eine geringere Gesamtmächtigkeit und damit auch eine geringere Widerstandsfähigkeit besitzt. Reade wies auch darauf hin, daß durch die mächtigen Ablagerungen das Urgestein in das Gebiet höherer Temperaturen hinabgedrängt und dadurch plastischer gemacht wird. Vielleicht wirken auch alle diese Ursachen zusammen.

Betrachten wir die räumliche Verteilung der Faltengebirge, so sehen wir, daß hauptsächlich zwei Gebiete von ihnen bevorzugt werden: Der Vorderrand triftender Schollen und der Äquator. Besonders eindrucklich tritt uns dies für die letzte große Faltungsperiode, das Tertiär entgegen, wo wir einerseits am Vorderrande der amerikanischen Schollen sowie der Scholle Australien-Neuguinea, und andererseits in der Zone

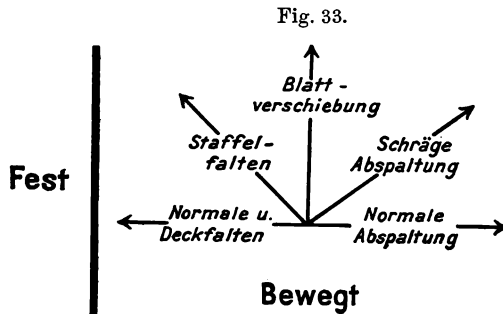
<sup>1)</sup> Haug, *Traité de Géologie* 1, Les Phénomènes géologiques, S. 160. Paris 1907.

des tertiären Äquators vom Atlas über die Alpen und den Kaukasus zum Himalaja die Hauptfaltungen vorfinden. Die Faltung am Vorderrand trittender Schollen scheint dem Verständnis auf den ersten Blick Schwierigkeiten zu bieten, da doch das Sima das flüssigere, das Sial das festere Material sein soll. Aber wir müssen an unseren Vergleich mit Siegelack und Wachs denken. Wenn auch die Sialscholle als „fest“ betrachtet werden kann, wie Wachs, so wird sie doch gefaltet, wenn die Verschiebungskräfte einen gewissen Schwellenwert überschreiten. Das Sima weicht zwar fließend aus, wie Siegelack, braucht aber dazu außerordentlich lange Zeit.

Im ganzen entsprechen die genannten beiden Faltungsarten, am Vorderrand und am Äquator, den beiden Bewegungen der Kontinental-schollen: ihrer Westwanderung und ihrer Polflucht. Daß auch für ältere Zeiten, insbesondere die Karbonzeit, diese Regel gilt, zeigt die alte, den Anden zugrunde liegende Faltung, sowie der karbonische Faltenzug, der in der damaligen Äquatorialzone von Nordamerika über Europa bis nach Ostasien zu verfolgen ist.

Sehr häufig kann man erkennen, daß

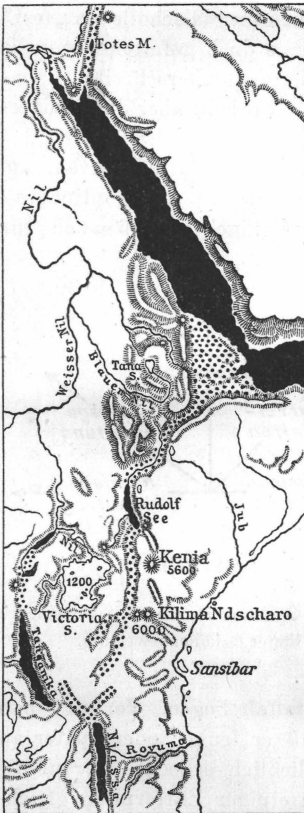
die parallelen Faltenzüge eines Gebirges gestaffelt liegen. Verfolgt man einen solchen Faltenzug, so findet man, daß er früher oder später an den Rand des Gebirges heraustritt und schließlich erlischt, worauf die nächst innere Kette den Rand bildet, um in einiger Entfernung gleichfalls zu erlöschen usw. Dies ist dann der Fall, wenn die beiden Schollen sich nicht gerade auf einander zu bewegen, sondern eine scherende Bewegung, wenn auch mit einer Komponente gegeneinander, haben. Allgemein läßt sich die Wirkung der verschiedenen Bewegungen der Schollen relativ zueinander durch Fig. 33 veranschaulichen: Die linke Scholle sei fest, die rechte bewegt. Ist ihre Bewegung normal zur Schollengrenze hin gerichtet, so entstehen keine Staffelfalten, aber besonders große Falten (Überschiebungen); ist sie schräg zur Schollengrenze hin gerichtet, so entstehen Staffelfalten, die um so enger und niedriger werden, je mehr die Bewegungsrichtung parallel zum Schollenrande wird. Bei genauer Parallelität entsteht eine Gleitfläche mit Blatt-



Faltung oder Spaltung als Resultat verschieden gerichteter Schollenbewegung.

verschiebung; besitzt endlich die Bewegung eine Komponente, die von der Schollengrenze fort gerichtet ist, so haben wir schräge bzw. normale Abspaltung, die zunächst als Grabenbruch in Erscheinung tritt. Das

Fig. 34.



Die ostafrikanischen Gräben,  
nach Supan.

.. Gräben, ■ mit Wasser bedeckte  
Grabenteile.

Verhältnis der normalen zu den gestaffelten Falten können wir sehr gut mit einem Tischtuch veranschaulichen, wenn wir denjenigen Teil desselben, der die feste Scholle darstellen soll, durch Gewichte beschweren und den anderen Teil gegen ihn verschieben.

Diese allgemeinen Betrachtungen zeigen, daß Faltung und Spaltung nur die verschiedenen Wirkungen ein und desselben Vorgangs, nämlich der Verschiebung der Schollenteile relativ zueinander sind, und daß sie über die Staffelfalten und die Blattverschiebung kontinuierlich ineinander übergehen. Es ist deshalb berechtigt, hier auch gleich den Spaltungsvorgang ins Auge zu fassen.

Das schönste Beispiel solcher Spaltungen bilden die ostafrikanischen Gräben. Sie gehören einem großen Bruchsystem an, welches sich nach Norden noch durch das Rote Meer, den Golf von Akaba und das Jordantal bis an den Rand der taurischen Faltungen verfolgen läßt (Fig. 34). Nach neueren Untersuchungen setzen sich diese Brüche auch nach Süden noch bis zum Kaplande fort, doch sind sie am schönsten in Ostafrika ausgebildet<sup>1)</sup>. Neumayr-Uhlig<sup>2)</sup> beschreibt sie etwa wie folgt:

Von der Sambesimündung aus zieht sich ein solcher 50 bis 80 km breiter Graben nach Norden, den Shirefluß und Njassasee enthaltend, um dann nach Nordwesten zu drehen und sich zu verlieren. Dafür

1) Oskar Erich Meyer, Die Brüche von Deutsch-Ostafrika. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., Beil.-Bd. 38, 805—881, 1915.

2) Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte 1, Allgem. Geol., 2. Aufl., S. 367. Leipzig u. Wien 1897.

beginnt dicht neben ihm und parallel zu ihm der Graben des Tanganikasees, von dessen Großartigkeit der Umstand zeugt, daß die Tiefe des Sees 1700 bis 2700 m, die Höhe des mauerförmigen Steilabfalles aber 2000 bis 2400, ja selbst 3000 m beträgt. In seiner nördlichen Fortsetzung enthält dieser Graben den Russisifluß, den Kiwu-, Albert-Edward- und den Albertsee. „Die Ränder der Senkung erscheinen aufgewulstet, wie wenn hier das Bersten der Erde mit einer gewissen Aufwärtsbewegung der plötzlich frei gewordenen Bruchränder verbunden gewesen wäre. Mit dieser eigentümlichen wulstigen Form der Plateauränder hängt es wohl auch zusammen, daß unmittelbar östlich vom Abfall des Tanganika die Nilquellen entspringen, während sich der See selbst zum Kongo entleert.“ Ein dritter markanter Graben beginnt östlich des Viktoriasees, enthält weiter nördlich den Rudolfsee und biegt bei Abessinien nach Nordosten ab, wo er sich einerseits in das Rote Meer und andererseits in den Golf von Aden fortsetzt. Im Küstengebiet und im Inneren von Deutsch-Ostafrika nehmen diese Brüche meist die Form von Bruchstufen an, deren Ostseite abgesunken ist<sup>1)</sup>.

Von besonderem Interesse ist das in Fig. 34 ebenso wie die Grabensohle punktiert gezeichnete große Dreieck im Winkel zwischen Abessinien und der Somalihalbinsel (zwischen Ankober, Berbera und Massäua). Dies relativ flache und niedrige Land besteht ganz aus jungen vulkanischen Laven. Die meisten Autoren halten es für eine riesige Verbreiterung des Spaltenbodens. Diese Auffassung wird besonders durch den Verlauf der beiderseitigen Küsten im Roten Meere nahegelegt, deren Parallelität durch diesen Vorsprung gestört wird; schneidet man ihn fort, so paßt die gegenüberliegende Ecke Arabiens genau in den Ausschnitt hinein. Es wurde schon erwähnt, daß es sich hier offenbar um Sialmassen von der Unterseite des Abessinischen Gebirges handelt, die sich einseitig nach Nordosten ausgebreitet haben und dabei am Schollenrande aufgetaucht sind. Vielleicht war die Spalte schon mit Sima erfüllt, so daß die emporsteigenden Sialmassen eine Haube aus diesem Material mit hochtrugen; sonst könnten es auch große Simaeinschlüsse in diesen aufquellenden Sialmassen gewesen sein, die nachträglich herausgepreßt wurden, ähnlich wie bei Island. Die große Erhebung über das Tiefseeebeneau verrät jedenfalls die Anwesenheit sialischer Massen unter der Lavadecke.

Die Entstehung dieser in Ostafrika selbst maschenförmig angeordneten Brüche ist in geologisch junge Zeiten zu setzen. An mehreren Stellen durchschneiden sie junge basaltische Laven, einmal auch pliozäne Süßwasserbildungen. Jedenfalls können sie also nicht vor Schluß

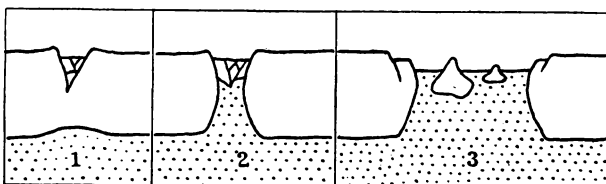
---

<sup>1)</sup> Vgl. die Karten des abflußlosen Rumpfschollenlandes im nordöstlichen Deutsch-Ostafrika von E. Obst.

der Tertiärzeit entstanden sein. Andererseits scheinen sie zur Diluvialzeit schon vorhanden gewesen zu sein, wie man aus den Strandterrassen als Marken höheren Wasserstandes bei den abflußlosen, auf der Grabensohle liegenden Seen geschlossen hat. Beim Tanganikasee deutet auch seine offenbar früher marine, dann aber dem Süßwasser angepaßte sogenannte Reliktenfauna auf längeren Bestand. Die häufigen Erdbeben und der starke Vulkanismus der Bruchzone deuten aber wohl darauf hin, daß der Trennungsprozeß jedenfalls auch heute noch im Gange ist.

Für die mechanische Deutung solcher Grabenbrüche ergibt sich nur insofern etwas Neues, als diese die Vorstufe einer völligen Trennung der beiden Schollenteile darstellen, wobei es sich um rezente, noch nicht beendete Abspaltungen oder auch um frühere Versuche einer solchen handeln kann, die infolge Erlahmens der Zugkräfte wieder zur Ruhe gekommen sind. Eine vollständige Trennung würde sich nach unseren Vorstellungen etwa in der in Fig. 35 schematisch dargestellten

Fig. 35.



Spaltung (schematisch).

Weise vollziehen. Zunächst wird nur in den oberen, spröderen Schichten ein klaffender Riß entstehen, während die unteren plastischen sich ziehen. Da vertikale Steilwände von der hier in Betracht kommenden Höhe viel zu große Anforderungen an die Druckfestigkeit der Gesteine stellen würden, so bilden sich gleichzeitig mit der Spalte oder auch an Stelle von ihr schräge Rutschflächen aus, längs welchen die Randpartien der beiden Schollenteile unter zahlreichen lokalen Erdbeben in demselben Tempo in die Spalte absinken, wie diese sich öffnet, so daß immer nur ein Grabenbruch mäßiger Tiefe in Erscheinung tritt, dessen Boden aus verworfenen Schollen derselben Gesteinsserien besteht, die auch seitwärts des Grabens auf der Höhe anstehen. In diesem Stadium ist der Grabenbruch noch nicht isostatisch kompensiert, wie es denn auch nach E. Kohlschütter<sup>1)</sup> bei einem großen Teil der jungen ostafrikanischen Gräben der Fall ist. Es ist ja ein unkompensiertes Massendefizit vorhanden; daher wird eine entsprechende Schwerestörung beobachtet, und außerdem steigen beide Spaltenränder zum isostatischen

<sup>1)</sup> E. Kohlschütter, Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. Nachr. d. Kgl. Ges. der Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl., 1911.

Ausgleich empor, so daß der Eindruck entsteht, als gehe der Graben gerade in der Längsrichtung durch eine Aufwölbung hindurch. Schwarzwald und Vogesen beiderseits des oberrheinischen Grabenbruches sind bekannte Beispiele für diesen Randwulst. Reißt endlich die Spalte ganz durch die Scholle hindurch, so steigt das Sima in ihr empor, so daß das bisherige Massendefizit ersetzt wird und der Graben sich nunmehr als Ganzes isostatisch kompensiert erweist. Den Boden des Grabens bedecken auch hier an den meisten Stellen vollständig die Bruchstücke der Spaltenränder, doch kommt natürlich bei weiterer Öffnung der Augenblick, wo auch die freie Simaoberfläche zutage tritt. Bei dem großen Graben des Roten Meeres, der nach Triulzi und Hecker bereits isostatisch kompensiert ist, dürfte die Entwicklung so weit fortgeschritten sein, daß an den tieferen Stellen bereits das Sima unbedeckt ist. Bei der weiteren Trennung der Schollen bleiben die vom Rande abgebrochenen Teile als Inseln zurück. Zu beachten ist dabei, daß diese Brocken, auch wenn sie mit ihren höchsten Teilen das Kontinental-

Fig. 36.



Größerer Einbruch durch Dehnung der Unterlage (schematisch).

niveau erreichen oder überschreiten, durchaus nicht dieselbe Mächtigkeit zu haben brauchen, wie die Kontinentalschollen. Sie brauchen statt dessen nur in dem eintauchenden Teil wesentlich breiter zu sein als in dem emporragenden. Es braucht eben auch hier nur die Bedingung erfüllt zu sein, daß das Verhältnis der Massen oberhalb und unterhalb des Tiefseeebeneaus das gleiche ist, wie bei den großen Kontinentaltafeln. — Alle diese Vorstellungen über die Natur der Grabenbrüche stehen nicht im Widerspruch mit den landläufigen, sondern ergänzen diese nur.

Ebenso wie sich eine einzelne Spalte mitunter in ein ausgedehntes, maschiges Netz kleinerer Spalten auflösen kann (das System der ostafrikanischen Gräben, welches im Roten Meere in eine einzige Spalte übergeht, bildet ein Beispiel dafür), so kann sich auch statt eines einzelnen Grabenbruches der Niederbruch eines ausgedehnteren Gebietes vollziehen. Das Ägäische Meer ist das beste Beispiel dafür. Hier ist ein größeres Gebiet in jüngster geologischer Zeit in einzelne Schollen zerbrochen, die zu ungleicher Tiefe abgesunken sind. Wir müssen annehmen, daß die tieferen Schichten der Lithosphäre sich gezogen haben,

so daß die Verwerfungsspalten sich nach unten allmählich verlieren. Der Betrag der Dehnung kann in unserer schematischen Fig. 36 an den schrägen Verwerfungsflächen, soweit sie frei sind, abgemessen werden. In ähnlicher Weise ist offenbar noch an vielen anderen Stellen eine Landverbindung versunken, z. B. auch in der Bass-Straße zwischen Tasmanien und Australien. Man sieht aber leicht, daß das Maß dieses Absinkens seine Grenzen hat, und daß eine völlige Zerreißung und Trennung der beiden Schollen eintreten muß, lange bevor die absinkenden Stücke das Niveau der Tiefsee erreichen. Unmittelbar vor dem Abreißen Neufundlands von Irland fand nach unseren Vorstellungen der Einbruch des Kanals, der Nordsee und anderer heute in Schelfgebiete verwandelter früherer Landgebiete um England statt. Aber es wurden doch nur flache Schelfe, dann trat im Westen die völlige Trennung der Schollen ein.

Betrachtet man die geographische Orientierung der Hauptspalten der Sialrinde, so kann man, wenngleich manche Unregelmäßigkeiten vorkommen, doch das Vorherrschen der meridionalen Richtung erkennen. Dies gilt nicht nur für das besprochene ostafrikanische Grabensystem sowie für den im Oligozän entstandenen Rheingraben, sondern auch die atlantische Spalte verläuft, namentlich für die tertiäre Pollage, wesentlich meridional, und desgleichen auch die Spalte, deren eine Seite den Ost- rand von Afrika bildet. Die südliche Zuspitzung der Kontinente in Südamerika, Südafrika, Vorderindien läßt sich auf solche meridionale, bis zum Pol durchgeführte Spalten zurückführen.

## 12. Kapitel. Der Kontinentalrand.

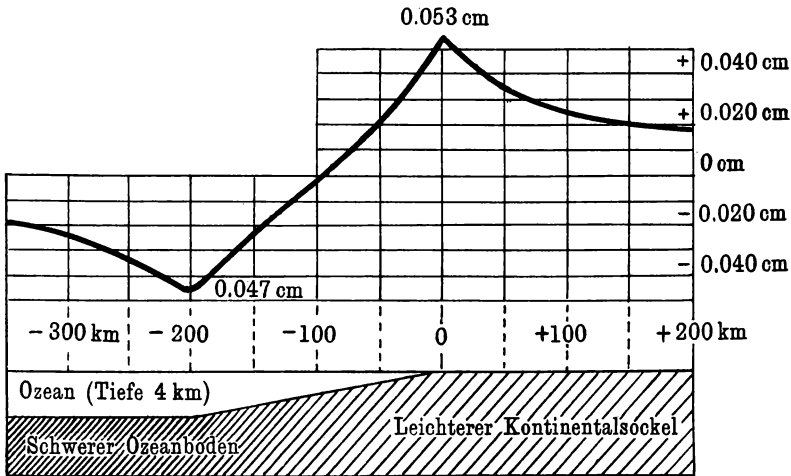
Am Rande einer Kontinentalscholle liegt unterhalb des Tiefseebodens eine ungefähr vertikale Trennungsfläche zwischen Sial und Sima, welche nicht der natürlichen Schichtung des leichten und schweren Materials entspricht, sondern nur durch die Festigkeit der Sialscholle bestehen bleiben kann. Es treten infolgedessen hier besondere Kräfte auf, welche die natürliche Lagerung der Massen herbeizuführen streben und dabei im Kampfe mit den Molekularkräften der Scholle stehen. Hiermit steht eine Reihe von Erscheinungen im Zusammenhang, die im folgenden besprochen werden sollen.

Wie Schiötz zuerst aus den Schweremessungen der im Polarmeere über dem Schelfrande treibenden „Fram“ erkannte und Helmert<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Helmert, Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattschen Hypothese für das Gleichgewicht der Erdkruste und der Verlauf der Schwerestörung vom Innern der Kontinente und Ozeane nach den Küsten. Sitzber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. 18, 1192—1198, 1909.

später ausführlich ableitete, zeigen die Pendelbeobachtungen am Rande der Kontinentalschollen eine charakteristische Schwerestörung, welche in Fig. 37 nach Helmert wiedergegeben ist. Nähert man sich vom Lande der Küste, so wächst die Schwere bis zu einem Maximum an der Küste selbst, um dann schnell zu sinken und an der Stelle, unter welcher der Boden der Tiefsee beginnt, ein Minimum zu erreichen, worauf sich dann in größerem Küstenabstande wieder der normale Wert einstellt. Das Zustandekommen dieser Schwerestörung kann man sich etwa folgendermaßen vorstellen. Der Beobachter auf dem Lande, der im Inlande normale Schwere gehabt hat, erreicht an der Küste ein Maximum, weil

Fig. 37.



Schwerestörung an einem Kontinentalrand, nach Helmert.

er sich dem schräg unter ihm liegenden schweren Sima des Tiefseebodens nähert. Dieser Überschuß an Schwere sollte zwar dadurch wett gemacht werden, daß die obersten 4 km durch das leichte Seewasser ersetzt sind. Aber diese Schichten liegen neben, nicht mehr unter dem Beobachter und bewirken also, statt die Schwere wieder auf ihren Normalwert herabzudrücken, eine Lotabweichung im Sinne einer Anziehung des Lotes durch die Kontinentaltafel. Dem Beobachter auf See, der sich der Küste nähert, geht es umgekehrt: Der Betrag der Schwerkraft reagiert auf die Massenverringerung unter ihm, die Massenvermehrung neben ihm kann aber nicht die Größe, sondern nur die Richtung der Schwerkraft beeinflussen, so daß ein Minimum der Schwere entsteht.

Eine Insel oder Inselgruppe, welche den Gipfel eines isolierten, im Sima schwimmenden Sialbrockens bildet, muß offenbar von dieser Rand-



störung ringförmig umgeben sein. Infolgedessen wird hier die Schwere auf der Insel selbst und ganz besonders am Ufer übernormal sein, während sie davor auf dem Meere auf einem ringförmigen Gebiet unternormal ist. Hierdurch erklärt sich die schon frühzeitig gemachte Wahrnehmung, daß Pendelmessungen auf ozeanischen Inseln übernormale Schwere ergeben. Die Ansicht mancher Forscher, daß die pazifischen Inseln reine Vulkankegel seien, die dem Tiefseeboden einfach aufgesetzt sind und von ihm getragen werden, läßt sich mit den Schwerebeobachtungen nicht begründen. Diese sprechen vielmehr für die z. B. von Gagel für die Kanarischen Inseln und von Haug für viele pazifische Inseln vertretene Anschauung, daß alle diese Inseln Brocken der Sialosphäre sind, und daß sie nur in manchen Fällen so völlig mit Lava überzogen sind, daß ihr Sialkern nirgends zutage liegt.

Man kann diese Verhältnisse auch noch auf eine andere Weise betrachten, welche geeignet ist, ihre Wirkungen unmittelbar zu erläutern. In einer Kontinentalscholle muß der Druck offenbar nach einem anderen Gesetz mit der Tiefe zunehmen als im ozeanischen Gebiete. Vergleichen wir die Drucke<sup>1)</sup> in gleichen Tiefen, so finden wir, daß im Kontinentalblock überall — mit Ausnahme seiner Oberfläche und seiner Unterfläche — der Druck höher ist als im ozeanischen Gebiete. Legen wir die Zahlenverhältnisse von Fig. 5 (S. 21) zugrunde, so erhalten wir für diesen Drucküberschuß in der Kontinentaltafel die Werte:

Bei	100 m Höhe . . . . .	Drucküberschuß	0 Atm.
"	0 m " . . . . .	"	28 "
"	4 700 m Tiefe . . . . .	"	860 "
"	100 000 m " . . . . .	"	0 "

Der Drucküberschuß wächst also im obersten Teile sehr rasch, weil dort Gestein gegen Luft steht, im nächsten Abschnitt nur etwa zwei Drittel so rasch weiter, da hier bereits Wasser im ozeanischen Gebiete vorhanden ist. In der Tiefe des Tiefseebodens wird das Maximum des Drucküberschusses erreicht. In noch größerer Tiefe wird dieser wieder kleiner, da jetzt das schwerere Sima im ozeanischen Gebiete liegt und hier eine schnellere Druckzunahme bewirkt. Und am Unterrande der Kontinentalscholle müssen die Drucke natürlich ausgeglichen sein. Diese Druckunterschiede verursachen am vertikalen Kontinentalrande ein Spannungsfeld, welches bestrebt ist, das Material der Kontinentaltafeln

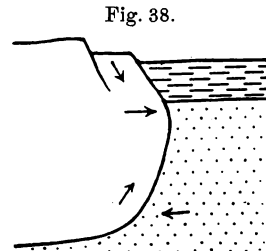
<sup>1)</sup> Streng genommen: Die vertikalen Druckkräfte. Nach Rudzki wirken auf ein kubisches Element eines festen Körpers insgesamt sechs Druckkräfte, nämlich drei zu seinen Wänden normale, komprimierende, und drei zu seinen Wänden tangentiale, scherende. Die Ausdehnung (Dilatation) kann als negative Kompression aufgefaßt werden, so daß die Drucke positiv oder negativ sein können. In unserem Falle werden scherende Kräfte als nicht vorhanden angenommen.

in die ozeanischen Räume hinauszupressen, und zwar am meisten in der Schicht des Tiefseebodens<sup>1)</sup>. Wäre das Sial leichtflüssig, so würde es sich in dieser Schicht ausbreiten. Das ist nun nicht der Fall. Aber es ist doch plastisch genug, um diesen erheblichen Druckkräften merklich nachzugeben. Das zeigt sich klar in den stufenförmigen Brüchen, welche den Kontinentalrand in der Regel begleiten (Fig. 38). Dies seitliche Vorquellen der tieferen plastischen Schichten ist auch der Grund dafür, daß die Ränder zerspaltener und weit getrennter Schollen, wie Südamerika und Afrika, in ihrer Küstenlinie die Parallelität besser bewahrt haben als in der Grenzlinie zwischen Kontinentalabfall und Tiefseeboden.

Es ist nicht undenkbar, daß der Vulkanismus aus dem Grunde so häufig an den Küsten auftritt, weil durch das geschilderte Spannungsfeld die Simaeinschlüsse der Scholle zur Auspressung gelangen können. Ganz besonders wahrscheinlich ist diese Deutung bei ozeanischen Inseln, die ja ringförmig von diesem Spannungsfeld umgeben sind.

Eine besondere Art von Kräften muß am Rande der plastischen Kontinentalschollen auftreten, wenn diese durch eine Inlandeisdecke belastet sind. Wenn man einen plastischen Kuchen belastet, so wird er in dem Bestreben, seine Mächtigkeit zu verringern und sich horizontal auszudehnen, randliche Risse bekommen. Dies ist die Erklärung für die Fjordbildung, welche in überraschender Gleichförmigkeit an allen ehemals vereisten Küsten (Skandinavien, Grönland, Labrador, pazifische Küste von Nordamerika nördlich 48° und von Südamerika südlich 42°, sowie Neuseeland-Südünsel) vorhanden ist und bereits von Gregory in einer umfangreichen, noch viel zu wenig gewürdigten Untersuchung auf Bruchbildung zurückgeführt ist<sup>2)</sup>. Die heute noch immer viel vertretene Deutung als Erosionstäler halte ich, auch nach eigenen Beobachtungen in Grönland und Norwegen, für unrichtig.

An den atlantischen Kontinentalrändern ist man durch gehäufte Lotungen auf eine eigenartige Erscheinung aufmerksam geworden, welche sich als untermeerische Fortsetzung von Flußtälern zu erkennen gibt. So setzt sich das Tal des Lorenzstromes noch im vorgelagerten Schelf bis zur Tiefsee fort, desgleichen das des Hudson (bis 1450 m Tiefe verfolgbar), und auf europäischer Seite ist ähnliches der Fall vor der



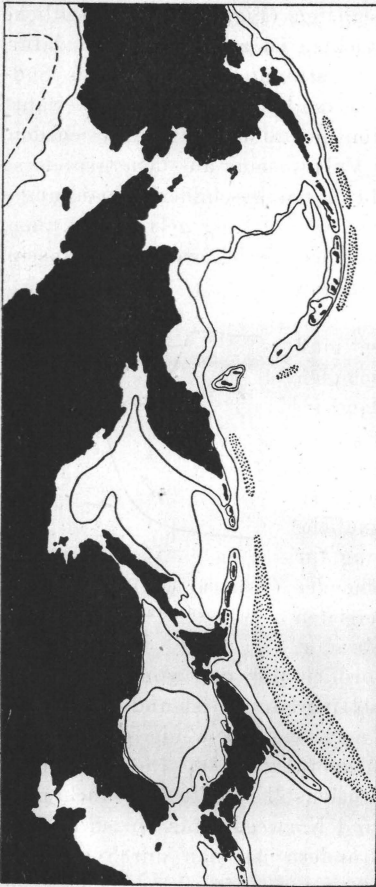
Wirkung der Druckkräfte am Kontinentalrand (schematisch).

<sup>1)</sup> Die Verhältnisse liegen gerade umgekehrt als Willis voraussetzt, wenn er ein Vordringen der schweren ozeanischen Gesteine gegen die tieferen Schichten der Kontinentalschollen annimmt (Research in China 1, 115 ff., Washington 1907).

<sup>2)</sup> J. W. Gregory, The Nature and origin of Fjords. 542 S. London 1913.

Mündung des Tajo und namentlich bei der „Fosse de Cap Breton“, 17 km nördlich der Mündung des Adour. Die schönste derartige Erscheinung ist aber wohl die Kongorinne im Südatlantik<sup>1)</sup> (bis 2000 m

Fig. 39.



Girlanden von Nordost-Asien.

(Tiefenlinien 200 u. 2000 m; Tiefseerinnen punktiert.)

großzügiges System. Namentlich wenn wir Neuseeland als einstige Girlande Australiens auffassen, so ist die ganze Westküste des Pazifik

verfolgt. Nach der üblichen Deutung sollen diese Rinnen ertrunkene Erosionstäler sein, die über Wasser entstanden. Dies erscheint mir jedoch in hohem Maße unwahrscheinlich, einmal wegen des großen Betrages der Senkung, zweitens wegen der allgemeinen Verbreitung (bei genügend zahlreichen Lotungen wird man sie vermutlich an allen Kontinentalrändern finden), und drittens weil nur eine bestimmte Auswahl von Flußmündungen die Erscheinung zeigt, während dazwischen liegende Mündungen sie nicht zeigen. Ich halte es für viel wahrscheinlicher, daß es sich auch hier um Spalten im Kontinentalrand handelt, die von den Flüssen benutzt werden. Beim Lorenzstrom ist diese Spaltennatur seines Bettes ohnehin geologisch erwiesen, bei der Fosse de Cap Breton, welche das innerste Ende der buchförmig sich öffnenden Tiefseespalte der Biskaya darstellt, nach ihrer ganzen Lage plausibel.

Die interessanteste Erscheinung des Kontinentalrandes bilden aber die Inselgirlanden, die namentlich an der ostasiatischen Küste ausgebildet sind (Fig. 39). Betrachten wir ihre Verteilung im Pazifik, so sehen wir ein

<sup>1)</sup> Siehe die Karte in Schott, Geographie des Atlantischen Ozeans, S. 102. Hamburg 1912.

mit Girlanden bedeckt, während die Ostküste frei davon ist. Bei Nordamerika kann man vielleicht in der Abtrennung von Inseln zwischen 50 und 55° Breite, der Küstenausbauchung bei San Franzisko und der Abtrennung der kalifornischen Randkette noch unentwickelte Anfänge von Girlandenbildung erkennen. Im Süden läßt sich möglicherweise die Westantarktis als Girlande (dann vermutlich Doppelgirlande) ansprechen. Im ganzen deutet also das Girlandenphänomen auf eine Verschiebung der westpazifischen Kontinentalmassen, die etwa nach Westnordwest, also für die diluviale Pollage etwa nach Westen gerichtet war, die ferner mit der Längsachse des Pazifik (Südamerika–Japan) und mit der Hauptrichtung der alten pazifischen Inselreihen (Hawai-Inseln, Marshall-Inseln, Gesellschafts-Inseln usw.) zusammenfällt. Die Tiefseerinnen, einschließlich der Tongarinne, sind als Spalten senkrecht zu dieser Verschiebungsrichtung, also parallel zu den Girlanden, angeordnet. Es ist wohl keine Frage, daß alle diese Dinge ursächlich miteinander verknüpft sind. Stellen wir uns ein kreisrundes Blatt aus Gummi vor, welches in die Länge gezogen wird, so haben wir ein ähnliches Bild: der eine Durchmesser wächst, der andere verkleinert sich; durch das Ziehen des Gummis werden alle Punktgruppen (Inselgruppen) zu Ketten in die Länge gezogen, und senkrecht zur Zugrichtung reißen Spalten auf. Die ostasiatischen Inselgirlanden treten hierdurch in enge Beziehung zum Bau des ganzen pazifischen Ozeans.

Ganz ähnliche Girlanden sind auch in Westindien vorhanden, und auch der Südantillenbogen zwischen Feuerland und Grahamland kann, wenn auch in etwas anderem Sinne, als freie Girlande angesprochen werden.

Sehr auffällig ist die gleichartige Staffellung der Girlanden. Die Aleuten bilden eine Kette, welche weiter östlich in Alaska nicht mehr Randkette ist, sondern aus dem Innern kommt. Sie endigen bei Kamtschatka, von wo ab nun die bisher innere Kamtschatka-Kette mit den Kurilen als äußerste Kette die Girlande bildet. Diese endigt wiederum bei Japan, um der bisher inneren Kette Sachalin–Japan den Platz zu räumen. Auch südlich von Japan läßt sich diese Anordnung noch weiter verfolgen, bis bei den Sunda-Inseln die Verhältnisse verworrenere werden. Und auch die Antillen zeigen genau dieselbe Staffellung. Es liegt auf der Hand, daß diese Staffellung der Girlanden eine unmittelbare Folge der Staffellung der einstigen Randgebirge der Kontinente ist und also auf das früher besprochene allgemeine Gesetz der Staffelfalten zurückgeht. Die auffällig gleiche Länge der Girlanden [Aleuten 2900, Kamtschatka–Kurilen 2600, Sachalin–Japan 3000, Korea–Riu-Kiu 2500, Formosa–Borneo 2500, Neuguinea–Neuseeland ehemals 2700 km]<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die westindischen Girlanden zeigen dagegen eine Abstufung: Kleine Antillen–Südhaiti–Jamaika–Mosquitobank 2600, Haiti–Südcuba–Misteriosabank 1900, Cuba 1100 km.

könnte vielleicht auf diese Weise bereits tektonisch in der Anlage der Randgebirge vorgezeichnet sein.

Die auffallende Übereinstimmung der Girlanden in ihrem geologischen Bau war bereits früher erwähnt worden: ihre konkave Seite trägt stets eine Reihe von Vulkanen, offenbar eine Folge des bei ihrer Biegung hier entstehenden Druckes, der die Simaeinschlüsse herauspreßt. Die konvexe Seite dagegen trägt tertiäre Sedimente, während diese am entsprechenden Festlandsufer meist fehlen. Dies deutet an, daß die Ablösung erst in jüngster geologischer Zeit vor sich gegangen ist, und daß die Girlande zur Zeit der Ablagerung dieser Sedimente noch den Rand des Festlandes bildete. Diese tertiären Sedimente zeigen überall starke Lagerungsstörungen, eine Folge des bei der Biegung hier auftretenden Zuges, der zur Zerklüftung und vertikalen Verwerfung führt. Nipon ist durch die zu starke Biegung in der Fossa Magna aufgebrochen. Daß dieser Außenrand der Girlande trotz der mit der Dehnung sonst überall verbundenen Senkung gehoben erscheint, deutet eine Kippbewegung der Girlande an, die man sich dadurch verursacht denken kann, daß sie gemäß der allgemeinen Westwanderung der Kontinentalscholle an ihren Endpunkten mitgeschleppt, in der Tiefe aber durch das Sima zurückgehalten wird. Mit demselben Vorgang scheint auch die meist ihren Außenrand begleitende Tiefseerinne zusammenzuhängen. Es war schon früher darauf aufmerksam gemacht worden, daß sich diese Rinne niemals auf der frisch entblößten Simafläche zwischen Kontinent und Girlande, sondern stets nur an deren Außenrande, also an der Grenze des alten Tiefseebodens bildet. Sie erscheint hier als eine Spalte, deren eine Seite von dem stark ausgekühlten und bis in große Tiefen bereits erstarrten alten Tiefseeboden, und deren andere Seite von dem sialischen Material der Girlande gebildet wird. Gerade in Verbindung mit der genannten Kippbewegung der Girlande wäre die Bildung einer solchen Randspalte zwischen Sial und Sima sehr verständlich.

Weiter ist in unserer Fig. 39 die bauchige Form des Kontinentalrandes hinter den Girlanden auffallend. Namentlich wenn wir außer der Küstenlinie selber auch die 200 m-Tiefenlinie in Fig. 39 betrachten, so zeigt sich, daß der Kontinentalrand stets das Spiegelbild einer S-Form aufweist, während die davor liegende Girlande einen einfachen konvexen Bogen bildet. Diese Verhältnisse sind schematisch in Fig. 40 B dargestellt. Die Erscheinung ist bei allen drei in Fig. 39 enthaltenen Girlanden in gleicher Weise ausgebildet und trifft z. B. auch beim ostaustralischen Kontinentalrand und seiner einstigen, durch den Südost-Ausläufer Neuguineas und Neuseeland gebildeten Girlande zu. Diese bauchigen Küstenlinien kennzeichnen einen Zusammenschub (parallel) zur Küste und also auch zur Streichrichtung der Küstengebirge. Sie sind als horizontale Großfalten zu betrachten. Es handelt sich hierbei um eine Teil-

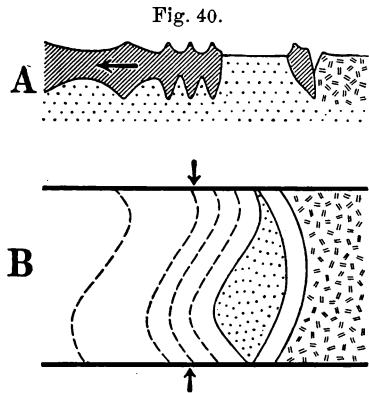
erscheinung in dem gewaltigen Zusammenschub, den das ganze östliche Asien in der Richtung Nordost-Südwest erfahren hat. Macht man den Versuch, diese Schlangenlinie der ostasiatischen Festlandsküste zu glätten, so wächst die Entfernung zwischen Hinterindien und der Beringstraße, die jetzt 9100 km beträgt, auf 11100 km.

Nach unserer Auffassung handelt es sich also bei den Girlanden und insbesondere den ostasiatischen um Randketten, die sich infolge der Westwanderung der Kontinentalmassen von diesen ablösen, indem sie an dem tief erstarrten alten Meeresboden haften bleiben. Zwischen ihnen und dem Kontinentalrand tritt junger, noch leichtflüssigerer Tiefseeboden fensterartig zutage.

Diese Vorstellung ist eine andere als die, welche F. v. Richthofen, freilich von ganz anderen Voraussetzungen ausgehend, vertreten hat<sup>1)</sup>. Er dachte sich die Girlanden entstanden durch einen vom Pazifik kommenden Zug in der Erdrinde. Zusammen mit einer breiten Zone des benachbarten Festlandes, die auch durch bogenförmigen Verlauf der Küste und der Erhebungen ausgezeichnet ist, sollten die Inselbögen ein großes Bruchsystem bilden. Das Gebiet zwischen Inselkette und Festlandsküste sei die erste „Landstaffel“, welche infolge einer Kippbewegung im Westen unter den Meeresspiegel getaucht sei, während der Ostrand als Inselgirlande herausrage. Auf dem Festlande glaubte Richthofen noch zwei weitere derartige Landstaffeln zu sehen, deren Senkung jedoch geringer war. Die regelmäßige Bogenform dieser Brüche bildete zwar eine Schwierigkeit, doch glaubte man, diesen Einwand mit dem Hinweis auf bogenförmige Sprünge im Asphalt und anderen Stoffen entkräften zu können.

So sehr man auch anerkennen muß, daß diese Theorie das historische Verdienst besitzt, zum ersten Male mit dem Dogma von einem überall wirksamen „Gewölbedruck“ bewußt gebrochen und Zugkräfte zur Erklärung herangezogen zu haben, so braucht man doch nicht viel Worte zu verlieren, um zu zeigen, daß sie unseren heutigen Erfahrungen nicht

<sup>1)</sup> F. v. Richthofen, Über Gebirgskettungen in Ostasien. Geomorphologische Studien aus Ostasien 4; Sitzber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss., Berlin, Phys.-math. Kl., 40, 867—891, 1903.

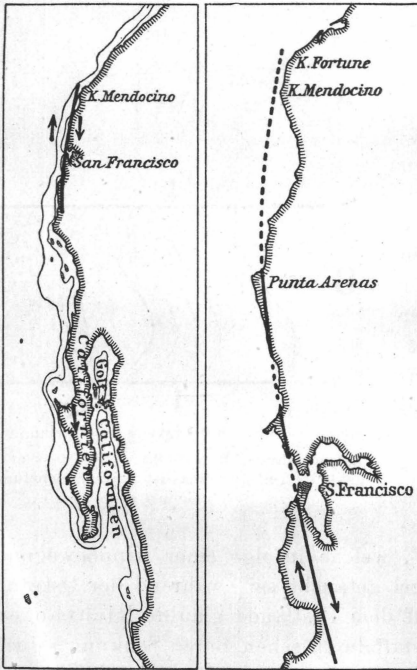


Schema der Entstehung von Inselgirlanden.  
A Querschnitt; B Aufsicht. (Der stark ausgekühlte Teil des Simas ist durch Strichelung bezeichnet)

gerecht wird. Namentlich spricht die Tiefenkarte, so unvollkommen sie infolge mangelnder Lotungen hier noch ist, entschieden dafür, daß zwischen Girlande und Hauptscholle der Zusammenhang ganz unterbrochen ist.

Wenn die Bewegung der Kontinentalscholle nicht wie in Ostasien senkrecht zu ihrem Rande geschieht, sondern parallel zum Rande, so können die Randketten durch Blattverschiebung abgestreift werden,

Fig. 41.



Kalifornien und die Erdbebenverwerfung von San Franzisko.

ohne daß ein Simafenster zwischen ihnen und der Hauptscholle auftritt. Im Grunde genommen handelt es sich hier um die gleichen Erscheinungen, wie sie für das Innere der Kontinentalscholle an der Hand unserer Fig. 33 (S. 113) erläutert waren, nur sinngemäß übertragen auf den Kontinentalrand: Bewegt sich die Scholle gegen das Sima, so tritt Randfaltung auf, und zwar entweder mit Überschiebungen oder Staffelfalten, je nach der Richtung der Bewegung. Bewegt sie sich vom Tiefseeboden fort, so spalten sich die Randketten ab. Ist aber die Bewegung eine scherende, so haben wir Blattverschiebung: die Randkette gleitet. Auch in diesem Falle haftet die Randkette an dem erstarrten Tiefseeboden. In unserer Tiefenkarte der Drakestraße Fig. 14 auf S. 50

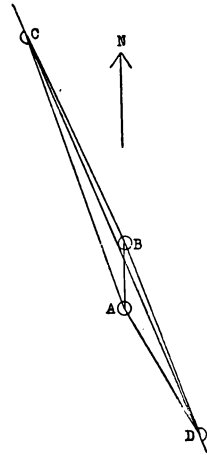
kann man diesen Prozeß am Nordende von Grahamland besonders schön sehen. Desgleichen ist die südlichste Kette der Sunda-Inseln Sumba-Timor-Ceram-Buru, die früher wohl die südöstliche Fortsetzung der Sumatra vorgelagerten Inselreihe gebildet hat, an Java vorbeigeglitten, bis sie von der heranrückenden Scholle Australien-Neuguinea ergriffen wurde.

Ein anderes Beispiel ist Kalifornien. Die kalifornische Halbinsel zeigt an ihren seitlichen Vorsprüngen Schleppungserscheinungen (Fig. 41), die ein Vorwärtsdrängen der Landmassen nach Südsüdost zu beweisen

scheinen. Die Spitze der Halbinsel ist durch den Stirnwiderstand des Simas bereits amboßartig verdickt, und die Halbinsel erscheint im ganzen bereits stark verkürzt, wie aus dem Vergleich mit dem Ausschnitt des kalifornischen Golfs hervorgeht. Ihr nördlicher Teil hat sich nach Böse und Wittich<sup>1)</sup> erst kürzlich aus dem Meere gehoben, und zwar um Beträge bis zu 2000 m, ein deutliches Zeichen für starken Zusammenschub. Daß die Spitze früher wirklich in der vor ihr liegenden Einkerbung der mexikanischen Küste gelegen hat, kann nach den Konturen kaum bezweifelt werden. Die geologische Karte zeigt hüben wie drüben „postkambrische“ Intrusivgesteine, deren Identität allerdings noch nicht erwiesen ist.

Aber außer der Verkürzung der Halbinsel selbst scheint auch noch ein Gleiten nach Norden<sup>2)</sup> vorzuliegen, an dem wohl auch die nördlich sich anschließenden Küstenketten teilnehmen. Hierdurch erklärt sich die große Ausbauchung der Küstenlinie bei San Franzisko durch Stauung. Diese Auffassung wird in auffallender Weise bestätigt durch die berühmte Erdbebenverwerfung von San Franzisko vom 18. April 1906, die nach Rudzki<sup>3)</sup> in unsere Fig. 41 eingezeichnet ist. Denn der östliche Teil schnellte hierbei nach Süden, der westliche nach Norden. Wie zu erwarten, zeigten die Vermessungen, daß der Betrag dieser plötzlichen Verschiebung mit zunehmender Entfernung von der Spalte immer geringer wurde und in größerer Entfernung nicht mehr nachweisbar war. Natürlich war die Erdkruste auch schon vor dem Sprung in langsamer kontinuierlicher Bewegung. Andrew C. Lawson hat diese Bewegung zwischen 1891 und 1906 mit der Sprungrichtung verglichen<sup>4)</sup> und kommt zu dem in Fig. 42 abgebildeten, für die „Point Arenagruppe“ der Beobachtungen gültigen Resultat, daß ein Oberflächenelement auf der späteren Spalte sich in den genannten 15 Jahren um 0,7 m von A nach B bewegte,

Fig. 42.



Bewegung eines von der Spalte durchschnittenen Oberflächenelements, nach Lawson.

<sup>1)</sup> Briefliche Mitteilung von E. Böse. Die Veröffentlichung findet sich in den Parergones del Instituto Geologico de México.

<sup>2)</sup> Bzw. Zurückbleiben der Halbinsel bei einem Südwärtsdrängen des Festlandes relativ zum Sima.

<sup>3)</sup> Rudzki, Physik d. Erde, S. 176. Leipzig 1911. Vergl. auch Tams, Die Entstehung des kalifornischen Erdbebens vom 18. April 1906. Peterm. Mitt. 64, 77, 1918.

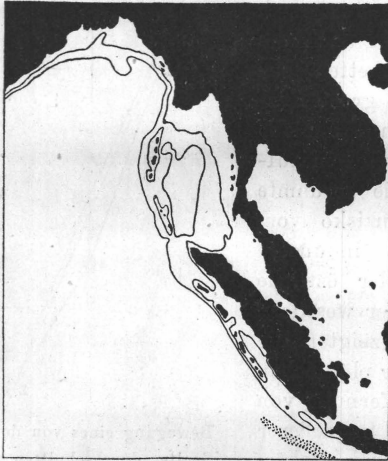
<sup>4)</sup> Andrew C. Lawson, The Mobility of the Coast Ranges of California. Univ. of California Publ. Geology, Vol. 12, No. 7, p. 431—473, 1921.



dann durch die Spaltenbildung geteilt wurde, wobei die westliche Hälfte um 2,43 m nach C und die östliche um 2,23 m nach D schnellte. In der kontinuierlichen Bewegung zwischen A und B, die relativ zur Hauptmasse des nordamerikanischen Kontinents gedacht werden muß, zeigt sich, daß der westliche Kontinentalrand durch Anhaften am pazifischen Sima beständig nach Norden zurückgehalten wird. Der Sprung bedeutet nur einen ruckweisen Ausgleich der Spannung, bewegt aber nicht die Kontinentalscholle als ganzes.

Es sei in diesem Zusammenhange noch auf einen anderen, gleichfalls sehr interessanten Teil der Erdrinde hingewiesen, der freilich noch

Fig. 43.



Tiefenkarte von Hinterindien.

(Tiefenlinien 200 u. 2000 m; Tiefseerinne punktiert.)

wenig untersucht ist, nämlich den Kontinentalrand von Hinterindien (Fig. 43). Es ist namentlich das tiefe Meeresbecken nördlich von Sumatra, welches hier interessiert. Der Knick der Halbinsel Malakka entspricht dem Nordabbruch von Sumatra; aber es ist nicht möglich, die nördlich dieser Insel erkennbare fensterartige Entblößung der Simasphäre dadurch wieder zudecken, daß wir die Halbinsel Malakka wieder ausrichten. Das zeigt schon die vor dem Fenster liegende Inselkette der Andamanen. Wir müssen hier offenbar annehmen, das der große Zusammenschub des Himalaja einen Zug auf die hinterindischen Ketten in ihrer Längsrichtung

ausgeübt hat, daß unter diesem Zuge die Sumatrakette am Nordende dieser Insel gerissen ist, und daß der nördliche Teil der Kette (Arakan) wie ein Tauende nach Norden in den großen Zusammenschub hineingezogen worden ist und noch wird. Zu beiden Seiten dieser grandiosen Blattverschiebung müssen sich dabei Gleitflächen ausgebildet haben. Interessanterweise blieb die äußerste Randkette, die Andamanen und Nikobaren, am Sima haften, und es war erst die zweite Kette, die diese merkwürdige Verschiebung erfuhr.

Endlich sei noch kurz des bekannten Unterschiedes zwischen „pazifischem“ und „atlantischem“ Küstentypus gedacht. Die „atlantischen“ Küsten stellen Brüche eines Tafellandes dar, während die „pazifischen“ durch Randketten und vorgelagerte Tiefseerinnen gekennzeichnet sind.

Zu den Küsten mit atlantischem Bau zählt man auch diejenigen von Ostafrika mit Madagaskar, Vorderindien, West- und Südaustralien, sowie die Ostantarktis, zu den pazifischen auch die Westküste Hinterindiens und des Sunda-Archipels, die Ostküste Australiens mit Neuguinea und Neuseeland, und die Westantarktis. Auch Westindien mit den Antillen hat pazifischen Bau. Den tektonischen Unterschieden dieser beiden Typen entspricht auch ein verschiedenes Verhalten der Schwerkraft<sup>1)</sup>. Die atlantischen Küsten sind, abgesehen von der oben beschriebenen Störung des Kontinentalrandes, isostatisch kompensiert, d. h. die schwimmenden Kontinentalschollen sind hier im Gleichgewicht. Dagegen herrschen bei den pazifischen Küsten Abweichungen von der Isostasie. Bekannt ist ferner, daß atlantische Küsten relativ frei von Erdbeben und auch von Vulkanen sind, während pazifische an beiden reich sind. Wo einmal an einer Küste atlantischen Typs ein Vulkan auftritt, zeigen seine Laven, worauf Becke hingewiesen hat, systematische mineralogische Unterschiede gegenüber den pazifischen Laven, sie sind nämlich schwerer und eisenreicher, scheinen also aus größerer Tiefe zu stammen<sup>2)</sup>.

Nach unseren Vorstellungen sind die „atlantischen“ Küsten stets solche, welche sich erst seit dem Mesozoikum, zum Teil noch erheblich später, durch Spaltung der Schollen gebildet haben. Der vor ihnen liegende Meeresboden stellt also eine relativ frisch entblößte Sima-Oberfläche dar und muß daher als relativ flüssig betrachtet werden. Es kann aus diesem Grunde nicht überraschen, daß diese Küsten isostatisch kompensiert sind. Bei Verschiebungen ferner erfahren die Kontinentalränder wegen dieser größeren Flüssigkeit des Simas nur wenig Widerstand und werden daher weder gefaltet noch gepreßt, so daß weder Randgebirge noch Vulkane entstehen. Auch Erdbeben sind hier nicht zu erwarten, da das Sima flüssig genug ist, um alle erforderlichen Bewegungen ohne Diskontinuität, durch reines Fließen, zu ermöglichen. Die Kontinente verhalten sich hier, übertrieben ausgedrückt, wie starre Eisschollen in flüssigem Wasser.

### 13. Kapitel. Die verschiebenden Kräfte.

Obwohl die Verschiebungen der Kontinente auf den ersten Blick ein recht buntes Bild verschiedenartiger Bewegungen darbieten, so erkennt man doch ein großes System: Die Kontinentalschollen bewegen

<sup>1)</sup> Otto Meissner, Isostasie und Küstentypus. *Peterm. Mitt.* **64**, 221, 1918.

<sup>2)</sup> Walther Penck unterscheidet noch eine dritte, noch schwerere Magmaart, welche er das arktische Magma nennt, und deren Herkunft er in noch größere Tiefe verlegt. (Die Entstehung der Gebirge der Erde. *Deutsche Revue*, Sept. u. Okt. 1921.)

sich äquatorwärts und westwärts. Es empfiehlt sich, die beiden Komponenten dieser Bewegung gesondert zu betrachten.

Eine äquatorwärts gerichtete Bewegung, die „Polflucht“ der Kontinentalmassen, ist bereits von verschiedenen Autoren, so namentlich von Kreichgauer<sup>1)</sup> und Taylor<sup>2)</sup>, angenommen worden. Sie ist wohl ganz allgemein zu erkennen, bei großen Schollen mehr, bei kleinen weniger, und am stärksten in mittleren Breiten. Insbesondere äußert sie sich bei Eurasien in der Anordnung des großen tertiären Faltengürtels des Himalaja und der Alpen, welcher auf dem damaligen Äquator entstand, sowie in den bauchigen Stauchungsformen der ostasiatischen Küste. Sehr deutlich ist ferner die Polflucht bei Australien, denn es bewegt sich nach Nordwesten, wie aus den Deformationen der Inselreihen des Sunda-Archipels, aus dem hohen jugendlichen Gebirge auf Neuguinea und aus dem südöstlichen Zurückbleiben der einstigen Girlande Neuseeland übereinstimmend hervorgeht. Bei Nordamerika macht sich die Polflucht geltend in der südwestlichen Verschiebung Grinnell-Lands gegenüber Grönland (oder auch Labradors gegenüber Südgrönland), ferner auch in der beginnenden Stauchung der sich ablösenden Randkette Kaliforniens und der damit in Verbindung stehenden Erdbebenverwerfung von San Franzisko. Sogar die kleine Scholle Madagaskar strebt zum Äquator, da sie sich von ihrer Abrißstelle am afrikanischen Kontinent nach Nordosten bewegt hat. Allerdings ist es möglich, daß sie passiv von einem Simastrom mitgeführt wird. Afrika und Südamerika liegen heute auf dem Äquator und erfahren deshalb wohl nur geringe meridionale Verschiebungen. Die großen Verschiebungen, welche Südamerika im Tertiär erfuhr und die zur Auffaltung der südamerikanischen Anden führten, waren — unter Rücksicht auf die damalige Pollage — nach Nordwesten gerichtet, lassen also gleichfalls die Polflucht erkennen. Gleiches gilt wohl auch für Antarktika.

Der Zusammenschub Lemuriens vom Tertiär ab bis heute läßt sich in seinen ersten Teilen noch als Polflucht Vorderindiens auffassen. Heute liegt dies allerdings 10 bis 20° nördlich des Äquators, so daß eine Polflucht die Faltung nur verringern könnte. Es ist schwer zu sagen, wie diese Bewegung aufzufassen ist, da wir nur die relative Verschiebung feststellen können; vielleicht wird auch Vorderindien von einem nach Nordosten gerichteten Simastrom gegen Hochasien gepreßt, vielleicht ist es auch richtiger, einen großen Teil der Faltung auf die Polflucht Asiens zurückzuführen.

Die andere Komponente, die Westwanderung der Kontinente, geht aus dem unmittelbaren Anblick der Erdkarte noch klarer hervor. Die

<sup>1)</sup> Kreichgauer, Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.

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

großen Schollen ziehen im Sima nach Westen. Schon die Pangäa der Karbonzeit hatte so einen Vorderrand (Amerika), der sich wegen des Widerstandes des zähen Simas in Falten legte (Präkordilleren), und einen Hinterrand (Asien), von dem sich Randketten und Brocken ablösten und als Inselgruppen im Sima des Pazifik stecken blieben. Dieser Gegensatz zwischen dem Ost- und dem Westufer unseres Hauptozeans ist auch heute äußerst auffallend, zumal sich in Ostasien, begünstigt durch dessen meridionale Stauchung, gerade der großartige Prozeß der Ablösung und Zurücklassung zahlreicher Randketten abspielt. Der nach Süden vorgestreckte Kontinentallappen von Hinterindien und den Sundainseln zeigt ein Zurückbleiben nach Osten und bezeugt so die Westwanderung ebenso wie das gleichfalls nach Osten gerichtete Abbrechen Ceylons von der Südspitze Vorderindiens. Auch südlich davon, im Bereich Australiens, spielen sich dieselben Vorgänge ab, wie die schon zurückgelassene Girlande Neuseeland und das nordwestlich gerichtete Vordringen der australischen Scholle zeigen. Dieselben Erscheinungen wie an der ostasiatischen Küste treffen wir auch an der Ostküste Amerikas wieder. In Mittelamerika bilden die Antillen ein schönes Beispiel nach Osten zurückbleibender Girlanden, wobei zu bemerken ist, daß die kleinen Inseln stärker zurückbleiben als die großen; der Floridaischelf bleibt nach Osten zurück, ebenso wie die Südspitze Grönlands. In Südamerika treten die Massen der Abrolhos-Bank durch Zurückbleiben nach Osten unter dem Kontinent heraus; die Gegend der Drakestraße mit ihren nachschleppenden Festlandspitzen und weit zurückgebliebenen Verbindungsketten war schon früher als Musterbeispiel für die Verschiebung nach Westen erläutert worden. In Afrika äußert sich die Westwanderung in dem östlichen Zurückbleiben der kleineren Scholle Madagaskar (was sich mit dessen Polflucht zu nordöstlicher Bewegung zusammensetzt). Vielleicht darf man auch das junge ostafrikanische Bruchsystem, von welchem die Abtrennung Madagaskars wohl nur einen Teil bildet, mit der Westwanderung in Verbindung bringen, wenn es sich hier auch nicht mehr um Girlanden, sondern um größere Schollen handelt. An der afrikanischen Westküste scheinen sich zwar die Kanarien und Kapverden erst in jüngerer Zeit vom Kontinent gelöst und sich also von ihm nach Westen entfernt zu haben, allein dieses geringe Vorauseilen des Simas nach Westen ist wohl aus dem ganzen Strömungsbild des Simas bei der Öffnung des Atlantik zu erklären und würde nur besagen, daß sich die Simafläche des Atlantik bei dem Fortschreiten seiner Öffnung wie Gummi zieht, oder daß hier das Einströmen des Simas in die Spalte überwiegt.

Ob sich alle Einzelheiten der Verschiebungen durch diese zwei Komponenten der Polflucht und der Westwanderung darstellen lassen, muß wohl dahingestellt bleiben. Die Hauptbewegungen werden aber anscheinend durch sie leidlich gut dargestellt.

Es ist zu erwarten, daß auch die Anordnung der Spalten in der Sialkruste ein System zeigt, da doch Spalten und Verschiebungen zusammen gehören. Der Westwanderung würden meridionale Spalten entsprechen. Auch die Polflucht könnte mit meridionalen Spalten auftreten, namentlich wenn diese bis zum Pol durchgeführt sind. Es war schon früher gesagt, daß wir in der Tat eine Tendenz zur meridionalen Richtung bei den Grabenbrüchen und Spaltungen bemerken können, und es war als Beispiel das ostafrikanische Bruchsystem, der Rheingraben und vor allem die große atlantische Spalte genannt. Auch die Durchführung bis zum Pol läßt sich an den zugespitzten Süden von Südamerika, Afrika und Vorderindien wenigstens für den früheren Südpol belegen. Aber auch hier handelt es sich nur um Andeutungen eines Systems, im einzelnen ergeben sich viele Abweichungen.

Die Frage, welche Kräfte diese Verschiebungen, Faltungen und Spaltungen bewirkt haben, läßt sich heute noch nicht endgültig beantworten. Es kann hier nur über den vorläufigen Stand der darauf bezüglichen Untersuchungen berichtet werden.

Daß eine Polfluchtkraft vorhanden ist, welche bestrebt ist, die Kontinentalschollen zum Äquator hinzuschleichen, hat zuerst Eötvös ausgesprochen<sup>1)</sup>. Er machte nämlich darauf aufmerksam, „daß die Richtung der Vertikale in der Meridianebene gekrümmt ist, die konkave Seite dem Pol zugewendet, und daß der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers höher liegt als der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmasse. Hieraus geht hervor, daß der schwimmende Körper der Wirkung zweier in verschiedener Richtung wirkenden Kräfte unterworfen ist, deren Resultante vom Pol nach dem Äquator gerichtet ist. Bei den Kontinenten würde also eine Neigung vorherrschen, sich nach dem Äquator hin zu bewegen, welche Bewegung eine säkulare Änderung der Breite hervorrufen würde, wie dieselbe für die Sternwarte in Pulkowo vermutet wird“.

Ohne diesen kurzen und versteckten Hinweis zu kennen, hat W. Köppen<sup>2)</sup> die Natur der Polfluchtkraft und ihre Bedeutung für die Frage der Kontinentalverschiebungen erkannt und, wenn auch ohne Rechnung, eine Beschreibung von ihr gegeben:

... „Die Abplattung der Niveauflächen nimmt also mit der Tiefe ab; sie sind einander nicht parallel, sondern ein wenig gegen einander

<sup>1)</sup> Verh. d. 17. Allg. Konf. d. Internat. Erdmessung I. Teil 1913, S. 111.

<sup>2)</sup> W. Köppen, Ursachen und Wirkungen der Kontinentenverschiebungen und Polwanderungen. Peterm. Mitt. 1921, S. 145—149 und 191—194. Siehe besonders S. 149. — Über Änderungen der geographischen Breiten und des Klimas in geologischer Zeit, Geografiska Annaler 1920, S. 285—299. — Zur Paläoklimatologie. Meteorologische Zeitschr. 1921, S. 97—101 (hier mit anderer Figur).

geneigt, außer am Äquator und an den Polen, wo sie alle rechtwinklig zum Erdradius sind. Die Fig. 44 zeigt dies an einem Meridianschnitt zwischen Pol ( $P$ ) und Äquator ( $A$ ). Die gestrichelte, nach dem Pol zu konkave Linie ist die Kraftlinie der Schwere bzw. Lotlinie des Ortes  $O$ .  $C$  ist der Erdmittelpunkt.

Nun liegt ja der Angriffspunkt des Auftriebes eines schwimmenden Körpers im Schwerpunkt des verdrängten Mediums, der seines Gewichts dagegen in seinem eigenen Schwerpunkt, und die Richtung beider Kräfte ist rechtwinklig zur Niveaufläche des betreffenden Punktes; ihre Richtungen sind also nicht entgegengesetzt, sondern geben eine kleine Resultierende, die, wenn der Auftriebspunkt unter dem Schwerpunkt liegt, zum Äquator gerichtet ist. Beide Kräfte sind, da auch der Schwerpunkt der Scholle weit unter der Oberfläche der Scholle liegt, nicht senkrecht zum Horizont ihrer Oberfläche, sondern etwas in dieser Richtung geneigt, der Auftrieb aber mehr als das Gewicht der Scholle.

Diese Sätze müssen für jeden Schwimmkörper gelten, dessen Schwerpunkt über dem Auftriebspunkt liegt, und ebenso müssen die Kräfte eine Resultierende zum Pol hin haben, wenn dessen Schwerpunkt unter dem Auftriebspunkt liegt; das Archimedische Prinzip ist auf der rotierenden Erde nur dann streng richtig, wenn beide Punkte zusammenfallen.“

Die erste Berechnung der Polfluchtkraft hat P. S. Epstein <sup>1)</sup> ausgeführt. Er findet dabei für die Kraft  $K_\varphi$  in der geographischen Breite  $\varphi$  den Ausdruck

$$K_\varphi = -\frac{3}{2} m d \omega^2 \sin 2\varphi,$$

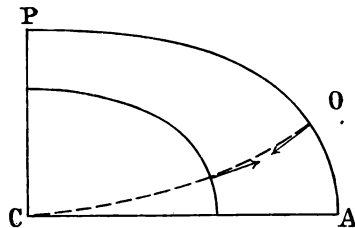
wo  $m$  die Masse der Kontinentalscholle,  $d$  die halbe Höhendifferenz zwischen Tiefseeboden und Kontinentaloberfläche (oder gleich der Höhendifferenz der Schwerpunkte der Scholle und des verdrängten Simas), und  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit der Erde ist.

Diese Gleichung benutzt er, um den Zähigkeitskoeffizienten  $\mu$  der Simasphäre aus der Verschiebungsgeschwindigkeit  $v$  der Kontinentalschollen zu berechnen (nach der allgemeinen Formel  $K = \mu \frac{v}{M}$ , wo  $M$  die Mächtigkeit der zähflüssigen Schicht ist) und erhält

$$\mu = \varrho \frac{sdM\omega^2}{v},$$

<sup>1)</sup> P. S. Epstein, Über die Polflucht der Kontinente. Die Naturwissenschaften 9, Heft 25 (24. Juni 1921), S. 499—502.

Fig. 44.



Zwei Niveauflächen und die gebogene Lotlinie.

wo  $\rho$  das spezifische Gewicht der Scholle und  $s$  ihre Dicke ist. Indem er nun von folgenden freilich sehr extremen Zahlenwerten ausgeht:

$$\begin{aligned}\rho &= 2,9 \\ s &= 50 \text{ km} \\ d &= 2,5 \text{ km} \\ M &= 1600 \text{ km} \\ \omega &= \frac{2\pi}{86164} \\ v &= 33 \text{ m pro Jahr}\end{aligned}$$

findet er den Zähigkeitskoeffizienten des Simas zu

$$\mu = 2,9 \times 10^{16} \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-1},$$

also dreimal so groß wie den von Stahl bei Zimmertemperatur. Er schließt hieraus:

„Wir können unsere Ergebnisse dahin zusammenfassen, daß die zentrifugalen Kräfte der Erdrotation eine Polflucht in dem von Wegener angegebenen Betrage erzeugen können und erzeugen müssen.“ Dagegen glaubt Epstein, die Frage, ob auch die äquatorialen Faltengebirge auf diese Kraft zurückgeführt werden können, verneinen zu müssen, da diese nur einem Oberflächengefälle von 10 bis 20 m zwischen Pol und Äquator entspricht, während die Auftürmung der Gebirge zu Höhen von mehreren Kilometern und die entsprechende Versenkung sialischer Massen in große Tiefen eine bedeutende Arbeit gegen die Schwerkraft darstellt, für welche die Polfluchtkraft nicht reicht. Diese würde nur Berge von 10 bis 20 m Höhe schaffen können.

Fast gleichzeitig mit Epstein hat auch W. D. Lambert<sup>1)</sup> die Polfluchtkraft mathematisch abgeleitet, im wesentlichen mit dem gleichen Ergebnis wie Epstein. Er findet die Kraft in 45° Breite gleich ein Dreimillionstel der Schwere. Da die Kraft in dieser Breite ihren größten Betrag erreicht, so muß sie auf einen länglichen, schräg liegenden Kontinent auch drehend wirken, und zwar wird sie zwischen dem Äquator und 45° Breite bestrebt sein, seine Längsachse in die Ostwestrichtung zu bringen, zwischen 45° und dem Pol dagegen in die Meridianrichtung. „Alles dies ist natürlich ganz spekulativ; es basiert auf der Hypothese von schwimmenden Kontinentalschollen und auf der Annahme eines tragenden Magmas, welches natürlich eine zähe Flüssigkeit sein wird, aber zäh im Sinne der klassischen Zähigkeitstheorie. Nach der klassischen Theorie wird eine Flüssigkeit, gleichviel wie zäh sie sei, ausweichen vor einer Kraft, gleichviel wie klein sie sei, sofern

<sup>1)</sup> Walter D. Lambert, Some Mechanical Curiosities connected with the Earth's Field of Force. The American Journ. of Science Vol. II, Sept. 1921, S. 129—158,

letzterer nur genügend Zeit gegeben ist, zu wirken. Die Eigentümlichkeiten des irdischen Gravitationsfeldes liefern uns sehr kleine Kräfte, wie wir gesehen haben, und die Geologen werden uns zweifellos gestatten, äonenlange Zeiten für die Wirkung dieser Kräfte anzunehmen, aber die Zähigkeit der Flüssigkeit kann von anderer Art sein, als die klassische Theorie fordert, so daß die wirkenden Kräfte erst einen gewissen Grenzbetrag überschreiten müssen, bevor die Flüssigkeit vor ihnen ausweicht, gleichgültig, wie lange die kleine fragliche Kraft wirken möge. Die Frage der Zähigkeit ist eine recht verwickelte, denn die klassische Theorie gibt für manche Beobachtungstatsachen keine angemessene Erklärung, und unsere gegenwärtigen Kenntnisse gestatten es uns nicht, sehr dogmatisch zu sein. Die Polfluchtkraft ist vorhanden, aber ob sie in geologischen Zeiten einen nennenswerten Einfluß auf die Position und Konfiguration unserer Kontinente gehabt hat, diese Frage müssen die Geologen entscheiden.“

Endlich hat Schweydar<sup>1)</sup> die Polfluchtkraft berechnet. Er erhält für die Breite von 45° etwa  $\frac{1}{2000}$  cm/sec, d. h. die Kraft beträgt etwa den zweimillionsten Teil des Gewichtes der Schollen. „Ob diese Kraft zu einer Verschiebung ausreicht, ist nicht leicht zu entscheiden. Jedenfalls würde sie nicht eine Westwanderung erklären, da die Geschwindigkeit zu gering ist, um durch die Erdrotation eine merkliche westliche Ablenkung hervorzurufen.“

An Epsteins Rechnung setzt Schweydar aus, daß die angenommene Verschiebungsgeschwindigkeit von 33 m pro Jahr zu groß sei, und daß die hieraus abgeleitete Zähigkeit des Simas erheblich zu klein sei. Aber wenn man die Geschwindigkeit kleiner nimmt, so bekommt man die geforderte größere Zähigkeit: „Nimmt man für den Zähigkeitskoeffizienten die Ordnung  $10^{19}$  (statt wie Epstein  $10^{16}$ ) an und macht die Voraussetzung, daß die von Epstein benutzte Formel hier anwendbar ist, so erhält man für die Geschwindigkeit einer Scholle in 45° Breite etwa 20 cm pro Jahr. Immerhin muß es als möglich bezeichnet werden, daß die Kontinente unter der Einwirkung der Polfluchtkraft eine nach dem Äquator gerichtete Verschiebung erleiden“<sup>2)</sup>.

Wir können die vorangehenden Äußerungen dahin zusammenfassen, daß über die Existenz und Größe der Polfluchtkraft keine Zweifel mehr bestehen. Sie beträgt im Maximum (in 45° Breite) etwa ein Zweimillionstel oder ein Dreimillionstel der Schwere, ist also immerhin noch viermal größer als die horizontalen Flutkräfte. Da sie aber nicht wie diese wechselt, sondern Jahrtausend auf Jahrtausend in unver-

1) W. Schweydar, Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1921, S. 120—125.

2) Im Original gesperrt.



ändertem Sinne weiter wirkt, ist sie auch befähigt, die stählerne Zähigkeit des Erdkörpers im Laufe geologischer Zeiten zu überwinden, wenn nur, was wir freilich nicht wissen, die Wirksamkeitsgrenze bei diesem nicht oberhalb ihres Betrages liegt. Nun haben wir schon früher gesehen, daß sich die Kontinente wie Wachs, das Sima wie Siegellack verhalten. Die Wirksamkeitsschwelle ist jedenfalls beim Sima sehr viel niedriger anzusetzen als beim Sial. Es erscheint mir deshalb durchaus wahrscheinlich, daß tatsächlich infolge der Polfluchtkraft im Laufe der Zeiten beträchtliche Verschiebungen der Kontinentalschollen im Sima stattgefunden haben. Dagegen erscheint es noch zweifelhaft, ob diese Kraft auch zur Erklärung der äquatorialen Faltengebirge ausreicht, wenngleich vielleicht Epsteins Ergebnis noch nicht das letzte Wort in dieser Sache ist.

Weit kürzer können wir uns fassen bei der Besprechung der Kräfte, die für die Westwanderung der Kontinente in Betracht kommen. Verschiedene Autoren, wie E. H. L. Schwarz, Wettstein u. a. haben für eine Drehung der ganzen Erdkruste über den Kern nach Westen die Reibung der Gezeitenwelle in Anspruch genommen, welche durch die Sonnen- und Mondanziehung im festen Erdkörper erzeugt wird. Auch beim Monde wird ja vielfach angenommen, daß er früher eine schnellere Rotation besessen habe, aber durch die von der Erde erzeugte Gezeitenreibung gebremst sei. Es ist auch leicht einzusehen, daß diese Bremsung eines Weltkörpers durch Gezeitenreibung vornehmlich seine obersten Schichten betreffen muß und zu einem langsamen Gleiten der ganzen Kruste oder auch der einzelnen Kontinentalschollen führen muß. Es ist nur die Frage, ob derartige Gezeiten überhaupt existieren. Die Gezeitendeformation des festen Erdkörpers, die mit dem Horizontalpendel nachweisbar ist, ist nach Schweydar anderer, nämlich elastischer Art und kann also nicht unmittelbar zur Erklärung herangezogen werden. Ich halte es aber doch für möglich, daß eben diese elastischen Gezeiten den Antrieb zu einer geringen fortschreitenden, auf der Zähflüssigkeit des Simas beruhenden Krustenverschiebung geben, die von Tag zu Tag sich mit einem allerdings ungemäßen geringen Betrage aufsummiert, also bei den täglichen Messungen durchaus nicht in Erscheinung treten, dennoch aber im Laufe von Jahrmillionen zu beträchtlichen Verschiebungen führen kann. Denn es ist ganz fraglos, daß wir die Erde nicht als vollkommen elastisch gegenüber den Flutkräften betrachten können. Meines Erachtens kann man also diese Frage noch nicht damit als erledigt betrachten, daß die elastische Natur der meßbaren täglichen Gezeiten in der festen Erde nachgewiesen ist.

Auf einem anderen Wege, der aber auch auf die Anziehung von Sonne und Mond hinausläuft, nämlich auf Grund der Präzessionstheorie der Erdachse kommt Schweydar auf eine Kraft, welche eine

Westwanderung der Kontinente bewirken kann<sup>1)</sup>: „Die Theorie der Präzession der Rotationsachse der Erde unter dem Einfluß der Anziehung von Sonne und Mond ist unter der Voraussetzung bekannt, daß die einzelnen Teile der Erde keine größere Verschiebung gegeneinander ausführen können. Die Berechnung der Bewegung der Erdachse im Raum wird schwieriger, wenn man die Verschiebung der Kontinente zuläßt. In diesem Falle muß man unterscheiden zwischen der Rotationsachse des Kontinents und der ganzen Erde. Ich habe berechnet, daß die Präzession der Umdrehungsachse eines Kontinents, der zwischen den Breitengraden  $-30^\circ$  und  $+40^\circ$  und den Meridianen  $0^\circ$  und  $40^\circ$  westlicher Länge liegt, etwa 220 mal größer als die der Achse der gesamten Erde ist. Der Kontinent hat das Bestreben, um eine Achse zu rotieren, die von der allgemeinen Rotationsachse abweicht. Hierdurch entstehen Kräfte, die nicht nur in meridionaler Richtung, sondern auch in westlicher Richtung wirken und den Kontinent zu verschieben suchen; die meridionale Kraft wechselt im Laufe des Tages ihre Richtung und kommt bei unserem Problem nicht in Frage. Diese Kräfte sind bedeutend größer als die Polfluchtkraft. Die Kraft ist am stärksten am Äquator, sie ist Null auf den Breitenkreisen  $\pm 36^\circ$ . Eine genauere Beschreibung des Problems hoffe ich später geben zu können. Hierdurch wäre auch eine westliche Verschiebung der Kontinente möglich.“ — Wenn es sich auch hier nur um eine vorläufige Mitteilung handelt und man zu einem endgültigen Urteil noch die angekündigte ausführliche Veröffentlichung abwarten muß, so scheint doch so viel sicher zu sein, daß die am deutlichsten erkennbare allgemeine Bewegung der Kontinente, ihre Westwanderung, sich aus den Anziehungswirkungen der Sonne und des Mondes auf die zähflüssige Erde erklären läßt.

Schweydar ist aber der Ansicht, daß auch die aus den Schweremessungen zu schließenden Abweichungen der Erdfigur vom Rotationsellipsoid Anlaß zu Fließbewegungen im Sima und damit auch zu Kontinentalverschiebungen geben können: „Man kann aber auch eine Strömung des Simas, wenigstens in früheren Epochen, vermuten. Helmert hat in seiner letzten Arbeit aus der Schwerkraftverteilung auf der Erdoberfläche gefolgert, daß die Erde ein dreiaxsiges Ellipsoid ist; der Äquator bildet eine Ellipse. Die Differenz der Achsen dieser Ellipse beträgt nur 230 m; die große Achse schneidet die Erdoberfläche in  $17^\circ$  westl. Länge (Atlantischer Ozean), die kleine Achse in  $73^\circ$  östl. Länge (Indischer Ozean). Nach den Theorien von Laplace und Clairaut, über die wir in der Geodäsie nicht hinausgekommen sind, wird die Erde wie eine Flüssigkeit gebaut betrachtet, d. h. der Druck in der festen

<sup>1)</sup> W. Schweydar, Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1921, S. 120—125.

Erde (abgesehen von der Erdrinde) wird von der Natur des hydrostatischen Druckes angenommen. Von diesem Gesichtspunkt aus ist das Helmertsche Ergebnis unverständlich. Die hydrostatisch gebaute Erde kann bei ihrer Abplattung und Rotationsgeschwindigkeit kein dreiaxsiges Ellipsoid sein. Man könnte nun annehmen, daß die Abweichung von einem Rotationsellipsoid durch die Kontinente hervorgerufen wird. Dies ist aber nicht der Fall. Ich habe die Rechnung unter der Voraussetzung, daß die Kontinente schwimmend gelagert sind und die oben angeführte Dicke [200 km; Dichtedifferenz zwischen Sial und Sima 0,034 (Wasser = 1)] haben, durchgeführt und gefunden, daß die Verteilung der Kontinente und Meere eine Abweichung der mathematischen Erdgestalt von einem Rotationsellipsoid hervorruft, die bedeutend kleiner ist als die von Helmert gefundene. Außerdem liegen die Achsen der äquatorialen Ellipse völlig anders als bei Helmert; die große Achse fällt in den Indischen Ozean. Es müssen also größere Teile der Erde Abweichungen von dem hydrostatischen Bau haben.

Nach meiner Rechnung kann das Helmertsche Ergebnis erklärt werden, wenn eine 200 km dicke Simaschicht unter dem Atlantischen Ozean um 0,01 dichter ist als unter dem Indischen Ozean. Ein solcher Zustand kann sich auf die Dauer nicht halten, und das Sima wird das Bestreben haben, zu strömen, um den Gleichgewichtszustand des Rotationsellipsoids herzustellen. Bei dem geringen Dichteunterschied wird wohl kaum eine Strömung möglich sein, aber die Elliptizität des Äquators und die Dichteunterschiede im Sima und somit die Strömung können in früheren Epochen bedeutender gewesen sein.“

Es ist ohne weiteres klar, daß die aus Helmerts Ergebnis abzuleitenden Kräfte dazu dienen können, die Öffnung des Atlantischen Ozeans verständlich zu machen, da gerade hier die Erde aufgewölbt erscheint und die Massen bestrebt sein werden, nach beiden Seiten auseinanderzufießen.

Es sei aber hier noch eine Überlegung angeführt, die man vielleicht als Weiterführung von Schweydars Gedankengang betrachten darf. Solche Aufwölbungen der Erdoberfläche über ihre Gleichgewichtslage hinaus brauchen natürlich nicht nur auf den Äquator beschränkt zu sein, sondern können an jeder Stelle der Erde auftreten. Es war früher bei Besprechung der Transgressionen und ihres Zusammenhanges mit den Polwanderungen (in Kapitel 8) gezeigt worden, daß wir vor dem wandernden Pol eine zu hohe, hinter ihm eine zu tiefe Lage der Erdoberfläche zu erwarten haben, und daß die geologischen Tatsachen das Vorhandensein dieser Abweichungen zu bestätigen scheinen. Auch hier handelt es sich um ähnliche Beträge, wie sie Helmert für den Überschuß der großen über die kleine Äquatorialachse gefunden hat, oder vielleicht um den doppelten Betrag. Bei schnelleren Polwande-

rungen scheint jedenfalls die Erdoberfläche vor dem Pol einige Hundert Meter über, hinter ihm einige Hundert Meter unter ihrer Gleichgewichtslage zu liegen. Das größte Gefälle (Größenordnung 1 km pro Erdquadrant) würde im Meridian der Polverschiebung an dessen Schnittpunkt mit dem Äquator herrschen, ein fast ebenso großes auch an den beiden Polen. Hierdurch werden Kräfte frei, welche die Massen von den zu hohen nach den zu tiefen Gebieten hinziehen, und diese Kräfte sind ein Vielfaches der normalen Polfluchtkraft, die bei Kontinentalschollen ja nur einem Gefälle von 10 bis 20 m pro Erdquadrant entspricht. Diese Kräfte greifen nicht, wie die Polfluchtkraft, nur an den Kontinentalschollen, sondern auch an dem darunter liegenden Sima an, welches flüssiger ist und vielleicht den Ausgleich unter der starrereren Kruste hinweg vollzieht. Allein solange das Gefälle besteht — und die Trans- und Regressionen legen von seiner Existenz Zeugnis ab — muß auch auf die Kontinentalschollen diese Kraft wirken, und sie muß daher auch Verschiebungen und Faltungen derselben bewirken können, wenn auch diese Bewegungen möglicherweise geringer sind als die entsprechenden Bewegungen des flüssigeren Materials unter ihnen. Falls sich der Verdacht bestätigen sollte, daß die normale Polfluchtkraft nur für Verschiebungen der Kontinente im Sima, aber nicht für ihre Faltungen ausreicht, glaube ich, daß wir in dieser Deformation der Erdfigur durch Polwanderungen eine Kraftquelle haben, die unter allen Umständen ausreicht, um die Faltungsarbeit zu leisten.

Besonders wahrscheinlich wird diese Deutung durch den Umstand, daß die beiden größten hier in Betracht kommenden Faltsysteme, nämlich die äquatorialen Faltungen des Karbons und des Tertiärs, gerade in solchen Zeiten entstanden sind, in denen wir aus anderen Gründen besonders schnelle und ausgiebige Polwanderungen annehmen müssen (Wanderung des Südpols vom Altkarbon bis Perm von Mittelafrika bis Australien in damaliger Lage; Wanderung des Nordpols vom Alt-Tertiär bis Quartär von den Aleuten bis Grönland).

Wie schon erwähnt, ist die Frage nach den Kräften, welche die Kontinentalverschiebungen verursacht haben und verursachen, noch zu sehr im Fluß, um eine in jeder Hinsicht befriedigende, abgerundete Beantwortung zuzulassen. Das eine darf als sicher angenommen werden: Kontinentale Verschiebungen, Faltung und Spaltung, Vulkanismus, Transgressionswechsel und Polwanderungen stehen in einem großartigen ursächlichen Zusammenhange. Das zeigt ihre gemeinsame Steigerung in gewissen Perioden der Erdgeschichte. Nur in einem Fall, bei den Kontinentalverschiebungen, können wir neben inneren auch äußere, kosmische Ursachen nachweisen. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß wir letztere als das *primum movens*, die letzte Ursache aller dieser Veränderungen zu betrachten haben; aber dann scheinen sich die Beziehungen

zu verwickeln. Die Polwanderungen möchte ich zwar als unmittelbare Folge der Kontinentalverschiebungen auffassen, trotz Schweyda's Einwand, daß eine solche Verschiebung nur einen Platzwechsel gleicher Massen bedeutet. Denn wegen der höheren Lage ihres Schwerpunktes besitzt die Kontinentalscholle einen größeren Achsenabstand, also auch größeres Rotationsmoment als das platztauschende Sima, so daß meines Erachtens die Trägheitsachse der Erde durch Kontinentalverschiebungen beeinflußt werden muß. Aber wir haben gesehen, daß nun die Polwanderungen wiederum neue Kontinentalverschiebungen anderer Art erzeugen können. Auch diese werden wieder auf die Pollage zurückwirken. So ergeben sich verwickelte Wechselbeziehungen, deren Gesamtwirkung heute noch nicht übersehen werden kann.

---

# Namen- und Sachregister.

- A** bessinisches Gebirge 45, 115.  
Abplattung 85.  
Abrolhosbank 40.  
Absinken zum Tiefseeebeneau 11, 18.  
Abtragung 110.  
Ägäisches Meer 117.  
Airy 16, 17, 25, 83.  
Akdargebirge 45.  
Algonkische Faltung 37.  
Alkalireiche Gesteine in Brasilien und Südafrika 31.  
Alpen 2; Verkürzung durch Zusammenschub 8; -gletscher 111.  
Altaiden, transatlant. 37.  
Amazonas 33.  
Ami 56.  
Ampferer 10, 107.  
Anden 2.  
Andersson 72.  
Andrée 10, 14, 27, 37, 42, 61, 108.  
Angenheister 24.  
Annobom 41.  
Antarktanden 49.  
Antarktika 49.  
Appalachen 36.  
Arakan 128.  
Arber 70, 102.  
Ardennen 37.  
Ardlt 12, 51, 54—57, 59, 61, 65, 73, 104, 106.  
Armorikanische Faltung 36.  
Arvalgebirge 43.  
Asturischer Wirbel 36.  
Atacama-Rinne 99.  
Atlantische Lava 96, 129.  
Atlasgebirge 35.  
Ausdehnungskoeffizient d. Gesteine 9.  
Ausgleichstiefe 25.  
Australische Tierwelt 59.  
Azoren 35.
- B**ali 61.  
Baltorogletscher 110.  
Barsche 56.  
Barus 92.  
Basalt 91; -decke des Dekans 43.  
— in Nordeuropa 39.  
Baumfarne 69.  
Baumgrenze 62.  
Becke 129.  
Belle Isle 37.  
Bergeat 95.  
Beringstraße 13, 54.  
Bertrand 8, 36, 56.  
Beutler 60.  
Biologische Argumente 51.  
Blattverschiebung 114; in Nordwestgrönland 40.  
Börger 79, 80.  
Böse 10, 127.  
Breitenänderung i. Deutschland 75 u. 76.  
— der Sternwarten 82.  
Bresslau, E. 60.  
Brouwer 30—32, 47, 106, 107.  
Brücken 51.  
— Kontinente 12.  
Buenos Aires, Sierren 29.  
Bunsen 25.  
Burckhardt 51, 61.  
Burmeister 80.  
Buschmann, Freih. v. 73.
- C**ayeux 14.  
Cedarberge 30.  
Cestoden 60.  
Clairaut 137.  
Clarke 102.  
Cloos 68.  
Coleman 32.  
Copeland 79, 80.  
Cross 26.
- D**acqué 14, 37, 38, 65, 66 78.  
Dana 8.
- Darling Range 45.  
Darwin, G. H. 7.  
Davis 65.  
Dawson 56.  
Day 92.  
Deckfalten 8.  
Dekan 43.  
Devon von Nordamerika 35.  
Diamanten 31, 43.  
Dicke der Schollen 25.  
Diener 13, 51, 54, 57, 61.  
Dingo 61.  
Doelter 92, 94.  
Dredschproben 24.  
Dreiecksiges Ellipsoid 137.  
Drucke im Kontinentalrand 120.  
Drude, O. 59.  
Drygalski, v. 42.  
Dutton 16.  
Dwykakonglomerat 32.
- E**aston 48.  
Echidna 61.  
Eckardt 65, 103.  
Eiszeit 76 (Alter 78).  
Endmoränen 38.  
Engler 58.  
Eötvös 132.  
Epstein 133—136.  
Erdbebenwellen, Geschw. 88; unter Oz. u. Kont. 23.  
Erdfigur 137.  
Erdmagnetismus 22.  
Erdwärme, Ursache 9.  
Ertrunkene Flußtäler 121.  
Eruptivgesteine in Brasilien und Südafrika 30.  
Euler 84, 88.  
Evans 6, 65.
- F**altengebirge auf Tiefseeboden 27.  
Faltung 107.  
Farnbäume 69.

- Färöer 39.  
 Faye 16.  
 Fernando Póo 41.  
 Feuerland 49.  
 Fidchi-Inseln 97.  
 Fisher, O. 16.  
 Fjordbildung 121.  
 Flachseenatur der Sedi-  
 mente 14.  
 Fosse de Cap Breton 122.  
 Frech 51, 70, 72.  
 Friedlaender, J. 23, 93.
- G**agel 36, 48, 120.  
 Galle 81.  
 Gartenschnecke 56.  
 Gebirgsbildung 107—108;  
 am Vorderrand trifft.  
 Scholl. 2.  
 Geer, de 15, 78.  
 Geiger 88.  
 Gentil 35.  
 Geologische Argumente  
 28 ff.  
 Geophysikalische Argu-  
 mente 19 ff.  
 Geoplaniden 60.  
 Geosynklinalen 106, 112.  
 Geothermische Tiefenstufe  
 23, 92—93.  
 Gerth 68, 73.  
 Geschichtl. Bemerkungen 3.  
 Gewölbedruck 11.  
 Gezeiten des festen Erd-  
 körpers 88.  
 Gezeitenreibung 136.  
 Gilbert 26.  
 Gingko 64.  
 Gipfelflur der Alpen 90.  
 Gips 73.  
 Girlanden 3, 122.  
 Gleitende Randketten 126.  
 Gletscherbewegung 91.  
 Glossopteris 58, 59, 68.  
 Godavari 45.  
 Golfier 65.  
 Gondwanische Brücke 13.  
 Gothan 102.  
 Grabau 84.  
 Grabenbruch 114.  
 Grahamland 49.  
 Granitaufschmelzungen 93.  
 Gregory 121.
- Grinnell-Land 40.  
 Grisebach 59.  
 Groll 19, 95.  
 Grönland, Flora 57.  
 —, Verschiebung 79.  
 —, Nordwest- 40.  
 Gutenberg 88.
- H**all 82, 112.  
 Halle 70.  
 Handlirsch 51, 73.  
 Hansen 65.  
 Häufigkeitsmaxima der  
 Höhen 19.  
 Haug 42, 51, 112, 120.  
 Hawai-Inseln 59.  
 Hayden 25.  
 Hayford 17, 25.  
 Hebriden 37.  
 Hebung Skandinaviens 16,  
 83.  
 Hecker 16, 99, 117.  
 Hedley 60, 98.  
 Heidekraut 56.  
 Heil 85.  
 Heim, A. 8—10, 17, 77,  
 107.  
 Heliumgehalt 78.  
 Helmert 16, 17, 25, 118,  
 119, 137, 138.  
 Herder 64.  
 Hergesell 11.  
 Hess 91.  
 Heyde 49.  
 Himalaja 43.  
 —, Anziehung 16  
 Hindukusch 45.  
 Hippopotamus 42.  
 Höhenstatistik 19.  
 Hohes Venn 37.  
 Hough 88.  
 Hudson 121.  
 Hypsometrische Kurve 20,  
 ehemalige 104.
- I**hering, v. 51.  
 Inlands, Senkung 15, 83.  
 —, Moränen 38, 63.  
 —, Dicke 15.  
 Inselgirlanden 122.  
 Inseln 22.  
 Inselreihen d. Pazifik 104.  
 Insektenflügel 73.  
 Intrusionstheorie 108.  
 Irmischer 55.
- Irvinfluß 45.  
 Island 39, 41.  
 Isobasen 15.  
 Isostasie 15, 17, 83, 89, 110.
- J**acobitti 65.  
 Jahresringe 62.  
 Jaworski 35, 58.  
 July 9.  
 Juan Fernandez 59.
- K**abelotungen 27.  
 Kaledonische Faltung 37.  
 Kalifornien 126.  
 Kamerun 41.  
 Kanadische Kaledoniden 37.  
 Kanarien 35.  
 Kagebirge 29, 49.  
 Kapverden 36.  
 Karpinsky 51.  
 Katzer 51.  
 Kauliflorie 70.  
 Kayser, E. 8, 10, 65, 95,  
 103.  
 Keidel 29, 30, 33, 34.  
 Kelvin, Lord 9, 84.  
 Kerner, v. 67.  
 Kimberlitpfeifen 31.  
 Klebelsberg, v. 44, 56.  
 Klimazeugen 63.  
 Kloakentiere 60.  
 Kober 8.  
 Koch, J. P. 79, 80.  
 Kohlen 63.  
 Kohlschütter, E. 116.  
 Koken 51, 67.  
 Kongorinne 122.  
 Königsberger 78.  
 Kontinentalrand 118.  
 Kontinentalschollen, Pro-  
 blem 10.  
 Kontraktionstheorie 8.  
 Köppen 13, 69, 70, 75, 83,  
 85, 132.  
 Korallen 63, 73.  
 Koranaberge 43.  
 Kordilleren, australische 45.  
 Kossinna 19, 95.  
 Koßmat 10, 14, 16, 36, 51,  
 65, 85, 107—109.  
 Kostinsky 82.  
 Kreichgauer 6, 7, 65, 66,  
 70—72, 85, 130.  
 Kritischer Druck d. Wassers  
 95.

- Krümmel 19, 20, 24, 27, 95.  
 Kühn 49, 50.  
 Küstentypus 128.  
**L**abrador 37, 41.  
 Lambert 82, 134.  
 Landbrücken 12, 51.  
 Längendifferenz Europa—  
   Nordamerika 81.  
 Laplace 84, 137.  
 Lapparent 51.  
 Laterit 63.  
 Laufzeiten 24.  
 Lauge-Koch 40.  
 Lawson 127.  
 Lemoine 32, 42, 43.  
 Lemurien 59.  
 Lemurischer Zusammen-  
   schub 44.  
 Liapunow 7.  
 Lignier 102.  
 Löffelholz v. Colberg 6, 65.  
 Lombok 61.  
 Lorenzstrom 41, 121.  
 Loukaschewitsch 89.  
 Lozinsky, v. 106.  
 Lugeon 8.  
 Lyell 11, 14.  
**M**ächtigkeit der Schollen  
   25.  
 Madagaskar 42.  
 Madeira 36.  
 Magnetismus 22.  
~~Makassarstraße 61.~~  
 Manatus 58.  
 Massaua 115.  
 Massendefizit 109.  
 Matsap beds 32.  
 Matthew 51.  
 Maxwell 91, 92.  
 Meissner 129.  
 Meridionale Spalten 118,  
   132.  
 Mesosauriden 58, 73.  
 Meyer, O. E. 114.  
 Michael 92.  
 Michaelsen 54, 55, 60.  
 Milankovitch 78.  
 Mittelatlantische Boden-  
   schwelle 42.  
 Mohn 16.  
 Molengraaff, G. A. 47, 43.  
 Monotremen 61.  
 Moore 70.  
 Moränen 38.  
 Mozambique 43.  
 Mylius-Erichsen 79.  
**N**athorst 57, 65.  
 Nautilus 54.  
 Nellore 43.  
 Neufundland 41.  
 Neuguinea, Tiefenkarte 47  
 Neumayr 51, 65, 114.  
 Neupommern 47, 48, 98.  
 Neuseeländische Faltung 46.  
 Nife 101.  
 Niger 32; -Mündung 40.  
 Nippoldt 22.  
 Nordwestgrönland 40.  
**O**bst 115.  
 Ohrenrobbe 54.  
 Oldham 65.  
 Old Red 39, 74.  
 Omori 24.  
 Opossum 60.  
 Ortman 51.  
 Osborn 51.  
 Ostafrikanische Graben-  
   brüche 45, 114.  
 Otagosattel 49.  
**P**aläoklimatische Argu-  
   mente 62.  
 Paläontologische Argu-  
   mente 51.  
 Palmen 63.  
 Panamabrücke 54.  
 Panthalassa 102.  
 Parana 33.  
 Passage 35, 74.  
 Pataonien 35.  
 Pazische Lava 96, 129.  
 Peo 91.  
 Peck, A. 15, 28, 37, 67,  
   76, 77, 90, 102.  
 Peck, V. 108, 129.  
 Pndulationstheorie 65.  
 Bramels 61.  
 Jeriphae Magmenherde  
   105.  
 Perlewit 99.  
 Perlmuschel 56.  
 Permanzlehre 4 ff., 18.  
 Permokarbonische Eiszeit  
   65.  
 Peter d. Großen-Gebirge 43.  
 Pfeffer, J. 12, 25.  
 Perhetima 61.  
 Pickering 7.  
 Plattwürmer 60.  
 Polfucht 130; -kraft 132  
   —136.  
 Pollagen 75.  
 Polschwankungen 88.  
 Polverschiebungen 83—84,  
   138—140.  
 Potamochoerus 42.  
 Potonié, H. 70, 102.  
 —, R. 69.  
 Pratt 16, 25, 118.  
 Präzessionstheorie 136, 137.  
 Principe 41.  
**Q**uerschnitt der Erde 101.  
 — einer Sialscholle 105.  
 Quitzow 92.  
**R**aclot 22.  
 Radiolarite der Alpen 14.  
 Radium 9, 96.  
 Ramann 70.  
 Read 112.  
 Red beds 74.  
 Regenwürmer 55, 56, 60,  
   61, 63.  
 Regressionen 85.  
 Reibisch 65, 85.  
 Rekonstruierte Erdkarten  
   4, 5.  
 Reptilien (Europa, Nord-  
   amerika) 55.  
 Reyer 10.  
 Richthofen, v. 125.  
 Robesonkanal 39.  
 Rotes Meer 114.  
 —, Schweremess. 117.  
 Rücker, A. W. 22.  
 Rudzki 7, 9, 10, 15, 83, 84,  
   120, 127.  
**S**abine 79.  
 Sagopalme 64.  
 Sal 25.  
 Salter 56.  
 Salz 63, 73.  
 Sandsteine 63.  
 San Franzisko, Erdbeben-  
   spalt. 127.  
 San Thomé 41.  
 Sapper 48.  
 Schardt 8.  
 Scharff 57.



- Schelfbrücken 13.  
 Schelfe 1.  
 Schichten des Erdkörpers 88.  
 Schlichtheit des Tiefseebodens 27.  
 Schmelzpunkt 92, 94.  
 Schmidt, Ad. 22.  
 Schneegrenze in Tasmanien 76.  
 Schott, G. 42, 99, 122.  
 Schreibkreide 14.  
 Schrumpfung 8.  
 Schuchert 51.  
 Schwarz, E. H. L. 7, 136.  
 Schwarzschild 7.  
 Schwere 16.  
 — in Gebirgen 108.  
 — auf Inseln 119.  
 — auf den Ozeanen 16, 22.  
 Schwereanomalie 109.  
 Schwerestörung am Kontinentalrand 119.  
 — über d. Tongarinne 99.  
 Schweydar 17, 25, 88—90, 94, 135—138, 140.  
 Sedimentdecke, Mächtigkeit 101, 102.  
 See 7.  
 Seekuh *Manatus* 58.  
 Seismische Wellen, Fortpflanzung unter Kontinenten und Ozeanen 23.  
 Semper 57, 65, 73, 85.  
 Seychellen 40, 97.  
 Sial 25.  
 Sialsphäre 100.  
 Siegellack 89, 90.  
 Sierren v. Buenos Aires 29.  
 Sima 25.  
 Simroth 61, 65, 66.  
 Skottsberg 59.  
 Somalihalbinsel 45.  
 Sörgel 18, 20, 61.  
 Spaltung 116.  
 Spezifisches Gewicht von Sial und Sima 26.  
 Spitzbergen 39, 63.  
 Staffelfalten 113.  
 Steinkohlen 70—72.  
 Steinmann 77, 102.  
 Strandlinien 16.  
 Streichrichtungen in Brasilien und Afrika 32.  
 Stremme 70.  
 Stromer 57, 58.  
 Strömungen im Sima 97.  
 Strutt 9, 78.  
 Submarine Eruptionen 95.  
 Sudan 32.  
 Südantillenbogen 49, 50.  
 Südatlantik, Küstenkongruenz 1.  
 Süd-Georgien 50.  
 Süd-Sandwich-Inseln 49.  
 Suess, E. 8, 25, 33, 35—37, 43, 46, 101, 106.  
 Sunda-Inseln 47, 48.  
**T**alg 91.  
 Tams 23, 24, 127.  
 Tanganikasee 115, 116.  
 Tapir 64.  
 Tasmanien 76.  
 Tauchgleichgewicht 15.  
 Taylor, F. B. 7, 65, 130.  
 Tektonische Karte von Südamerika 34.  
 Temperatur des Erdinnern 92.  
 Termier 37.  
 Tharr-Wüste 43.  
 Tiefen der Ozeane 95.  
 Tiefsee, Entstehung 103.  
 —, Boden 3, 94.  
 —, Rinnen 98, 124.  
 —, Sande 42.  
 —, Sedimente 95, 96.  
 Tienschan 43.  
 Tilmann 37.  
 Toit, du 32.  
 Tongarinne 99.  
 Trabert 19.  
 Transatlantische Altaien 37.  
 — Längenbestimmung 9.  
 Transgressionen 35—8, 139.  
 Trigonia 54.  
 Triulzi 117.  
 Tundrenflora 62.  
**Ü**berschiebung 8, 13.  
 Ubisch, v. 14, 54, 6.  
 Uhlig 51, 114.  
 Unterseeische Lavaergüsse 95.  
**V**ellakondagebirge 43.  
 Verschiebende Kräfte 129.  
 Verschiebungsbeträge 79.  
 Vogt 92.  
 Vorderindien 43.  
 Vortiefe 111.  
 Vulcano 95.  
 Vulkane 105, 106.  
 Vulkanismus d. Girlanden 106.  
 Vuuren, van 48.  
**W**aagen, L. 68, 85.  
 Wachs 91.  
 Wagner, H. 19, 20.  
 Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen 38.  
 Walcott 56.  
 Wallace 60, 61.  
 Walther, 65, 103.  
 Wanner 48.  
 Warming 57.  
 Weiche Körper 91.  
 Westantarktis 49.  
 Westwanderung 130, 131.  
 Wettstein 6, 136.  
 Whitmann 26.  
 Wiechert 88.  
 Wilckens 46, 49, 53.  
 Wilde, H. 22.  
 Willis 15, 18, 51, 121.  
 Windhausen 35.  
 Wittich 127.  
 Wolff, v. 9.  
 Woodworth 32.  
**Y**aprinne 99.  
 Yokoyama 65.  
**Z**ähflüssigkeit des Erdkörpers 82.  
 Zähigkeitskoeffizient 88.  
 Zeiträume 77, 78.  
 Zschokke 60.  
 Zusammenschub, Betrag 107.  
 Zuspitzung der Kontinente nach Süden 118.  
 Zwarten Berge 29.