

Geologische Vereinigung.

Die Entstehung der Kontinente ¹⁾.

Von Dr. Alfred Wegener (Marburg i. H.).

Mit 3 Textfiguren.

(Vortrag gehalten auf der Hauptversammlung zu Frankfurt a. M. am 6. I. 1912.)

I. Vorbemerkung.

Im folgenden soll ein erster Versuch gemacht werden, die Grossformen der Erdrinde, d. h. die Kontinentaltafeln und die ozeanischen Becken, durch ein einziges umfassendes Prinzip genetisch zu deuten, nämlich das der horizontalen Beweglichkeit der Kontinentalschollen. Überall, wo wir bisher alte Landverbindungen in die Tiefen des Weltmeeres versinken liessen, wollen wir jetzt ein Abspalten und Abtreiben der Kontinentalschollen annehmen. Das Bild, welches wir so von der Natur unserer Erdrinde erhalten, ist ein neues und in mancher Beziehung paradoxes, entbehrt aber nicht der physikalischen Begründung. Und andererseits enthüllt sich uns schon bei der hier versuchten vorläufigen Prüfung eine so grosse Zahl überraschender Vereinfachungen und Wechselbeziehungen, dass es mir nicht nur als berechtigt, sondern geradezu als notwendig erscheint, die neue, leistungsfähigere Arbeitshypothese an Stelle der alten Hypothese der versunkenen Kontinente zu setzen, deren Unzulänglichkeit ja bereits durch die Gegenlehre von der Permanenz der Ozeane evident erwiesen ist. Trotz der breiten Grundlage möchte ich das neue Prinzip als Arbeitshypothese behandelt sehen, bis es gelungen sein wird, das Andauern dieser Horizontalverschiebungen exakt durch astronomische Ortsbestimmung nachzuweisen. Auch wolle man bei der Beurteilung von Einzelheiten beachten, dass bei einem ersten Entwurf wie diesem, der einen so umfassenden Stoff behandelt, sich einzelne Missgriffe schwer vermeiden lassen.

Zunächst soll auf Grund allgemein geologischer und geophysikalischer Ergebnisse die Frage erörtert werden, ob und wie überhaupt grössere Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen in der scheinbar starren Erdrinde vor

¹⁾ Das folgende ist nur ein Auszug aus einer grösseren Arbeit gleichen Titels, die in PETERMANN'S Mitteilungen erscheint. Der wesentliche Inhalt dieser Untersuchungen wurde am 6. Januar 1912 auf der Jahresversammlung der Geologischen Vereinigung in Frankfurt a. M. vorgetragen unter dem Titel: „Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage“, und weiter am 10. Januar in der Ges. z. Beförd. d. gesamten Naturwiss. zu Marburg unter dem Titel: „Horizontalverschiebungen der Kontinente“.

sich gehen können¹⁾. Sodann wollen wir einen ersten Versuch wagen, die bisherigen Spaltungen und Verschiebungen der Kontinentalschollen in der Erdgeschichte zu verfolgen und ihren Zusammenhang mit der Entstehung der Hauptgebirgszüge aufzudecken, und schliesslich werden wir die damit Hand in Hand gehenden Polverlagerungen und die noch heute fortdauernden, messbaren Verschiebungen kurz besprechen.

Es sei bemerkt, dass die Idee des Abreissens der Festländer voneinander schon öfter aufgetreten ist. W. H. PICKERING macht davon Gebrauch im Zusammenhang mit der offenbar unrichtigen Hypothese der Abtrennung des Mondes von der Erde, bei welcher Gelegenheit Amerika von Europa-Afrika abgerissen sein soll. Wichtiger ist eine Arbeit von TAYLOR²⁾, welcher Abspaltungen im Tertiär annimmt — namentlich Grönlands von Nordamerika — und die Aufwerfung der tertiären Kettengebirge damit in Zusammenhang bringt. Beim Atlantik nimmt er an, dass nur ein beträchtlicher Teil desselben durch Fortziehen der amerikanischen Schollen entstanden sei, und dass die mittelatlantische Bodenschwelle der stehengebliebene Rest der Verbindung sei, während wir im folgenden die Küsten unmittelbar als ehemalige Spaltenränder auffassen werden. Es finden sich also bei TAYLOR bereits manche Anklänge an die im folgenden ausgeführten Vorstellungen, doch hat er den immensen Umfang von Konsequenzen, welche die Annahme solcher Horizontalverschiebungen mit sich führt, wohl kaum erkannt.

II. Geophysikalische Argumente.

Schon 1878 beschrieb HEIM die Kontinente als „mächtige, breite Sockel“. In der Tat zeigt die bekannte „hypsographische Kurve der Erdoberfläche“³⁾ mit grosser Deutlichkeit, dass es zwei bevorzugte Niveaus gibt, nämlich die Oberfläche der Kontinente (700 m über) und den Boden der Tiefsee (4300 m unter dem Meeresspiegel). Die niedrigsten Teile der Kontinentalfeln liegen noch bis zu 500 m unter dem Meeresniveau (Schelfe). Hinsichtlich der Entstehung dieser tafelförmigen Erhöhungen der Erdrinde stehen die europäischen Geologen wohl zum grossen Teil noch immer auf dem Standpunkt der Kontraktionstheorie, die durch den trocknenden Apfel so drastisch veranschaulicht wird, und die SUSS in den Satz zusammenfasst: „Der Zusammenbruch des Erdballs ist es, dem wir beiwohnen“⁴⁾. Seitdem HEIM für diese bisher wohl nützliche Anschauung ins Feld trat, haben sich aber gewichtige Bedenken gegen sie erhoben, und E. BÖSE z. B. charakterisiert den heutigen Zustand dahin, dass „die Kontraktionstheorie längst nicht mehr voll anerkannt wird und einstweilen keinerlei Theorie gefunden ist, die sie vollständig ersetzen und alle Umstände erklären kann“⁵⁾. Besonders seitens der Geophysik muss die Kontraktionstheorie abgelehnt werden. Man hat nicht einmal das scheinbar über allen Zweifeln stehende Ausgangsprinzip: „Die Erde muss sich abkühlen“ unangetastet gelassen, da von der Radiumforschung die Frage aufgeworfen ist, ob die Temperatur des Erdinnern nicht im Steigen begriffen ist⁶⁾. Seitdem man mit grosser Wahrscheinlichkeit sagen kann, dass der Erdkern aus bereits äusserst komprimiertem Nickelstahl besteht, erscheint überhaupt eine blosse Abkühlung nicht mehr aus-

¹⁾ Dieser Teil ist besonders stark gekürzt. Es sei ein für allemal auf die ausführlichere Darstellung in PETERMANN'S Mitt. hingewiesen.

²⁾ F. B. TAYLOR, Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan. Bull. of the Geolog. Soc. of America. 21. June 2. 1910. p. 179 bis 226.

³⁾ Siehe KRÜMMEL, Handbuch der Ozeanographie I. Stuttgart 1907. S. 87.

⁴⁾ SUSS, Das Antlitz der Erde. Bd. I. 1885. S. 778.

⁵⁾ E. BÖSE, Die Erdbeben. Sammlung: Die Natur. Ohne Jahreszahl. S. 16 Anmerkung.

⁶⁾ RUDZKI, Physik der Erde. Leipzig 1911. S. 122.

reichend, um die grossen Falten der Erdrinde zu erklären, namentlich seitdem ihre Grösse in dem Deckfaltenbau richtig erkannt ist. Der starke Gewölbedruck, der imstande sein sollte, die Schrumpfung eines ganzen grössten Kreises auf eine Stelle desselben zu übertragen, hat sich als physikalisch unmöglich herausgestellt; denn die Molekularkräfte (Druckfestigkeit) reichen nicht einmal aus, um einer 100 km breiten Scholle, die über eine andere fortgeschoben werden soll, den Zusammenhang zu bewahren. „Die Gesteinsscholle würde sich nicht vom Fleck rühren, sondern in Stücke zerbrechen“ (RUDZKI), oder, wie LOUKASCHEWITSCH sich ausdrückt: „Les forces molaires l'emportent sur les forces moléculaires“¹⁾. Die Erdoberfläche könnte auf diese Weise nur eine sehr schwache und vor allem ganz gleichmässige Runzelung erhalten, wie auch AMFFERER²⁾, REYER³⁾ u. a. mit Recht gefordert haben. Weiter ist wohl schwer einzusehen, wie derselbe Vorgang der Kontraktion der Erde das eine Mal zur Runzelung, das andere Mal aber zum Absinken enormer Schollen und zur Horstbildung führen soll. Vor allem werden diese Vorstellungen aber widerlegt durch die Schweremessungen, nach denen der Boden der Ozeane aus spezifisch schwererem und also chemisch anderem Material besteht wie die Kontinentalschollen. Indem man dieses unabweisbare Ergebnis zusammenhielt mit der immer klarer erkannten Tatsache, dass alle oder fast alle Sedimente auf den Kontinentaltafeln seit den Transgressionen entstammen, kam man zu der bedenkliehen Lehre von der Permanenz der Ozeane, die sich hauptsächlich an die Namen DANA und WALLACE knüpft, und welche BAILEY WILLIS bereits „outside the category of debatable questions“ stellen möchte⁴⁾. Die europäischen Geologen weigern sich aber mit Recht, diese Lehre anzunehmen, da wir durchaus nicht umhin können, für die Vorzeit breite Landbrücken quer über die Ozeane anzunehmen, und ziehen es vor, den geophysikalischen Argumenten eine unberechtigte Skepsis entgegenzubringen zugunsten des „Zusammenbruchs des Erdballs“. Beide Parteien ziehen also aus guten Argumenten zu weit gehende Schlüsse. Wir werden zu zeigen versuchen, dass die berechtigten Forderungen beider durch die Annahme von Spaltungen und Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen erfüllt werden.

Die Schweremessungen auf den Ozeanen, namentlich diejenigen von HECKER, haben gezeigt, dass der Boden derselben nicht nur aus überhaupt schwererem Material besteht wie die Kontinentaltafel, sondern dass dasselbe gerade so schwer ist, dass Druckgleichgewicht herrscht, d. h. dass das Massendefizit des leichten Meerwassers gerade durch den Massenüberschuss der Ozeanböden kompensiert wird. Über diese Hypothese der Isostasie hat sich bekanntlich eine grosse Zahl von Untersuchungen entsponnen, sowohl über ihre Berechtigung wie über ihren Gültigkeitsbereich. Ich gehe darauf nicht ein, sondern präzisiere nur die für das folgende zugrunde gelegte Auffassung dahin, dass für grosse Räume, wie z. B. Kontinente und Ozeane, oder für grosse Gebirgsmassive, stets Isostasie anzunehmen ist, während einzelne Berge, insbesondere Tafelberge, oft durch die Elastizität der ganzen Scholle getragen werden und also nicht isostatisch kompensiert sind. Letzteres trifft auch noch bei einzelnen anderen Gebilden zu, deren Tektonik noch unbekannt ist.

Man kann sich die Grenze zwischen dem leichten Material der Kontinentalschollen und dem schweren der Ozeanböden in verschiedener Weise vorstellen. Bisher ist am meisten die schon von AIRY im Jahre 1855 entwickelte, dann von

¹⁾ LOUKASCHEWITSCH, Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents. St. Pétersbourg 1911. S. 7.

²⁾ AMFFERER, Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. d. Kais. Kgl. Geol. Reichsanstalt. 56. Wien 1906. S. 539–622.

³⁾ REYER, Geologische Prinzipienfragen. Leipzig 1907. S. 140 ff.

⁴⁾ BAILEY WILLIS, Principles of paleogeography. Science, N. S. Vol. 31. No. 790. S. 241–260. 1910.

STOKES und anderen aufgenommene und noch jüngst von LOUKASCHEWITSCH ausgebaut Vorstellung benutzt worden, dass auf einem schweren Magma eine leichtere Lithosphäre schwimmt, die unter den Kontinenten dick, unter den Ozeanen dünn ist. Wir werden im folgenden von einer anderen Annahme ausgehen, welche durchaus gleichberechtigt ist und, wie gezeigt werden wird, grosse andere Vorzüge besitzt. Sie ist in der nebenstehenden Figur veranschaulicht; Die Kontinente bilden lediglich Bruchstücke einer Lithosphäre, welche in einer schweren Materie eingebettet sind.

Die Mächtigkeit der Kontinentalschollen kann zu rund 100 km angenommen werden. HAYFORD fand aus den Lotabweichungen in den Vereinigten Staaten, freilich unter nicht ganz einwandfreien Annahmen, den Wert von 114 km. HELMERT gelangte auf einem ganz anderen Wege, nämlich auf Grund der Pendelbeobachtungen am Rande der Kontinentaltafeln, fast zu derselben Zahl, nämlich 120 km, und wieder zu demselben Resultat ist KOHLSCHÜTTER jüngst auf gleichem Wege gelangt. Wenn wir also 100 km als ungefähren Mittelwert betrachten dürfen, so sind wohl für manche Stellen der Erde Werte bis zu 50 km herab, für andere aber solche von 200 km oder mehr zu erwarten. Denn den wechselnden Seehöhen an der Oberfläche wird eben aus isostatischen Gründen auch eine stark wechselnde Mächtigkeit der leichten Scholle entsprechen. Zu ähnlichen Ergebnissen, wenn auch mit noch grösserer Unsicherheit in Bezug auf das Zahlenergebnis, ist man in der Erdbebenforschung gekommen, und zwar nicht nur durch die Diskussion der in den Hauptwellen nachweisbaren Eigenschwin-

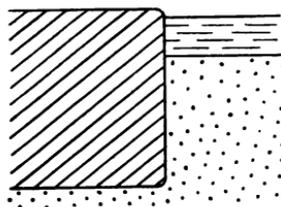


Fig. 1. Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

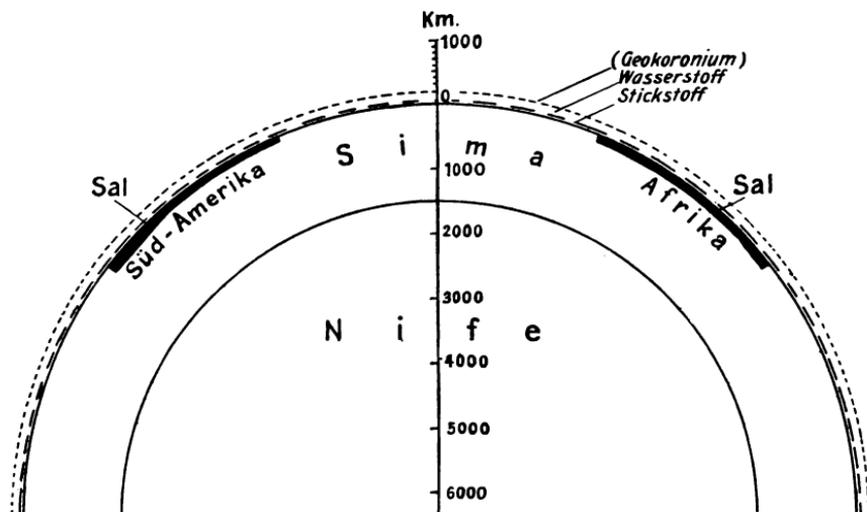


Fig. 2. Schnitt im grössten Kreise durch Südamerika und Afrika, in getrennten Grössenverhältnissen.

gungen des Erdbodens (WIECHERT), sondern auch mit Hilfe der Reflexion der Erdbebenstrahlen, und endlich mit Hilfe der Tiefe des Bebenherdes.

Zur Veranschaulichung der Grössenverhältnisse ist in Figur 2 ein Querschnitt (auf grösstem Kreise) der Erde zwischen Südamerika und Afrika in ge-

treuen Grössenverhältnissen gegeben. Die Unebenheiten der Erdoberfläche, auch die grosse Vertiefung des Atlantischen Ozeans, sind so gering, dass sie sich innerhalb der Dicke der die Erdoberfläche darstellenden Kreislinie abspielen. Zum Vergleich enthält die Figur auch noch den WICHEART'schen Eisenkern und die Hauptschichten der Atmosphären: Stickstoffsphäre, Wasserstoffsphäre und die nach aussen unbegrenzte Sphäre des hypothetischen Geokoroniums; die Zone der Wolken (Troposphäre) ist nicht mächtig genug, um zur Darstellung gelangen zu können.

Es ist zunächst notwendig, sich darüber klar zu werden, dass die Sedimente nur einen unwesentlichen Anteil an dem Aufbau der Kontinentalschollen haben. Zwar wird oft die Gesamtmächtigkeit der Sedimente zu vielen Kilometern angegeben, allein dies sind Maximalwerte, denen andere Gebiete gegenüberstehen, wo das Urgestein jeder Sedimentdecke entblösst ist. Aber erst, wenn wir die Isostasie berücksichtigen, gewinnen wir ein deutliches Bild davon, wie wenig die Sedimente für diese grosszügigen Formen in Betracht kommen. Würden wir nämlich die Sedimentdecke der ganzen Erde beseitigen, so würden die Schollen überall fast wieder bis zur selben Oberfläche emporsteigen, so dass das Relief der Erdoberfläche nur wenig verändert würde. Hieraus ist ersichtlich, dass die Kontinentalschollen Formen einer höheren Ordnung darstellen, gegenüber welcher Erosion und Sedimentation nur die Rolle sekundärer Oberflächenerscheinungen spielen. Ihr Material bildet das Urgestein, dessen „Ubiquität“ trotz mancher Bedenken nicht abzuleugnen ist. Halten wir uns an die Hauptvertreter, so können wir sagen, die Kontinentalschollen bestehen aus Gneis.

Für dieses Material hat SUSS im 3. Bande seines grossen Werkes „Das Antlitz der Erde“ (S. 626) den Namen Sal eingeführt, während er die vulkanischen Eruptivgesteine als Sima bezeichnet. Die letzteren unterscheiden sich nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch von dem ersteren. Sie sind, wie wohl stark variierend, im Durchschnitt schwerer wie die salischen Gesteine und haben einen ca. 200–300° höheren Schmelzpunkt. Die Annahme liegt von vornherein nahe, dass das schwerere Material der Ozeanböden mit diesem Sima identisch ist und diese Vermutung stimmt auch numerisch mit den spezifischen Gewichten. Ist 2,8 das der Kontinentalschollen, so berechnet man leicht aus der Tiefe des Eintauchens, dass die Ozeanböden das Gewicht 2,9 haben müssen, und dies ist in der Tat ein guter Durchschnittswert der simischen Gesteine.

Bei einer weiteren Diskussion der physikalischen Eigenschaften dieses Gesteinmaterials sowie der Temperaturen, die wir im Erdinneren annehmen müssen, kommt man zu dem Schluss, dass beide Materialien, Sal wie Sima, plastisch sein müssen. Es handelt sich dabei um die paradoxen Eigenschaften sehr zäher Flüssigkeiten, für die z. B. schwarzes Pech ein extremes Beispiel liefert: Lässt man ein Stück längere Zeit liegen, so fliesst es unter seinem eigenen Gewicht auseinander; kleine Bleikugeln sinken in ihm im Laufe der Zeit unter; aber unter einem Hammerschlage zerspringt es wie Glas. Die Zeitdauer der wirkenden Kräfte ist also bei solchen Stoffen ein ausserordentlich wichtiger Faktor. — Zieht man alles in Betracht, so kommt man zu dem Schluss, dass von physikalischer Seite her kein Grund vorliegt, die Möglichkeit ausserordentlich langsamer, aber gleichwohl grosser Horizontalverschiebungen der Kontinente zu bestreiten, sofern Kräfte vorhanden sind, welche während geologischer Zeiträume unverändert im selben Sinne wirken.

Da jede Gebirgsbildung einen Zusammenschub der Kontinentalschollen darstellt, durch welche ihre Oberfläche verkleinert und ihre Dicke vergrössert wird, und da diese Gebirgsbildung in allen geologischen Perioden tätig gewesen ist, so erklärt sich auf diese Weise auch das allmähliche Emporртаuchen der Kontinente aus den Ozeanen. Dieser Prozess ist notwendig ein einseitiger; denn ein Zug wird niemals bewirken können, dass ein erfolgter Zusammenschub wieder rückgängig gemacht wird, sondern nur zur ZerreiSSung der Scholle führen. Wir haben hier also einen fortschreitenden Prozess, durch den die einst wahrscheinlich geschlos-

sene salische Erdrinde fortwährend an Oberfläche und Zusammenhang verliert und dafür an Mächtigkeit gewinnt. Die nebenstehende Figur 3 erläutert die aus dieser Auffassung zu folgernden hypsographischen Kurven der Erdoberfläche für die Vorzeit und die Zukunft: Während im Uranfang eine etwa 3 km tiefe „Panthalassa“ die ganze Erdoberfläche bedeckt, beginnt das Meer mit dem Schwellen der Kontinentalschollen sich in Flachsee und Tiefsee zu spalten, bis die Kontinente auftauchen, was heute noch nicht ganz beendet ist, sondern erst nach einer Hebung von einem weiteren halben Kilometer abgeschlossen sein wird. So erklärt sich auch, dass die Transgressionen der Vorzeit grössere Ausdehnung gehabt haben als die heutigen.

Bei der Abspaltung von Schollen muss das darunter liegende, hoch temperierte Sima entblöset werden, was zu submarinen Lavaergüssen führen wird. Namentlich scheint dies z. B. der Fall zu sein bei der mittelatlantischen Bodenschwelle. Da sich aber submarine Eruptionen fast geräuschlos zu vollziehen pflegen, und das schwere Sima nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren nur soweit aufsteigen wird, bis Isostasie herrscht, wenn nicht besondere Druckkräfte es höher treiben, so wird die Öffnung einer Spalte keineswegs zu katastrophalen Erscheinungen zu führen brauchen, ja es werden diese „Rückseiten“ bewegter Schollen prinzipiell arm an Vulkanen sein müssen im Vergleich zu den Vorderseiten, wo der Druck vorherrscht. Damit hängt vielleicht auch die namentlich von GEIKIE und BRANCA betonte Unabhängigkeit der Vulkane von Spalten zusammen.

Nach dem Gesagten werden wir erwarten müssen, dass die durch grosse Horizontalverschiebungen ausgezeichneten Perioden der Erdgeschichte auch gesteigerten Vulkanismus, die Perioden der Ruhe nur geringen Vulkanismus zeigen. Es sei vorgreifend erwähnt, dass in der Tat die Zeit der grössten von uns angenommenen Verschiebungen, nämlich die Tertiärperiode, durch starken Vulkanismus ausgezeichnet ist, während die vorangehende Jura- und Kreidezeit in beiden Beziehungen eine Periode der Ruhe darstellt.

Die Ursache der Verschiebungen anzugeben sind wir gegenwärtig wohl noch nicht in der Lage. Es liegt sehr nahe, die Mondflut im Erdkörper zur Erklärung heranzuziehen, wofür besonders die Vorliebe für meridionale Spaltenbildung spricht. Letztere äussert sich auch in einer oft hervorgehobenen Eigentümlichkeit der Kontinentalformen, nämlich ihr spitzes Auslaufen nach den Polen zu. Am deutlichsten ist dies heute in den Gegenden des alten Südpols (siehe unten) zu erkennen, wo seit den grossen Aufspaltungen die Konturen nicht wieder durch Druck gestört wurden; aber auch an der Stelle, wo wir den Nordpol in früheren Zeiten anzunehmen haben, nämlich an der Beringstrasse, laufen die Festlandschollen spitz aus, nur scheint hier infolge Zusammenschubs die Kontur nicht rein erhalten geblieben zu sein. — Vermutlich wird man einstweilen gut tun, die Verschiebungen der Kontinente als Folgen zufälliger Strömungen im Erdkörper zu betrachten; die Zeit scheint mir für eine Analyse der Ursachen noch nicht reif zu sein.

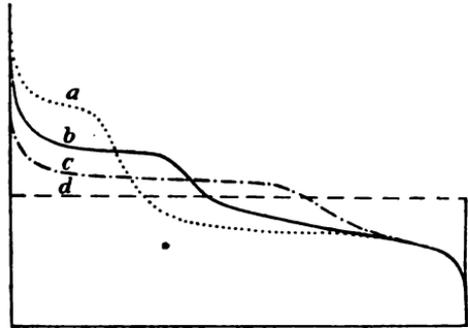


Fig. 3. Hypsographische Kurven der Erdoberfläche, *a* für die Zukunft, *b* die Gegenwart, *c* die Vorzeit, *d* im Urzustand (zugleich mittleres Krustenniveau).

III. Geologische Argumente.

1. Grabenbrüche. Bevor wir es unternehmen, die von uns angenommenen Prozesse der Zerteilung und des Zusammenschubs der Kontinentalschollen in der Erdgeschichte zu verfolgen, sei nochmals darauf aufmerksam gemacht, dass ein solcher erster, tastender Versuch notgedrungen in manchen Punkten unvollständig, in anderen vielleicht unrichtig ausfallen wird. Gleichwohl muss der Versuch gewagt werden. Denn sind erst einmal die Hauptgesichtspunkte festgelegt, so wird es der Forschung nicht schwer fallen, die Fehler auszumergen.

Bei der Tektonik der Grabenbrüche hat man bisher die Schweremessungen noch wenig berücksichtigt und begnügt sich meist damit, festzustellen, dass die obersten Schichten der Erde hier längs einer Linie abgesunken sind. Da die Schweremessungen aber zeigen, dass in den meisten Fällen unter dem Graben Material von grösserem spez. Gewicht liegt als neben ihm, so müssen wir annehmen, dass wir es mit einer Spalte in der Kontinentalscholle zu tun haben, in welcher das schwere Sima soweit aufgestiegen ist, dass Isostasie herrscht. Wie leicht zu berechnen ist, wird dies bereits der Fall sein, wenn das Sima noch $3\frac{1}{2}$ km unter der Oberfläche des Kontinents liegt, und eine so tiefe Spalte wird sich natürlich durch seitliches Abrutschen der Spaltenränder (Staffelbrüche) ausfüllen, so dass das Auftreten von Oberflächenschichten am Boden des Grabens, wie es z. B. nach LEPSIUS die Bohrungen in der Oberrheinischen Tiefenebene zeigen, nicht zu verwundern ist. Wir können meines Erachtens alle Grabenbrüche in dieser Weise als beginnende Abspaltungen deuten, wobei dahingestellt bleiben mag, ob es sich um wirklich rezente Gebilde handelt, oder um frühere Versuche einer Abspaltung, die aber infolge Erlahmens der treibenden Kräfte wieder zur Ruhe gekommen sind. Ein sehr interessantes Beispiel hierfür bilden die ostafrikanischen Gräben und ihre Fortsetzung durch das rote Meer bis zum Jordantal, welche SUESS bereits aus rein geologischen Gründen als grosse Spalten aufgefasst hat¹⁾. KOHLSCHÜTTER hat in diesem Gebiet eine Reihe von Schweremessungen ausgeführt²⁾, nach denen die Mehrzahl der Gräben nicht isostatisch kompensiert ist, sondern ausser dem sichtbaren Defekt noch eine darunter liegende Auflockerung enthält. Damit haben wir ganz das Bild von Spalten, die von oben her in die Kontinentalscholle eindringen, aber sie nicht vollständig durchsetzen, so dass das schwere Sima noch nicht in ihnen emporgedrungen ist. Die dem Kontinentalrande nächsten Gräben zeigten sich aber als isostatisch kompensiert, d. h. hier ist offenbar das schwere Sima bereits in der Spalte emporgestiegen, und dasselbe gilt auch für die ja erheblich breitere Spalte des roten Meeres, wie bereits von TRIULZI und HECKER gefunden wurde.

2. Atlantik und Anden. Die grosszügige Parallelität der Küsten des Atlantik ist ein nicht zu unterschätzendes Argument für die Annahme, dass dieselben die Ränder einer ungeheuer erweiterten Spalte darstellen. Schon bei flüchtiger Betrachtung der Karte erkennt man, wie sich hüben und drüben Gebirge (Grönland-Skandinavien), Bruchzonen (Mittelamerika-Mittelmeer) und Tafelländer (Südamerika-Afrika) entsprechen, letztere mit noch fast kongruenten Konturen.

Und noch mehr: In den Teilen, die uns am besten bekannt sind, nämlich Europa und Nordamerika, herrscht auch im einzelnen fast völlige Übereinstimmung. SUESS hat diese Beziehungen an verschiedenen Stellen seines grossen Werkes besprochen³⁾. Die nördlichste Zone besteht beiderseits aus Gneis; auf europäischem Boden ist es die Gneiszone der Lofoten und Hebriden, im Westen liegt das fast nur aus Gneis bestehende Massiv Grönlands, und auch noch die W-Küste der Davis-Strasse und Baffins-Bay besteht aus einem Gneisgebirge

¹⁾ E. SUESS, Beiträge zur geologischen Kenntnis des östlichen Afrika. Die Brüche des östlichen Afrika. Wien 1881.

²⁾ E. KOHLSCHÜTTER, Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. Vorläufige Mitteilung. Mitt. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1911.

³⁾ Antlitz der Erde II. 164; III 60 u. 77.

das durch Cumberland und Labrador bis an die Belle-Isle-Strasse nach Süden hinabreicht.

Am schlagendsten sind aber die zuerst von MARCEL BERTRAND 1887 aufgedeckten Beziehungen, welche sich für die südlich daran grenzenden Faltenzüge eines karbonischen Gebirges, von SUESS das armorikanische Gebirge genannt, ergeben, und welche die Kohlenlager Nordamerikas als die unmittelbare Fortsetzung der europäischen erscheinen lassen. Dies heute zum Teil schon stark eingeebnete Gebirge zieht sich in Europa, aus dem Innern des Kontinents kommend, in bogenförmigem Verlauf zuerst gegen WNW, dann gegen W, um an der SW-Küste von Irland und der Bretagne jäh abzubrechen, eine wild zerrissene Küste (sog. Rias-Küste) bildend. „Allen sonstigen Erfahrungen widersprechend wäre die Annahme, dass die Rias-Küste zwischen Dingle-Bay und La Rochelle das natürliche Ende dieses mächtigen Aufbaues sei. Seine Fortsetzung ist unter dem atlantischen Ozean und jenseits desselben zu suchen (SUESS).“

Die Fortsetzung auf amerikanischer Seite bilden die Ausläufer der Appalachen auf Nova Scotia und Neu-Fundland. Hier endigt gleichfalls ein karbonisches Faltengebirge, ebenso wie das europäische nach Norden gefaltet, jäh in Gestalt einer typischen Rias-Küste im Meer, nachdem es aus nordöstlicher zuvor östliche Richtung angenommen hat. Fauna und Flora beiderseits zeigen nicht nur für die karbonische Zeit, sondern auch für die älteren Schichten eine mit wachsendem Beobachtungsmaterial immer klarer erkannte Identität. Auf die zahlreichen Arbeiten hierüber von DAWSON, BERTRAND, WALCOTT, AMI, SALTER u. a. können wir hier nicht eingehen.

Das Abbrechen dieser „transatlantischen Altaiden“, wie SUESS sie auch nennt, an sich gerade gegenüberliegenden Stellen bildet den schlagendsten Beweis für die Zusammengehörigkeit der Küsten. Für die ältere Annahme, dass die verbindende Gebirgskette im Atlantik versunken sei, bildet, wie PENCK hervorgehoben hat, schon der Umstand eine Schwierigkeit, dass das fehlende Stück des angenommenen Gebirges länger sein müsste als seine bekannte Erstreckung.

Weiter im Süden sind die Gebiete noch zu wenig geologisch erforscht, um genaue Vergleiche zuzulassen. Doch hat z. B. LE GENTIL die Fortsetzung des Hohen Atlas in den kanarischen und kapverdischen Inseln und in den Antillen sehen zu können geglaubt. Durch einen Vergleich der Floren kam ferner ENGLER zu dem Resultat, dass Kontinentalverbindung gerade zwischen den der Küstenkontur nach zusammengehörigen Punkten, nämlich dem nördlichen Brasilien südöstlich der Mündung des Amazonas und der Bai von Biafra (Kamerun) bestanden haben muss, und SUESS fand bei einem Vergleich der beiderseits am Südatlantik anstehenden Sedimente (soweit sie bekannt sind) eine „auffallende Übereinstimmung“ mit ENGLER's Ergebnis. Doch bleibt der detaillierte Vergleich hier noch der Zukunft vorbehalten.

Ausser diesem sozusagen anatomischen Befund interessieren uns hier noch zwei Fragen, welche dem Fernerstehenden vielleicht sogar als besonders wichtig erscheinen, aber gleichwohl hier nur sehr kurz behandelt werden sollen. Es ist einmal die Frage, ob wir überhaupt auf Grund der paläontologischen Befunde einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Amerika einerseits und Europa-Afrika andererseits bis zu einem bestimmten Zeitpunkt anzunehmen haben, und zweitens, wenn dies der Fall ist, wann die Trennung vor sich ging. Beide Fragen sind bekanntlich längst bearbeitet, und jedes neu hinzukommende Material wird sogleich benutzt, um unsere Annahmen zu korrigieren. Man sieht nämlich leicht, dass diese Fragen ganz unabhängig davon sind, ob man Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen annimmt, oder an ein Versinken der Landbrücken glaubt. Aus diesem Grunde genügt es, hier ganz kurz die Resultate zu skizzieren, zu denen man bisher gelangt ist. Hervorgehoben sei dabei zunächst ein Punkt, der die Deutung der bisherigen paläogeographischen Resultate für unsere Zwecke schwierig macht: die Transgressionen. Auch durch seichte

Transgressionen können die Teile ein und derselben Kontinentalscholle faunistisch und floristisch getrennt werden, und die Entscheidung wird oft schwierig sein, ob Spaltung oder Trennung durch Transgressionsmeere vorliegt.

Was zunächst Südamerika und Afrika betrifft, so sind Geologen und Biogeographen ziemlich einig darin, dass im Mesozoikum hier in breiter Front eine Landverbindung, ein brasiloafrikanischer Kontinent, bestand¹⁾. v. IHERING nannte ihn „Archhelenis“. Durch die neueren Arbeiten dieses Autors und anderer wie ORTMANN, STROMER, KEILHACK und EIGENMANN ist auch der Zeitpunkt, in welcher die Verbindung abbrach, mit immer wachsender Sicherheit in die Tertiärperiode und zwar etwa in das Ende des Eozäns oder Anfang des Oligozäns verlegt worden²⁾. Die genaue Bestimmung des Zeitpunktes wird natürlich Sache der weiteren paläontologischen Forschung sein. Nach unserer Hypothese hätte sich also in jener Zeit die grosse, nahezu meridionale Spalte gebildet, und die Öffnung des Atlantik begonnen.

Auch zwischen Europa und Nordamerika wird für die ältere Tertiärzeit noch eine breite Landverbindung angenommen, die den Austausch der Formen ermöglichte, und welche, schon im Oligozän behindert, im Miozän ganz aufhörte. Wir dürfen also wohl annehmen, dass die Öffnung der Spalte langsam von Süden nach Norden fortgeschritten ist. Indessen zeigt eine Reihe noch später gemeinsam in Europa und Nordamerika auftretender Formen, dass wenigstens im hohen Norden, über Skandinavien und Grönland, noch bis in die Eiszeit hinein höchst wahrscheinlich Landverbindung zwischen Europa und Amerika bestanden hat³⁾. Nach unserer Vorstellung hätte also Nordamerika, Grönland und Europa zur Eiszeit noch eine zusammenhängende Scholle gebildet, und die Eiskalotte hätte also einen erheblich kleineren Umfang gehabt, als man bisher anzunehmen gezwungen war. Hierdurch wird das Verständnis des ganzen eiszeitlichen Phänomens offenbar nicht unwesentlich erleichtert.

Mit diesen Vorstellungen stimmt auch die Tatsache eines Steppenklimas in den Interglazialzeiten in Europa überein, die aus den zahlreichen Überresten von Steppentieren hervorgeht und bei der heutigen Nähe der Tiefsee im Westen durchaus nicht erklärbar ist⁴⁾. Wenn aber Grönland zu jener Zeit noch mit Europa und Amerika unmittelbar zusammenhing, so bildete der Nordatlantik damals erst einen schmalen Meeresarm, der das kontinentale Klima Europas noch nicht wesentlich beeinflussen konnte.

Eine interessante Beziehung besteht noch zwischen Nord- und Südamerika. Wie von OSBORN zuerst vermutet und dann von SCHARFF näher ausgeführt wurde, hat auch zwischen diesen beiden Schollen bis zum Beginn des Tertiärs ungehinderte Landverbindung bestanden, die dann abbrach und erst gegen Ende der Tertiärzeit (nach KAYSER im Pliozän) in dem beschränkten Masse, wie es das heutige Mittelamerika gestattet, wiederhergestellt wurde. Bisher hat man diese vortertiäre Landbrücke meist im Westen, im Gebiet der Galapagos, gesucht. Nach unseren Annahmen wäre sie wohl einfach durch das nordwestliche Afrika gebildet, nach dessen Abreißen die Verbindung zunächst erlosch, um erst später im Verlauf der weiteren Öffnung des Atlantik und der damit Hand in Hand gehenden Auffaltung der Anden in beschränktem Masse wiederhergestellt zu werden.

¹⁾ Vergl. u. a. ARLDT, Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907.

²⁾ HAUG und KAYSER geben für die Trennung an: Jedenfalls vor Beginn des Miozäns; v. IHERING, ORTMANN und STROMER: Eozän; letzterer und EIGENMANN wollen für das Untereozän noch Verbindung annehmen.

³⁾ SCHARFF, Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika. Proc. of the R. Irish Ac. 1909. 28. Bd. 1. 1—28.

⁴⁾ Der zu ihrer Erklärung bisweilen angenommene Ostwind, der dem Hochdruckgebiet über der Eiskappe entsprechen soll, müsste doch in den Interglazialzeiten, in denen die Eiskappe fehlt, auch fortfallen.

Da die Auffaltung der Anden wesentlich gleichalterig mit der Öffnung des Atlantischen Ozeans ist, so ist die Vorstellung eines ursächlichen Zusammenhanges von vornherein gegeben. Die amerikanischen Schollen hätten hiernach bei ihrem Abtreiben nach Westen an dem wahrscheinlich schon sehr alten und nur noch wenig plastischen Boden des Pazifik Widerstand gefunden, wodurch sich der einst den Westrand der Kontinentalscholle bildende ausgedehnte Schelf mit seinen mächtigen Sedimenten zum Faltengebirge zusammenschob. Hier haben wir also ein Beispiel dafür, dass auch die salischen Schollen sich relativ plastisch, das Sima sich relativ starr verhalten kann. Wir dürfen aber wohl als wahrscheinlich annehmen, dass das Sima auch nachgegeben hat, so dass die Faltung der Anden keineswegs der ganzen Breite des Atlantik (ca. 4000 km) äquivalent zu sein braucht. Ziehen wir hierzu noch den schon früher besprochenen Deckfaltenbau in Betracht, nach dem auch wohl hier wie bei den Alpen für das noch ungefaltete Areal eine 4—8mal so grosse Breite wie für das Gebirge anzunehmen ist, so sehe ich keine Bedenken mehr gegen diese Kombination ¹⁾.

3. Gondwana-Land. Wenden wir die im vorangehenden gewonnenen Anschauungen über den Zusammenhang der Faltung mit horizontaler Verschiebung auch auf die tertiären Falten des Himalaya an, so gelangen wir zu einer Reihe überraschender Beziehungen. War auch jene Scholle, durch deren Zusammenstauchung dies höchste Gebirge der Erde entstand, von ähnlicher Grösse wie es nach der Überschiebungstheorie bei den Alpen der Fall war, so muss Vorderindien vor der Auffaltung eine lange Halbinsel gebildet haben, deren Südspitze neben derjenigen von Südafrika lag. Durch diesen Zusammenschub einer langen Halbinsel erklärt sich die eigentümliche Sonderstellung, welche Vorderindien „ringsum ein Bruchstück“ (Suess), in seiner heutigen Umgebung einnimmt.

In der Tat wird seit langem aus paläontologischen Gründen eine solche langgestreckte indomadagassische Halbinsel „Lemuria“ angenommen, die schon vor ihrem angeblichen Versinken lange Zeit vom afrikanischen Block durch den breiten Mozambique-Kanal und seine nördliche Fortsetzung, nach unserer Auffassung also durch eine breite meridionale Spalte, getrennt war. Nach DACQUÉ u. a. soll diese Spalte schon in der ersten der drei Abteilungen des mesozoischen Zeitalters, nämlich in der Trias, entstanden sein, da im unteren Jura (Lias) die Trennung bereits vollzogen war. Auch DOUVILLÉ kommt zu dem Schluss, dass Madagaskar schon in der Trias keine ungestörte Verbindung mehr mit Afrika gehabt hat. Sollte sich dies bestätigen, so hätte sich diese Spalte zwischen der langen ostindischen Halbinsel und Afrika bereits erheblich früher gebildet als diejenige des südatlantischen Ozeans. Der Zusammenschub der indischen Halbinsel ist aber wohl vorzugsweise erst im Tertiär vor sich gegangen, und dauert anscheinend noch heute fort²⁾.

Weiter lassen aber die paläontologischen Befunde keinen Zweifel darüber, dass auch Australien früher eine direkte Landverbindung sowohl mit Vorder-

¹⁾ Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Darstellung in vielen Punkten notgedrungen schematisiert ist. Namentlich in Nordamerika sind nur die westlichsten Ketten der Kordilleren tertiären Ursprungs, während die östlichen älter sind, und zwar um so mehr, je östlicher sie liegen. Mit der Trennung von Europa können natürlich nur die tertiären Falten in Verbindung gebracht werden.

²⁾ Man spricht in der Geologie vielfach von einseitigem Druck bei der Gebirgsbildung, und nimmt speziell beim Himalaya an, der Druck sei von N, nicht von S gekommen. Demgegenüber muss betont werden, dass nach bekannten physikalischen Prinzipien Wirkung stets gleich Gegenwirkung, also auch Druck gleich Gegendruck ist. Wo also ein unsymmetrischer Bau der Faltengebirge beobachtet wird, kann die Ursache wohl nicht in einseitigem Druck, sondern nur in anderen Faktoren, wie verschiedene Grösse oder Mächtigkeit der beiden Schollen, verschiedene Rieghheit (so dass nur die eine sich faltet) und ähnlichem gesucht werden, woraus sich aber keine Argumente gegen die obige Auffassung ableiten lassen.

indien, wie mit Südafrika und Südamerika besessen hat. Man hat diesen Kontinent, dem man bei ungeänderter Lage seiner heutigen Reste einen sehr grossen Umfang zuschreiben musste, „Gondwana-Land“ genannt. Wir müssen also annehmen, dass auch die australische Scholle sich erst im Laufe der geologischen Zeiten lostrennte und früher dem Urkontinent direkt angegliedert war. Ihre Trennung von Afrika und Vorderindien scheint in dieselbe Zeit (Trias) zu fallen wie die Trennung dieser voneinander; denn im Perm hat die Verbindung, wie gleich noch eingehender dargelegt werden wird, noch bestanden, während in der Juraperiode keine Verbindung mehr bestand. Andererseits scheint aber, wie HEDLEY, OSBORN u. a. betont haben, noch immer eine Verbindung mit Südamerika erhalten geblieben zu sein, die erst im Quartär abbrach. Diese Verbindung ging wohl über den leider noch fast ganz unbekanntem Südpolarkontinent. Wegen unserer unzulänglichen Kenntnis dieser Gebiete ist die Angliederung der australischen Scholle noch ganz besonders unsicher. Einstweilen scheint es, als ob die Westküste Australiens ursprünglich mit der Ostküste Vorderindiens unmittelbar zusammengehangen hat, sich aber, wie erwähnt, schon in der Triasperiode abspaltete, während die ganze Südküste noch fest mit der Antarktis zusammenhing. In der Folgezeit scheint sich die antarktische Scholle, ähnlich wie die südamerikanische, von Südafrika nach der Seite des Pazifik hinüberschoben zu haben; das grosse Kettengebirge, von dem wir nur die beiden Enden in Graham-Land und Viktoria-Land kennen, wird von vielen als die direkte Fortsetzung der südamerikanischen Anden betrachtet. Erst im Quartär löste sich dann die australische Scholle ab, an ihrer Ostküste noch die Fortsetzung der antarktischen Anden tragend, von denen Neuseeland ein abgetrenntes Bruchstück darstellt. — Diese Vorstellungen können aber, wie gesagt, nur als Versuch einer ersten Orientierung betrachtet werden.

Von Wichtigkeit erscheint mir jedoch auch das Kartenbild der Umgebung Australiens, welches durchaus der Vorstellung Vorschub leistet, dass sich dieser Kontinent mitsamt seinem nördlichen Ausläufer Neu-Guinea nach Norden schiebt und hier mit den vorgestreckten südlichen Ausläufern Hinterindiens kollidiert. WALLACE hat zuerst auf den grossen Unterschied der mit Australien verwandten Fauna Neu-Guineas einerseits und der zu Hinderindien gehörigen Fauna der Sunda-Inseln andererseits aufmerksam gemacht, welcher die heutige nahe Berührung als eine zufällige erscheinen lässt¹⁾. Ob das hohe Gebirge Neu-Guineas mit dieser Bewegung nach Norden in Zusammenhang zu bringen ist, lässt sich wohl noch nicht entscheiden.

4. Permische Eiszeit. Eine sehr schlagende Bestätigung scheinen diese Vorstellungen in der Erscheinung einer permischen Eiszeit (nach einigen Forschern schon im Karbon) zu finden, deren Spuren man an den verschiedensten Stellen der Südhalbkugel beobachtet hat, während sie auf der Nordhalbkugel bisher fehlen. Diese permische Eiszeit war ja bisher das Sorgenkind der Paläogeographie. Denn diese auf typisch geschrammter Unterlage liegenden unzweifelhaften Grundmoränen eines ausgedehnten Inlandeises finden sich in Australien²⁾ Südafrika³⁾, Südamerika⁴⁾ und vor allem auch Ostindien.

¹⁾ Die „WALLACE-Grenze“, hauptsächlich für Säugetiere gültig, zieht sich durch die Lombokstrasse zwischen den Sunda-Inseln Bali und Lombok und durch die Makassarstrasse, fällt also nicht mehr ganz mit der tektonischen Grenze der Kontinentalschollen zusammen.

²⁾ Viktoria, Neu-Süd-Wales, Queensland, sowie Tasmanien und Neu-Seeland.

³⁾ Neuerdings sind auch im Kongo-Staat und in Togo ähnliche Blocklehme gefunden worden.

⁴⁾ In Brasilien, Provinz Rio Grande do Sul, und im nordwestlichen Argentinien; die Schichten sind aber noch wenig untersucht. Nach der schwedischen Südpolarexpedition scheinen auch die Falklands-Inseln Fundstellen zu tragen. Siehe E. KAYSER, Lehrb. der geol. Formationslehre, 4. Aufl. 1911, S. 266.

KOKEN hat in einer besonderen Abhandlung¹⁾ gezeigt und durch eine Karte erläutert, dass bei der heutigen Anordnung der Länder eine so grosse Ausdehnung der polaren Eiskappe vollständig unmöglich ist. Denn selbst wenn man die südamerikanischen Funde als unsicher fortlässt, was gegenwärtig kaum mehr zulässig sein dürfte, und den Pol an die denkbar günstigste Stelle, nämlich mitten in den Indischen Ozean legte, so erhielten die fernsten Gebiete mit Inlandeis immer noch geographische Breiten von ca. 30–33°. Bei einer solchen Vereisung könnte kaum irgend ein Teil der Erdoberfläche von glazialen Erscheinungen frei geblieben sein. Und dabei fielen dann der Nordpol auf Mexiko, wo doch keine Spur einer Vereisung im Perm zu erkennen ist. Die südamerikanischen Funde aber würden gerade an den Äquator zu liegen kommen.

Die permische Eiszeit bildet also für alle Anschauungen, welche Horizontalverschiebungen der Kontinente nicht anzunehmen wagen, ein unlösbares Problem. Ohne alle anderen Argumente würden diese Verhältnisse, wie übrigens PENCK schon hervorgehoben hat, es nahelegen, „die Bewegung der Erdkruste in horizontalem Sinne als eine ernsthaft in Erwägung zu ziehende Arbeitshypothese das Auge zu fassen“²⁾.

Wenn wir uns nach den oben entwickelten Ideen den Zustand zur permischen Zeit rekonstruieren, so rücken alle von der Vereisung getroffenen Gebiete konzentrisch auf die Südspitze von Afrika zusammen, und wir haben nur nötig, den Südpol in das nunmehr sehr beschränkte Vereisungsgebiet zu legen, um der Erscheinung alles Unerklärte zu nehmen. Der Nordpol läge dann jenseits der Beringstrasse im Pazifik. Auf diese ältere Pollage und die Verschiebungen des Pols überhaupt werden wir noch zurückkommen.

5. Atlantische und pazifische Erdseite. Man ist schon vor langer Zeit auf den grosszügigen morphologischen Unterschied der atlantischen und pazifischen Erdseite aufmerksam geworden. SUSS beschreibt ihn in folgender Weise³⁾:

„Die Innenseite von Faltenzügen, zackige Riasküsten, welche das Versinken von Ketten anzeigen, Bruchränder von Horsten und Tafelbrüche bilden die mannigfaltige Umgrenzung des atlantischen Ozeans.

Derselbe Bau der Küsten tritt auch im Indischen Ozean hervor, ostwärts bis an die Gangesmündungen, wo der Aussenrand der eurasiatischen Ketten das Meer erreicht. Die Westküste Australiens zeigt gleichfalls atlantischen Bau.

.... Mit Ausnahme eines Stückes der mittelamerikanischen Küste in Guatemala, an welcher die umschwenkende Kordillere der Antillen abgesunken ist, werden alle genauer bekannten Umgrenzungen des pazifischen Ozeans durch gefaltete Gebirge gebildet, deren Faltung gegen den Ozean gerichtet ist, so dass ihre äusseren Faltenzüge entweder die Begrenzung des Festlandes selbst sind oder vor demselben als Halbinseln und Züge von Inseln liegen.

Kein gefaltetes Gebirge wendet dem pazifischen Meere seine Innenseite zu; kein Tafelland tritt an den offenen Ozean heraus.“

Zu diesem morphologischen Unterschied gesellt sich noch eine Reihe anderer. BECKE erkannte 1903, dass die vulkanischen Laven der atlantischen Seite prinzipiell von denen der pazifischen verschieden seien; die atlantischen Laven enthalten grössere Mengen von Alkalien, namentlich Na, während bei den pazifischen Laven die Alkalien mehr zurück-, und Ca und Mg mehr in den Vordergrund treten. SUSS wirft deshalb bereits die Frage auf, „ob das Zurücktreten von Ca und Mg in der atlantischen Erdhälfte nicht mit dem Fortschreiten der Erstarrung in Verbindung stehen könnte.“

¹⁾ KOKEN, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband d. neuen Jahrb. f. Min. Geol. u. Paläont. 1907.

²⁾ PENCK, Süd-Afrika und Sambesifälle, Geogr. Zeitschr. 12, 11, S. 601 bis 611, 1906.

³⁾ Antlitz der Erde II, 256.

Weiter besteht ein systematischer Unterschied in den Meerestiefen. Nach KRÜMMEL¹⁾ beträgt die mittlere Tiefe des pazifischen Ozeans 4097, die des atlantischen nur 3858 m, während für den Indischen Ozean mit zur Hälfte pazifischem und zur Hälfte atlantischem Charakter 3929 m folgt, wobei wiederum die atlantische Westseite flacher ist wie die pazifische Ostseite. Dasselbe Bild ergibt die Verteilung der Tiefsee-Sedimente. Derrote Tiefseeton und der Radiolarienschlamm, die beiden echt abyssischen Sedimente, sind wesentlich auf den pazifischen Ozean und den östlichen Teil des indischen Ozeans beschränkt, während der Atlantik und westliche Indik von „epilophischen“ Sedimenten bedeckt sind, deren grösserer Kalkgehalt mit der geringeren Meerestiefe in ursächlichem Zusammenhange steht²⁾.

So auffällig diese Unterschiede sind, so wenig wusste man sie bisher zu erklären: „Der tiefere Grund der Verschiedenheit der pazifischen und der atlantischen Erdhälfte ist nicht bekannt“ (STRESS). Durch unsere Hypothese werden wir aber ganz von selbst auf einen solchen tiefgreifenden Unterschied geführt. Der Öffnung des atlantischen Ozeans entspricht ein fast allseitiges Drängen der Kontinente gegen den pazifischen Ozean; an den Küsten des letzteren herrscht allenthalben Druck und Zusammenschub, bei jenem Zug und Spaltung. Die ersten Abspaltungen traten nach unseren Ausführungen bei Südafrika in der Triasperiode ein. Damit harmoniert, dass im Kagebirge seit dem vorangehenden Perm keine Faltung mehr eingetreten ist; in der Sahara ist Afrika sogar seit dem Obersilur, auf der „armoricanischen Linie“ seit dem Mittel-Karbon frei von Faltungen geblieben. Man darf also annehmen, dass jene Spalte, deren weite Öffnung einst den Pazifik bildete und dem Urkontinent von beiden Rändern her Druck und Zusammenschub brachte, bereits in den ältesten geologischen Zeiten entstand, und dass diese Bewegung längst erloschen war, als die Kräfte auftraten, die den Atlantik schufen. Es ist nicht unwichtig, dass die so gewonnene Ansicht von einem sehr hohen Alter des Pazifik durchaus unseren sonstigen Kenntnissen über diese Frage entspricht. Freilich haben wir keine Möglichkeit, das Alter dieses Ozeans wirklich einwandfrei zu bestimmen. Die von vielen für tertiär gehaltenen Haifischzähne, die oft in grossen Manganknollen eingeschlossen im roten Tiefseeton gefunden werden, und ebenso die zahlreichen in ihm enthaltenen Meteorikügelchen besagen nur, dass er sich jedenfalls äusserst langsam bildet. Da er aber auch in den tiefsten Teilen des Atlantik unterhalb 4000 m zu treffen ist, so ist seine Bildung offenbar noch mehr eine Funktion der Meerestiefe als der Zeit. Dennoch dürfte die von KOKEN, FRECH (*Lethaea palaeozoica*) u. a. geäusserte Ansicht, dass der pazifische Ozean schon seit sehr alten geologischen Zeiten bestanden hat, heute von Geologen und Ozeanographen ziemlich allgemein angenommen sein³⁾.

Vielleicht gewinnen wir aber jetzt auch eine Möglichkeit, die Unterschiede der Meerestiefen zu erklären. Da wir für grössere Gebiete doch auch am Boden der Tiefsee isostatische Kompensationen annehmen müssen, so besagt der Unterschied, dass die nach unserer Auffassung alten Tiefseeböden spezifisch schwerer sind als die jungen. Nun ist wohl der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, dass frisch entblöste Simaflächen, wie der Atlantik oder westliche Teil des Indik, noch lange Zeit hindurch nicht nur eine geringere Rieghheit, sondern auch eine höhere Temperatur (vielleicht um 100° im Mittel der obersten 100 km) bewahren als die alten, schon stark ausgekühlten Meeresböden. Und eine solche Temperaturdifferenz würde wahrscheinlich genügen, um die relativ gering-

¹⁾ O. KRÜMMEL, Handbuch der Ozeanographie Bd. I. S. 144.

²⁾ Vergl. die Karte der Tiefsee-Sedimente bei KRÜMMEL a. a. O.

³⁾ Vergl. HAUG, *Traité de Géologie*, I. Les Phénomènes géologiques, Paris S. 170. — Nach FRECH wäre der Pazifik jedenfalls schon zur Jurazeit vorhanden gewesen.

fügigen Niveaudifferenzen der grossen ozeanischen Becken untereinander zu erklären¹⁾.

6. Polverschiebungen. Trotz der grossen und berechtigten Vorsicht, welche man von geologischer Seite allen Annahmen über Polverschiebungen entgegenbringt, ist doch gerade von dieser Seite her in jüngster Zeit soviel Material erbracht worden, dass eine grosse Verschiebung jedenfalls als nachgewiesen betrachtet werden darf: Im Laufe der Tertiärzeit wanderte der Nordpol von der Seite der Beringstrasse nach der atlantischen Seite herüber, der Südpol also entsprechend von Südafrika nach der pazifischen Seite.

In den beiden ältesten Abschnitten der Tertiärzeit, nämlich im Paleozän und noch mehr im darauf folgenden Eozän, war das Klima Westeuropas noch ausgesprochen tropisch²⁾, und auch noch während des Oligozäns waren Palmen und andere immergrüne Gewächse bis an den heutigen Ostseestrand verbreitet; im Oberoligozän der Wetterau finden sich z. B. massenhafte Hölzer und Blattreste von Palmen. Noch zu Anfang des folgenden Abschnittes, des Miozäns, kommen in Deutschland viele subtropische Formen vor, einzelne Palmen, Magnolien, Lorbeer, Myrthe usw.; später aber verschwinden diese, es tritt eine immer weiter gehende Abkühlung ein, so dass im letzten Abschnitt des Tertiärs, dem Pliozän, die Temperaturverhältnisse in Mitteleuropa von den heutigen bereits nicht mehr verschieden sind, und darauf folgt dann die Eiszeit. In dieser Veränderung zeigt sich deutlich das Näherücken des Pols. Dasselbe Bild der Polverschiebungen zeigen die aussereuropäischen Beobachtungen. Zu Beginn des Tertiärs, als der Pol noch seine alte Lage hatte, wuchsen, wie namentlich die klassischen Arbeiten HEERS zeigen, auf Grönland, Grinnell-Land, Island, Bäreninsel, Spitzbergen, — Orten, die heute 10—22° nördlich der Baumgrenze liegen — Buchen, Pappeln, Ulmen, Eichen, ja sogar Taxodien, Platanen und Magnolien.

Dass es sich hierbei aber in der Tat um eine Polverlagerung und nicht nur um eine die ganze Erde betreffende Klimaänderung handelt, das beweisen namentlich die Untersuchungen NATHORST's über die Tertiärflora Ostasiens, nach denen das Klima dieser Gebiete gleichzeitig wärmer wurde, während für Europa die Eiszeit hereinbrach. Er legt den Nordpol vor der Verschiebung in ca. 70° Nordbreite und 120° östlicher Länge. Die stark polare Tertiärflora der Neusibirischen Inseln würde dann unter damals 80° Breite zu liegen kommen, die Floren von Kamtschatka, vom Amurlande und Sachalin mit etwas wärmerem Charakter unter 68—67°, während die Floren mit erheblich wärmerem Anstrich, wie die von Spitzbergen, Grinnell-Land, Grönland usw., welche immergrüne Laubbäume aufweisen, ausserhalb des damaligen Polarkreises, nämlich in 64, 62, 53—51° Breite fallen würden. Auch andere Autoren, wie SEMPER, sind zu ähnlichen Resultaten gelangt, und es kann wohl überhaupt die Realität dieser grossen Verschiebung nicht mehr ernsthaft in Zweifel gezogen werden.

Es erscheint recht unwahrscheinlich, dass der Nordpol bei seiner tertiären Wanderung gleich an seine heutige Stelle gerückt sei und seit der Eiszeit hier

1) Der kubische Ausdehnungskoeffizient von Granit ist 0,0000269. Für 100° Temperaturerhöhung beträgt also die Ausdehnung 0,00269 des Volumens. Dies wäre zugleich auch die Abnahme des spezifischen Gewichts, wenn dasselbe anfangs gleich 1 gewesen wäre. War es 2,9, so erhält man:

für Sima von 0°	spez. Gew. 2,9000
" " " 100°	" " 2,8922.

Bei Isostasie würde diesem Gewichtsunterschied bereits eine merkliche Niveaudifferenz entsprechen.

2) Nach SEMPER besteht im Eozän Belgiens $\frac{1}{3}$, in dem von Paris die Hälfte der Arten aus tropischen Formen. Auch die mitteleozäne Flora der Themsemündung hat nach A. SCHENK (ZITTEL, Handb. d. Paläont., Phytopal. S. 807) ein tropisches Gepräge.

unverändert verharret habe. Denn dann hätte er zur Eiszeit noch ca. 10° vom Rande jener grossen Inlandeiskappe entfernt gelegen, die damals in ähnlicher Ausdehnung wie die heutige antarktische Eiskappe Nordamerika und Europa bedeckte. Natürlicher ist es wohl, anzunehmen, dass der Pol zunächst mindestens 10° weiter, bis nach Grönland hinein, wanderte und erst seit der Eiszeit wieder auf seinen heutigen Ort zurückkehrte.

Von grossem Interesse ist es, sich die entsprechenden Lagen des Südpols zu rekonstruieren. Wenn der Nordpol selbst um 30° nach der Beringstrasse zu verschoben lag, so muss der Südpol immer noch etwa 25° südlich vom Kap der guten Hoffnung gelegen haben, d. h. auf dem damals anscheinend noch bis in diese Breiten reichenden Südpolarkontinent. In den uns näher bekannten Gebieten der Südhalbkugel werden wir also nur wenig oder gar keine Vereisungsreste aus jener Zeit erwarten können. Dagegen beweist die schon besprochene permische Eiszeit, dass in noch früheren Zeiten die Verschiebung eine noch grössere war (vielleicht 50°). Damals hätte der Nordpol noch weit jenseits der Beringstrasse im Pazifik gelegen, doch werden wir hier schon zur grössten Vorsicht in bezug auf Schlussfolgerungen gezwungen, weil hier unser Bild von dem Umfang und den Konturen des damaligen Urkontinents immer undeutlicher wird. Daher scheint mir auch eine Verfolgung dieser Verhältnisse in noch älteren geologischen Zeiten, wie sie durch die Spuren einer unterkambrischen Vereisung in China (im Gebiet des Yangtse), in Südaustralien bei Adelaide (nach WILLIS) und anscheinend auch in Norwegen (nach HANS REUSCH) nahegelegt wird, einstweilen noch untunlich.

Nur auf eine eigentümliche Beziehung sei noch hingewiesen. Namentlich GREEN und EMERSON haben die grosse Bruchzone der Mittelmeere, welche die Erde in Gestalt eines grössten Kreises umgibt, als einen alten Äquator der Erde aufgefasst. In der Tat bildet sie den Äquator für jene anscheinend im ganzen Mesozoikum behauptete Pollage, bei welcher der Nordpol in der Gegend der Beringstrasse, der Südpol südlich von Afrika liegt. Wenn sich auch manche Bedenken gegen die Vorstellung jener Autoren erheben, dass diese Bruchzone auf die zertrümmernde Wirkung der Mondflut im Erdkörper zurückzuführen sei, die am Äquator den grössten Betrag erreiche, so ist doch die Beziehung als solche sehr zu beachten.

Von der grössten Wichtigkeit für das Verständnis der ganzen Erscheinung ist aber der Umstand, dass die grossen Verschiebungen der Pole offenbar gleichzeitig mit den grossen Verschiebungen der Kontinentalschollen erfolgen. Insbesondere ist das zeitliche Zusammenfallen der am besten beglaubigten Polverschiebung im Tertiär mit der Öffnung des atlantischen Ozeans evident. Auch das (relativ geringe) Zurückwandern der Pole seit der Eiszeit wird man mit der Abtrennung Grönlands und Australiens in Verbindung bringen können. Es scheint hiernach, als ob die grossen Kontinentalverschiebungen die Ursache der Polverschiebungen sind. Der Drehungspol wird jedenfalls dem Trägheitspol folgen müssen; wird dieser durch Verschiebung der Kontinente geändert, so muss der Drehungspol mitwandern.

Über die Art dieser Beziehungen hat namentlich SCHIAPARELLI sehr interessante Untersuchungen ausgeführt¹⁾. Er fand, dass — die Erde als völlig starr vorausgesetzt — selbst durch die grössten (bisher angenommenen) geologischen Veränderungen die Pole der Trägheitsachse und damit auch die Rotationspole nur um ganz geringe Beträge verschoben werden können; bei Annahme einer gewissen Plastizität der Erde, die eine, wenn auch verzögerte Anpassung ihrer Form an die neue Rotation erlaubt, würden bereits ziemlich beträchtliche Be-

¹⁾ SCHIAPARELLI, De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques. Mémoire prés. à l'occasion de sa fête sémiséculaire. St. Pétersbourg. Acad. imp. des sc. 1889. Die ersten Versuche einer Berechnung wurden bereits früher von DARWIN ausgeführt.

wegungen der Pole erklärbar sein, und in noch höherem Masse würde dies der Fall sein, wenn die Erde hinreichend plastisch ist, um ohne wesentliches Nachhinken sich den jeweiligen Rotationsverhältnissen anzupassen. Nach den Ergebnissen der Geophysik haben wir offenbar für geologische Zeiträume, wie sie hier in Betracht kommen, von der letzten Annahme Gebrauch zu machen. Schon mehrfach sind Versuche gemacht worden, auf solche Weise die Polverschiebung zu berechnen, welche durch irgend eine beobachtete Massenverschiebung verursacht werden musste. Da man aber immer nur sehr geringe Verschiebungen, wie man sie z. B. bei Erdbeben konstatieren konnte, in Betracht zog, so kam man stets zu dem Schluss, dass die bewirkte Polverschiebung unmerklich klein sein müsste. So finden z. B. HAYFORD und BALDWIN unter der Annahme, dass sich beim Erdbeben von S. Francisco 1906 eine Erdscholle von 40000 qkm Oberfläche, 118 km Dicke und von der mittleren Dichte 4 sich um 3 m nach N verschoben hat, dass sich hierdurch der Pol der Trägheitsachse nur um 0,0007", d. h. um 2 mm verlagert haben kann¹⁾. Nach unseren Vorstellungen haben wir es aber mit Verschiebungen zu tun, welche zum Teil hundertmal grössere Schollen betreffen und dabei den angegebenen Betrag pro Jahr erreichen dürften (s. u.). Jedenfalls sieht man soviel, dass auf diese Weise leicht fortschreitende Verlagerungen der Trägheitspole stattfinden können, welche die Hundertstelsekunde pro Jahr (oder 1° in 360 000 Jahren) erreichen können, und damit kommen wir auf eine Grössenordnung, wie wir sie zur Erklärung der geologischen Polverschiebungen brauchen. Der Zusammenhang zwischen diesen und den von uns angenommenen Horizontalverschiebungen der Kontinente erscheint also auch theoretisch gerechtfertigt, wenn auch die exakte Untersuchung noch aussteht.

IV. Gegenwärtige Horizontalverschiebungen.

1. Grönland. Nehmen wir an, die Trennung Skandinaviens von Grönland wäre vor 50,000—100,000 Jahren erfolgt (was wohl der grossen Eiszeit einiger-massen entsprechen dürfte, da nach den neueren Untersuchungen von HEIM und amerikanischen Geologen seit der letzten Eiszeit nur etwa 10,000 Jahre verflossen zu sein scheinen) und nehmen wir weiter an, die Bewegung sei während der ganzen Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt und dauere noch heute fort, so würde sie etwa 14—28 m pro Jahr betragen, eine Grösse, die sich durch astronomische Ortsbestimmung ohne Schwierigkeit ermitteln lassen müsste. Nur an einem Punkte, nämlich auf Sabine-Insel an der Ostküste liegen Längenmessungen aus verschiedenen Zeiten vor. Dabei zeigt sich zwischen 1823 (SABINE) und 1870 (BÖRGEN und COPELAND) eine Vergrösserung der Entfernung von Europa um 260 m, zwischen 1870 und 1907 (KOCH) eine weitere Vergrösserung um 690 m, zusammen in 84 Jahren eine Vergrösserung des Abstandes um ca. 950 m oder um 11 m pro Jahr.

Leider sind diese Messungen mit Hilfe des Mondes nur wenig genau, und zudem herrscht eine gewisse Unsicherheit über die Lage von SABINE'S Observatorium. Es ist daher zu hoffen, dass möglichst bald durch eine nochmalige genaue Längenbestimmung und durch eine Revision von SABINE'S Beobachtungsplatz die letzten Zweifel an der Realität dieser Verschiebung beseitigt werden.

2. Nordamerika. Für Nordamerika werden wir eine sehr viel geringere Geschwindigkeit erwarten, da die Trennung von Europa ja bereits im Tertiär erfolgt ist. Andererseits haben aber hier die transatlantischen Kabel eine grössere Genauigkeit der Längenbestimmung ermöglicht. Nach SCHOTT geben die drei grossen Längenbestimmungen von 1866, 1870 und 1892 folgende Werte der Längendifferenz Cambridge-Greenwich:

¹⁾ HAYFORD und BALDWIN, Movements in the California Earthquake. Coast and Geod. Survey, Report for 1906—1907. Appendix 3, S. 97 (zitiert nach RUDZKI).

1866: 4 h 44 m 30,89 s
 1870: 4 „ 44 „ 31,065 „
 1892: 4 „ 44 „ 31,12 „.

Diese Beobachtungen scheinen also auf eine Vergrößerung der Entfernung um etwa $\frac{1}{100}$ Zeitsekunde (4 m) pro Jahr hinzudeuten. Da der heutige Abstand etwa 3500 km beträgt, so würden bei gleichförmiger Bewegung hiernach rund 1 Million Jahre seit der Trennung verstrichen sein.

Natürlich sind auch diese Zahlen noch als kaum ausreichend zu betrachten, um die Realität der Verschiebung zu beweisen, denn der beobachtete Unterschied von 0,23 Sekunde lässt sich zur Not noch aus der grösseren Ungenauigkeit der älteren Beobachtungen erklären. Da seit der letzten Längenbestimmung aber bereits wieder 20 Jahre verflossen sind, so würde es wahrscheinlich möglich sein, durch eine Wiederholung derselben bereits heute eine Entscheidung herbeizuführen.

Die gleichfalls zu erwartenden Breitenänderungen Australiens habe ich nicht untersuchen können. — Wenngleich die vorliegenden Zahlen sich, wie mir scheint, nicht mehr ohne Gewalt auf blosse Beobachtungsfehler zurückführen lassen, so ist doch einleuchtend, dass genauere Feststellungen abgewartet werden müssen, ehe man den Nachweis von Horizontalverschiebungen der Kontinental-schollen im Sinne unserer Hypothese als erbracht ansehen darf.
