

Alfred Wegener - zum 100. Geburtstag des Begründers der Kontinentalverschiebungstheorie

Von Erich T h e n i u s

Institut für Paläontologie der Universität Wien
Vortrag, gehalten am 29. Oktober 1980

Z u s a m m e n f a s s u n g : Kurze Schilderung von Alfred WEGENER und eine Würdigung seiner Verdienste um die Kontinentalverschiebungstheorie anlässlich der 100. Wiederkehr seines Geburtstages. WEGENER war zwar nicht der erste, der die Idee von Kontinentalverschiebungen vertrat, hat diese Theorie jedoch erstmals durch zahlreiche Befunde aus der Geophysik, Geologie, Paläontologie, Zoologie und Botanik zu stützen versucht. Er gilt daher mit Recht als deren Begründer.

Die Kontinentalverschiebungstheorie wird gegenwärtig allgemein anerkannt, doch haben sich verschiedene geophysikalische Vorstellungen WEGENER's als unzutreffend herausgestellt. WEGENER's Verdienst wird dadurch nicht geschmälert,

da er durch seine Vorstellungen praktisch das heutige geologische Weltbild vorweggenommen und damit zugleich die Grundlagen für die moderne Biogeographie geschaffen hat. Nicht umsonst haben Tier- und Pflanzengeographen seine Theorie immer wieder zur Erklärung der Verbreitung von Tieren und Pflanzen in Vorzeit und Gegenwart herangezogen. Der Beitrag versucht nicht nur die Verdienste WEGENER's, sondern zugleich auch den gegenwärtigen Kenntnisstand aufzuzeigen.

Einleitung

Anlaß zu der folgenden Würdigung Alfred WEGENER's im Rahmen des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien und der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft war die 100. Wiederkehr des Geburtstages und der 50. Todestag des Genannten. Der Name A. WEGENER ist durch die Kontinentalverschiebungstheorie in aller Welt bekannt geworden. Dies beweisen außer den Veröffentlichungen über A. WEGENER (BENNDORF 1931, SCHWARZBACH 1980, E. WEGENER 1960, E. WEGENER & LOEWE 1932) selbst die Feiern und Würdigungen anläßlich seines 100. Geburtstages. Von diesen seien das Internationale Alfred Wegener Symposium in Berlin (Februar 1980; s. DORNSIEPEN & HAAK 1980), die mit einer Kranzniederlegung vor der Aula der Universität Graz verbundene Festveranstaltung der Österreichischen Geologischen Gesellschaft im Sep-

tember 1980 in Graz und die Enthüllung einer Gedenktafel am einstigen Wohnhaus Wegeners in der nach ihm benannten Wegenergasse 9 in Graz durch den Bürgermeister der Stadt Graz genannt. Das Internationale A. Wegener Symposium in Berlin war mit der Wanderausstellung „Alfred Wegener 1880—1930 — Leben und Werk“ verbunden, die nach Berlin auch in Frankfurt/Main und Wien gezeigt wurde und zu der ein illustrierter Führer herausgegeben wurde (JACOBSHAGEN & al. 1980).

Wie JACOBSHAGEN (1980: 5) im Geleitwort dieses Ausstellungsführers schreibt, war A. WEGENER „ein genialer Geist und zugleich der universalste deutsche Geowissenschaftler seit Alexander von Humboldt“. Dazu sei bemerkt, daß A. WEGENER zwar gebürtiger Berliner war, durch seine im Jahr 1924 erfolgte Berufung an die Universität Graz jedoch österreichischer Staatsbürger geworden war.

Die Forschungsgebiete WEGENER's reichten von der Astronomie über die Meteorologie und Geophysik bis zur Geologie und Geographie. Sein bedeutendstes Werk ist jedoch die Kontinentalverschiebungstheorie, mit der er erstmalig im Jahr 1912 an die Öffentlichkeit trat (1912a, 1912b). 1915 erschien „Die Entstehung der Kontinente“ in Buchform. Bis zum Jahr 1929 sind insgesamt 4 Auflagen erschienen. Eine 5. Auflage besorgte sein Bru-

der Kurt Wegener 1936. Nachdrucke sind 1962 und 1980 herausgegeben worden.

Im folgenden wird nach einer kurzen Schilderung des Lebensweges von Alfred Wegener vor allem auf seine Kontinentalverschiebungstheorie eingegangen und schließlich die heutigen Auffassungen darüber in den Grundzügen dargestellt werden. Die WEGENER'sche Kontinentalverschiebungstheorie wurde zu Lebzeiten WEGENER's von den meisten Erdwissenschaftlern abgelehnt. Auch noch 1939 anlässlich der Atlantis-Tagung der Geologischen Vereinigung in Frankfurt/M. wurden seine Vorstellungen von fast allen Geologen und Geophysikern negativ bewertet.

Erst in den späten 50er Jahren setzte ein Umschwung ein, der von der Geophysik über den Paläomagnetismus seinen Ausgang nahm und in den folgenden Jahren vor allem durch die Ozeanographie eine wesentliche Stützung und Fundierung erfuhr. Allerdings zeigten die neuen Befunde und Erkenntnisse, daß die Wegener'sche Kontinentalverschiebungstheorie zwar im Prinzip richtig war, WEGENER's Vorstellungen darüber jedoch vielfach nicht zutrafen.

Alfred Wegener's Lebensweg

Da eine ausführliche Schilderung des Lebensweges von A. WEGENER durch seine Frau Else bereits 1960 und zuletzt durch M. SCHWARZ-

BACH (1980) erfolgte, sei dieser nur skizzenhaft und in Schlagworten dargestellt.

Alfred Lothar Wegener stammte aus einer Pastorenfamilie. Sein Vater Dr. Richard Wegener war Direktor des Schindler'schen Waisenhauses in Berlin. Dort wurde Alfred WEGENER als 3. und jüngster Sohn am 1. November 1880 geboren. Nach der Matura im Jahr 1899 am Köllnischen Gymnasium in Berlin studierte WEGENER Mathematik und Naturwissenschaften an der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin sowie ein Sommersemester in Heidelberg (1900) und in Innsbruck (1901) und widmete sich besonders der Astronomie, jenem Fach, dem auch die Dissertation (über die Alfonsinischen Tafeln) gewidmet war. Die Promotion erfolgte am 24. November 1904, nachdem WEGENER bereits 1902 und 1903 als Astronom an der Berliner Volkssternwarte Urania tätig war. In Innsbruck hörte er u. a. bei Prof. BLAAS eine Vorlesung über „Geologische Streitfragen“, die sich vermutlich mit Themen über die Gebirgsbildung und dem Problem Konstanz der Ozeane befaßte (FLÜGEL 1980).

Nach Abschluß des Universitätsstudiums wandte sich A. WEGENER der praktischen Meteorologie zu und war in den Jahren 1905—1906 Assistent am Aeronautischen Observatorium Lindenberg. Vermutlich hatte ihn und seinen Bruder Kurt die Möglichkeit gereizt, Freiballonfahrten zur Erforschung der Atmosphäre durchführen zu können. Sie

führte die beiden Brüder im April 1906 auch zur damaligen Weltrekordfahrt im Freiballon, die 52 Stunden dauerte.

Die Teilnahme an der dänischen „Danmark“-Grönlandexpedition unter der Leitung des Eskimoforschers L. MYLIUS-ERICHSEN, bei der er der einzige Deutsche war, ermöglichte WEGENER in den Jahren 1906—1908 meteorologische Untersuchungen mit Drachen und Fesselballonen bis in Höhen von 3000 m. Es waren die ersten derartigen Untersuchungen im polaren Klima. WEGENER konnte dadurch praktische Erfahrung an der Nordostküste Grönlands sammeln, die ihm bei seinen späteren Grönlandexpeditionen zugute kam.

Die Ergebnisse der Drachen- und Fesselballonaufstiege in Grönland führten 1909 zur Habilitationsschrift für Meteorologie und Astronomie an der Universität Marburg. A. WEGENER hatte sich für die akademische Laufbahn entschieden und wie M. SCHWARZBACH (1980: 28) schreibt, die „kleine ruhige, aber von regem wissenschaftlichen Leben erfüllte Universitätsstadt Marburg, wo es noch keinen Meteorologen und noch weniger ein entsprechendes Institut gab“, gewählt. An dieser Universität wirkten Franz RICHARZ als Professor für Experimentalphysik und Emanuel KAYSER als Ordinarius für Geologie, später kam noch der um fünf Jahre jüngere Hans CLOOS dazu.

In die Zeit in Marburg (1908—1918), wo A. WEGENER zunächst als Privatdozent, später

als apl. Professor tätig war, fällt auch die Aufstellung seiner Kontinentalverschiebungstheorie. Im Jahr 1913 heiratete er Else KÖPPEN, die Tochter des bekannten Meteorologen Wilhelm KÖPPEN, dem er bereits im Jahr 1906 wertvolle Ratschläge für seine erste Grönlandfahrt verdankte. In den Jahren 1912/13 führte WEGENER zusammen mit dem Dänen J. P. KOCH seine 2. Grönlandexpedition durch, die mit einer Durchquerung der Insel unter erstmaliger Überwinterung auf dem Inlandeis verbunden war. Der Kriegsdienst in den Jahren 1914 bis 1918 unterbrach zwar die wissenschaftliche Tätigkeit von A. WEGENER, doch konnte er während eines Krankenurlaubes sein Buch über die „Entstehung der Kontinente und Ozeane“ fertigstellen und im Jahr 1915 bei Vieweg (Braunschweig) veröffentlichen. In der Folgezeit war WEGENER beim militärischen Wetterdienst tätig.

1919 erfolgte die Berufung als Abteilungsleiter für theoretische Meteorologie beim Wetterdienst an der Deutschen Seewarte in Hamburg als Nachfolger seines nunmehrigen Schwiegervaters W. KÖPPEN. Im gleichen Jahr war auch die Universität Hamburg gegründet worden, weshalb sich A. WEGENER dorthin umhabilitierte und dort gleichfalls als apl. Professor tätig war. In die Hamburger Zeit fällt das Erscheinen der 2. und 3. Auflage der „Entstehung der Kontinente und Ozeane“ und gemeinsam mit W. KÖPPEN gibt er das Buch „Die Klimate der geologischen Vorzeit“ (1924) heraus.

Dieses Buch faßte den damaligen Kenntnisstand der Paläoklimatologie zusammen unter Berücksichtigung der Kontinentalverschiebungstheorie. Bei Vorträgen über die Kontinentalverschiebungstheorie in Berlin, Kopenhagen und Hamburg stößt er zwar auf Ablehnung durch Geologen und Geographen, jedoch auf Zustimmung durch Biowissenschaftler (z. B. IRMSCHER als Botaniker, s. IRMSCHER 1928, 1929).

Im Jahr 1924 erhielt A. WEGENER eine Berufung als Ordinarius für Meteorologie und Geophysik an die Universität Graz als Nachfolger für den nach Berlin gegangenen H. FICKER. Die Jahre von 1924 bis 1930 waren nach den Worten von Else Wegener, seiner Frau, glückliche Jahre. Seine Antrittsvorlesung behandelte die Kontinentalverschiebungstheorie wie auch ein Vortrag im Rahmen des Naturwissenschaftlichen Vereines diesem Thema gewidmet war. Auch in Österreich stießen seine Vorstellungen praktisch auf Ablehnung durch die Geologen, obwohl mit O. AMPFERER und R. SCHWINNER zwei Erdwissenschaftler tätig waren, deren Vorstellungen sich mit WEGENER's Theorie in Einklang hätten bringen können. SCHWINNER ließ WEGENER's Theorie zumindest für das Präkambrium gelten (vgl. AMPFERER 1925, SCHWINNER 1928).

Im Sommer 1929 erkundete A. WEGENER an der Westküste Grönlands die Aufstiegsmöglichkeiten auf das Inlandeis als Vorbereitung für die

Hauptexpedition 1930/31 und zugleich zur Standortsuche für die geplante „Weststation“ und zur Depoterrichtung. Als Ausgangspunkt wurde die Umanak-Bucht ausgewählt. Im April 1930 erfolgte die Abfahrt zur Hauptexpedition, an der nicht nur F. LOEWE (Berlin) und J. GEORGI (Hamburg), die bereits an der Vorexpedition teilgenommen hatten, sondern auch H. JÜLG aus Linz, den wir heute bei diesem Vortrag persönlich begrüßen konnten, teilnahmen.

Ziel dieser Grönlandexpedition waren die Errichtung von drei Stationen („Weststation“; „Eismitte“ und „Oststation“) mit Überwinterung im Inlandeis und die Erstellung eines geophysikalischen und meteorologischen Profiles durch Grönland. Erstmals wurden für die Eisdickenmessung sprengseismische Untersuchungen angewendet und auch eigens angefertigte Propeller-Motorschlitten eingesetzt, welche die in sie gesetzten Erwartungen nur teilweise erfüllten. Die in 3000 m Höhe gelegene Station „Eismitte“ konnte im Sommer 1930 errichtet werden, doch verhinderten widrige Eisverhältnisse, schlechtes Wetter und die mit nur geringem Nutzeffekt arbeitenden Transportmittel die für die Überwinterung ausreichende Versorgung. So erreichten WEGENER, LOEWE und der Eskimo Rasmus VILLUMSEN erst nach 40 Tagen am 30. Oktober 1930 die Station „Eismitte“, wo sich GEORGI und SORGE inzwischen zur Überwinterung entschlossen hatten. Da sich LOEWE

bei der Fahrt beide Füße erfroren hatte, war eine Rückreise mit WEGENER und VILLUMSEN nicht möglich. Daher traten die beiden nach nur einem Ruhetag am 50. Geburtstag WEGENER's die Rückreise zur „Weststation“ mit 17 Hunden an. Sie sollten sie nicht mehr erreichen. Die Leiche von Alfred WEGENER wurde erst am 8. Mai 1931 bei Kilometer 189 von der Weststation entfernt — eingenäht in zwei Schlafsackbezüge — gefunden. WEGENER dürfte nicht durch Erfrieren, sondern wohl durch Herzschwäche gestorben sein. Die Leiche von Rasmus VILLUMSEN, der auch das Tagebuch WEGENER's bei sich hatte, konnte nie gefunden werden.

Die Kontinentalverschiebungstheorie WEGENER's

Wie bereits einleitend angedeutet, liegt die größte wissenschaftliche Leistung WEGENER's in seiner Kontinentalverschiebungstheorie, die er erstmalig im Jahr 1912 veröffentlichte. Was war der Anlaß zu dieser für die damalige Zeit einmaligen Hypothese? In einer Zeit, wo man die Permanenz der Ozeane annahm und die Kontraktionstheorie in der Geologie noch vorherrschte sowie die bereits damals bekannten geologischen und paläontologischen Ähnlichkeiten und Übereinstimmungen verschiedener Kontinente durch einstige Landbrücken erklärt wurden. Die Annahme, daß Landbrücken abgesunken seien und nunmehr Ozeanboden bilden

sollten, erkannte WEGENER als Geophysiker als unzutreffend. Anlaß für seine von ihm ausdrücklich als Arbeitshypothese vorgebrachten Vorstellungen zur Kontinentalverschiebung waren im Jahr 1911 der neue Andree'sche Weltatlas (8. Aufl., Wien 1909), wo ihm an einer Meereskarte des Atlantik die Übereinstimmung der Küstenlinien auffiel, sowie ein Referat von Th. ARLDT in der Naturwissenschaftlichen Rundschau (1910) über eine Publikation von R. F. SCHARFF „On the evidence of a former landbridge between Northern Europe and North America“ aus dem Jahr 1909. Letztere beruhte auf biogeographischen Befunden aus der rezenten Tier- und Pflanzenwelt, aufgrund derer SCHARFF eine noch bis in die Eiszeit anhaltende Landverbindung zwischen Nordeuropa und Nordamerika annahm.

WEGENER weist in seiner ersten Arbeit (1912a) auch auf PICKERING (1907) und TAYLOR (1910) hin, betont jedoch, daß er seine Vorstellungen unabhängig von jenen TAYLOR's entwickelt habe. TAYLOR ging bei seinen Überlegungen von den großen tertiärzeitlichen Gebirgsfaltensystemen in der Erdrinde aus, die er mit Horizontalverschiebungen der Kontinente in Zusammenhang bringt. Weitere Vorläufer mit derartigen Ideen waren Francis BACON (1620), François PLACET (1666), THEODOR LILIENTHAL (1756) und Antonio SNIDER-PELLEGRINI (1858), die sich jedoch meist nur auf den Atlantik stützten (geographische

Homologie des Küstenlinienverlaufes zwischen Südamerika und Afrika) und das ganze als plötzliches Ereignis ansahen, das verschiegentlich mit der biblischen Sintflut in Zusammenhang gebracht wurde (s. RUPKE 1970).

A. WEGENER stützte sich jedoch auf Befunde aus der Geographie, Ozeanographie, Geophysik, Geodäsie, Geologie, Paläontologie, Paläoklimatologie und der Biogeographie. Abgesehen von der Kongruenz des Küstenlinienverlaufes bzw. des Kontinentalsockels von Südamerika und Afrika und der Übereinstimmungen des geologischen Baues (Zusammensetzung, tektonischer Bau etc.) diesseits und jenseits des Atlantischen Ozeans waren es vor allem Ergebnisse der Geophysik, die WEGENER's Vorstellungen wesentlich beeinflussten. Wie eine hypsographische (hypsometrische) Kurve der Erdoberfläche (Abb. 1) erkennen läßt, sind zwei bevorzugte Niveaus, deren Werte allerdings nicht einheitlich angegeben werden (je nachdem, ob der Meeresspiegel oder der Kontinentalschelf als Bezugsbasis herangezogen werden), zu unterscheiden. WEGENER (1912a) gibt für die Kontinente 700 m über und für die Ozeane 4300 m unter dem Meeresspiegel an, während nach WUNDERLICH (1968) die mittlere Höhe des Festlandes bei 875 m, die mittlere Meerestiefe bei — 3790 m liegt. Wie Schweremessungen bereits damals gezeigt hatten, ist der Schwerewert auf Kontinenten und Ozeanen praktisch gleich, was WEGENER durch die An-

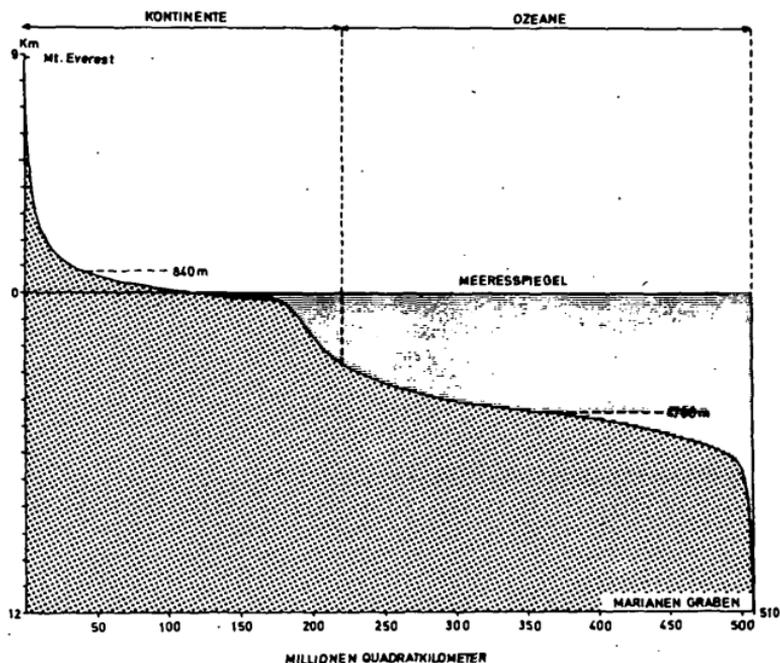
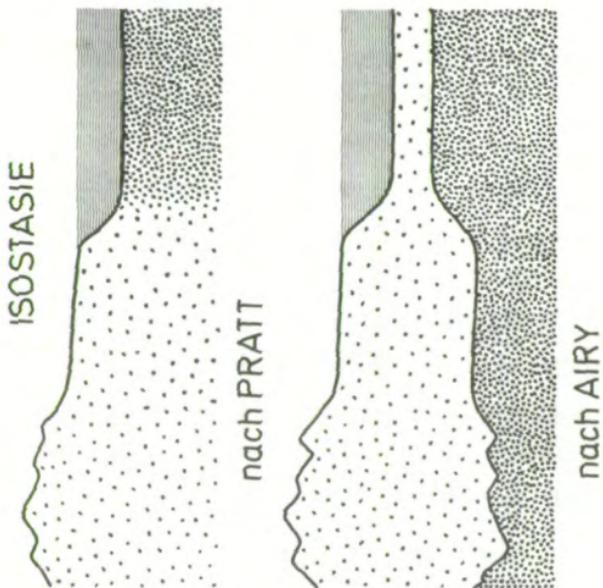
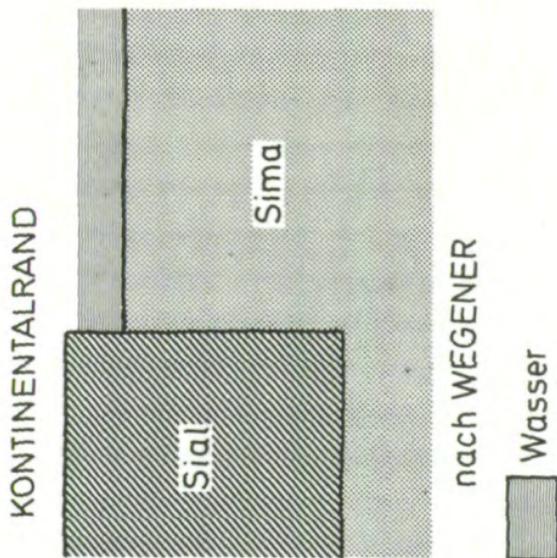


Abb. 1: Hypsometrische (=hypsographische) Kurve der Erdoberfläche. Beachte die ungleichmäßige Verteilung ihrer Erhebungen mit zwei mittleren Höhen (840 m über und 4700 m unter dem Meeresspiegel).

nahme der Isostasie (Schweregleichgewicht) erklärte, d. h. daß die Erdkrustenteile je nach ihrem Gewicht mehr oder weniger tief im Erdmantel eintauchen (eine Auffassung, die sich seither durch die Geophysik bestätigt hat; Abb. 2). Diese grundsätzlichen Erkenntnisse führten WEGENER zu seinen Vorstellungen von Horizontalverschiebungen der Kontinente. WEGENER verglich dabei die Kontinente mit driftenden Eisschollen im Wasser. Interessant ist, daß WEGENER in seinen beiden



ersten Publikationen die Bedeutung des mittelatlantischen Rückens erwähnt, später jedoch diese Erkenntnis nicht mehr verwertet. So schreibt er in Petermann's Mitteilungen (1912: 305/306): „Diese [die geringfügigen Niveauunterschiede der großen ozeanischen Becken] scheinen es auch nahezulegen, die **mittelatlantische Bodenschwelle als divergierende Zone** zu betrachten, in welcher bei der noch immer fortschreitenden Erweiterung des Atlantischen Ozeans der Boden desselben fortwährend aufreißt und frischem, relativ flüssigem und hochtemperiertem Sima aus der Tiefe Platz macht“ und in der Geologischen Rundschau (1912: 281) „Bei der Abspaltung der Schollen muß das darunterliegende hochtemperierte Sima entblößt werden, was zu **submarinen Lavaergüssen** führen wird. **Namentlich scheint dies z. B. der Fall zu sein bei der mittelatlantischen Bodenschwelle**“ (Sperrung vom Verf.). In seinen späteren Publikationen ist jedoch davon nicht mehr konkret die Rede. Lediglich in Zusammenhang mit der Erwähnung von Konvektionsströmungen spricht WEGENER von einem Auseinanderweichen nach allen Seiten. In der neuesten Auflage seines Buches vertritt WEGENER (1929:

Abb. 2: Links: Isostasie-Prinzip nach PRATT und AIRY, indem einerseits verschiedene Dichte, andererseits unterschiedliche Mächtigkeit als Ursache angenommen wird. Rechts: Kontinente und Ozeane (Tiefseeböden) nach A. WEGENER (Schema). Die Kontinente verhalten sich wie Eistafeln auf offenem Wasser.

21) allerdings den Standpunkt, daß nur die Kontinentalschollen und zwar im Sima „drifteten“. „Die Tiefseeböden aber stellen die freie Oberfläche der nächsten Schicht des Erdkörpers dar, welche auch unter den Kontinentalschollen anzunehmen ist.“

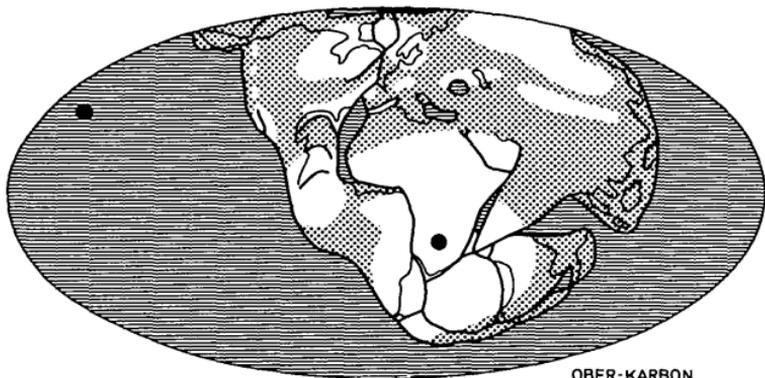
Auch die Ergebnisse der Geodäsie wertete WEGENER für seine Theorie aus. Allerdings haben sich die Meßwerte, wonach Grönland und Skandinavien mit einer Geschwindigkeit von 18—36 m pro Jahr auseinanderweichen, nicht bestätigt. Auch gegenwärtig, im Zeitalter der künstlichen Erdsatelliten, liegen noch keine brauchbaren Ergebnisse in dieser Hinsicht vor.

Außer diesen Befunden hat WEGENER eine große Zahl geologischer und paläontologischer Daten zusammengetragen, die seine Theorie stützen. Wiederum sind es vornehmlich die Randgebiete des Atlantik, die bereits damals eine große Zahl von Hinweisen für die Wegener'sche Theorie lieferten. Nicht zuletzt waren es paläontologische Befunde, welche durch die Kontinentalverschiebungstheorie eine einfache Lösung erfuhren. Es sei hier nur an das Problem der gegenwärtig disjunkten Verbreitung der permischen Glossopterisflora (Abb. 3), die sich bei Annahme eines einheitlichen Südkontinentes (Gondwana-Kontinent, der Südamerika, Afrika mit der Arabischen Halbinsel, Madagaskar, Vorderindien, Australien und die Antarktis umfaßte) ohne Schwierigkeiten erklären läßt. Das gleiche gilt für die damalige Vereisung,

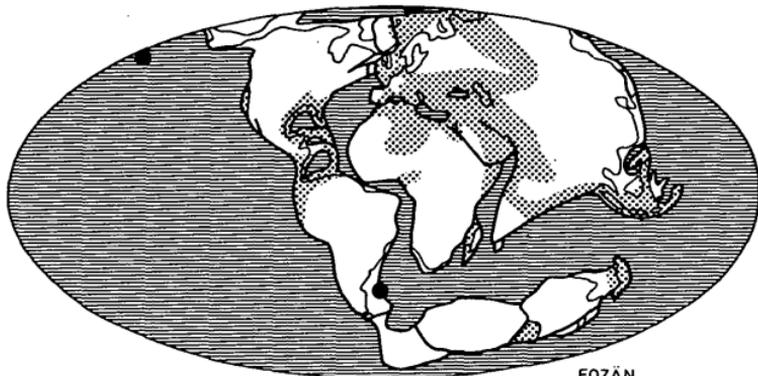
(Abb. 4). Der Zeitplan sah nach WEGENER derart aus, daß sich der Atlantik vom Süden her zur Kreidezeit zu bilden begann, jedoch noch im Eozän Südamerika über die Antarktis mit Australien landfest verbunden war. Die Abtrennung Vorderindiens von Australien erfolgte zur älteren Jura-Zeit, von Madagaskar hingegen erst an der Kreide-Tertiärwende. Nach WEGENER war Vorderindien ursprünglich durch ein langes flaches, meist von Flachmeer bedecktes Schollenstück mit dem asiatischen Kontinent verbunden. Erst durch die fortschreitende Annäherung des heutigen Vorderindiens an Asien wurde dieses immer mehr zusammengefaltet und ruht heute im Himalaya. Nordamerika bildete mit Grönland und Europa eine zusammenhängende Scholle, die erst im Spättertiär, im Norden sogar erst im Quartär durch eine bei Grönland sich gabelnde Spalte zerriß.

So faszinierend diese Vorstellungen auch waren, so wurde WEGENER's Kontinentalverschiebungstheorie von den Geophysikern vor allem wegen der vermeintlichen Ursachen abgelehnt (1922 Tagung der British Association for the Advancement of Science in Hull; 1926 Wegener-Symposium in New York; 1939 Atlantis-Tagung in Frankfurt/M.). WEGENER nahm auf Grund der

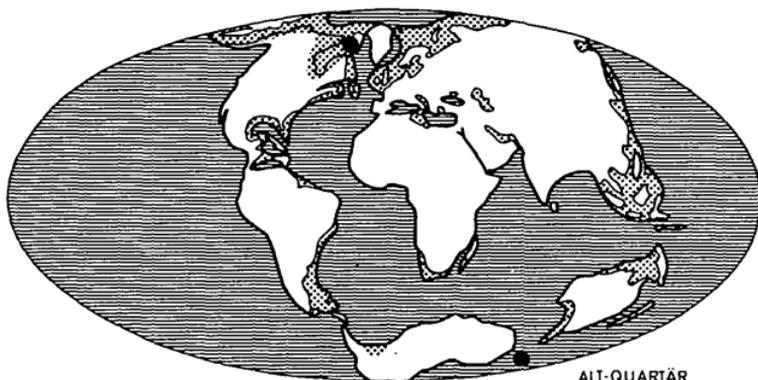
Abb. 4: Lage und Ausbildung der Kontinente im Ober-Karbon, Eozän und Alt-Quartär nach A. WEGENER (1929). Schraffiert: Ozeane, punktiert: Flachsee. Punkte = Nord- bzw. Südpol.



OBER-KARBON



EOZÄN



ALT-QUARTÄR

Untersuchungsergebnisse von EÖTVÖS als einzige Verschiebungskraft die Polfluchtkraft an, die bestrebt ist, Kontinentalschollen äquatorwärts zu treiben (vgl. auch KÖPPEN 1922). WEGENER weist ferner darauf hin, daß für die Westwanderung der Kontinente verschiedene Autoren die Reibung der Gezeitenwelle in Anspruch genommen haben, die durch die Sonnen- und Mondanziehung im festen Erdkörper erzeugt wird. Nach WEGENER ist jedoch die Deformation der Erdfigur durch Polwanderungen als Kraftquelle völlig ausreichend, um die Wanderung der Kontinente und die damit verbundene Faltungsarbeit bei Gebirgsbildung zu leisten.

Die zur Zeit der letzten Auflage der „Entstehung der Kontinente“ (1929) bekannten Vorstellungen über Konvektionsströmungen im Sinne von FISHER (1881), AMPFERER (1906, 1925), SCHWINNER (1920) und KIRSCH (1928) lehnt WEGENER nicht ab, da sie eine gute Erklärung für die Öffnung des Atlantischen Ozeans bieten. Allerdings müßte sich — nach den Worten WEGENER's — erst die theoretische Grundlage dieser Vorstellungen als tragfähig erweisen. Die von HOLMES für den ganzen Erdmantel angenommenen Konvektionsströmungen wurden erst nach dem Tod WEGENER's publiziert (HOLMES 1931). Nur wenige Geologen, wie etwa A. DU TOIT aus Südafrika, erkannten die Kontinentalverschiebungstheorie WEGENER's voll an und

versuchten sie auszubauen (DU TOIT 1937). Auch der österreichische Geologe F. E. SUESS akzeptierte sie in Zusammenhang mit der Kaledonischen Gebirgsbildung (SUESS 1938).

Die heutigen Vorstellungen: Das neue geologische Weltbild

Wie bereits eingangs erwähnt, setzte erst in den späten 50er Jahren ein allgemeiner Umschwung ein, nachdem die Vorstellungen von O. AMPFERER (1941) und von R. SCHWINNER (1942) über die Entstehung des Atlantik und des Pazifik in der Fachwelt unbemerkt geblieben waren (vgl. THENIUS 1980). AMPFERER nahm in dieser Arbeit jenes Konzept vorweg, das erst etwa 20 Jahre später durch den Ozeanographen H. HESS als „sea-floor spreading“-Konzept in die Wissenschaft eingeführt werden sollte (s. DIETZ 1961).

Anlaß zu diesem Umschwung war der Paläomagnetismus und damit die Geophysik. Messungen des remanenten (= fossilen) Erdmagnetismus an gleichaltrigen Gesteinen verschiedener Kontinente ergaben Werte, die weder mit ihrer heutigen Position noch mit einer konstanten Lage der Kontinente zueinander während der Erdgeschichte in Einklang zu bringen waren. Mit anderen Worten, die Lage der Kontinente war keineswegs konstant. Zu diesem vom Festland aus gewonnenen Befunden kamen die Ergebnisse ozeanographischer Untersuchungen, wie sie besonders seit 1968 im Rah-

men des DSDP-Programmes (= Deep Sea Drilling Project) durch das US-Forschungsschiff „Glomar Challenger“ planmäßig in allen Weltmeeren durchgeführt werden. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser geophysikalischen, geologischen und paläontologischen Untersuchungen sind der Nachweis mittelozeanischer Rücken, wie er bisher nur vom Atlantik bekannt war, in sämtlichen Ozeanen und das von diesen Rücken küstenwärts zunehmende Alter des Ozeanbodens. Diese submarinen Rücken sind von einem zentralen Graben, dem „rift valley“, getrennt. In diesem Bereich kommt es zum Aufdringen von Lavamassen und zu einer ständigen Verbreiterung des Meeresbodens („sea-floor spreading“). Im Atlantik südwestlich der Azoren konnten durch die Besatzung von Tiefseetauchbooten, die im Rahmen des amerikanisch-französischen „Famous“-Projektes (French-American Mid Ocean Undersea Study) eingesetzt waren, nicht nur submarine Kissenlava im Bereich des zentralen Grabens festgestellt werden, sondern dort auch heiße Quellen sowie Zerrungsspalten längs des Zentralen Grabens nachgewiesen werden (RIF-FAUD & LE PICHON 1977).

Zu diesen Befunden kommen jene der Seismologie über die Bebenherde und ihre Verteilung auf der Erdoberfläche. Diese treten nicht nur im Bereich der heutigen Faltengebirge (z. B. Alpen, Zagros, Himalaya, Rocky Mountains und Anden) gehäuft auf, sondern auch an Inselbögen (z. B. ja-

panische Inseln, Aleuten, kleine Antillen) und Tiefseegräben (z. B. Sunda-Graben, Peru-Atacama-Graben). Im Bereich der letzteren lassen sich die Tiefbebenherde in schrägen „Ebenen“ (= sog. Benioff-Zonen) bis in eine Tiefe von etwa 700 km verfolgen. Diese Erkenntnis führte zur Vorstellung, daß in diesem Bereich die (dichteren) Ozeanplatten in den Erdmantel absinken (sog. Subduktion) und dort schließlich wieder aufgeschmolzen werden. Das heißt, es kommt nicht nur zu einer Neubildung von Ozeanboden, sondern auch laufend zu seinem Verschwinden, was notwendig ist, sofern man keine Expansion der Erde annimmt. Das „sea-floor spreading“-Konzept schließt zugleich eine Kontinentaldrift ein. Allerdings, und diese Vorstellungen werden erst im Zusammenhang mit dem gegen Ende der 60er Jahre entwickelten „plate tectonics“-Konzept verständlich, „drifteten“ die (leichteren) Kontinentalschollen nicht auf dem (schwereren) Ozeanboden, sondern die Kontinentalschollen werden von den Ozeanschollen verschoben. Dieses von Dan MCKENZIE & R. L. PARKER (1967) sowie Jason MORGAN (1968) entwickelte Konzept der Plattentektonik besagt, daß die Erdkruste (Lithosphäre) aus mehreren Platten besteht, die sowohl Kontinente als auch Ozeanböden umfassen kann (Abb. 5), welche durch gegenseitiges Verschieben zu Gebirgsbildungen, zum Vulkanismus und zur Entstehung von Inselbögen führen. Wichtig ist dabei, daß nur ozeanische Platten



Abb. 5: „Sea-floor spreading“ und Plattentektonik (Schema). Die durch Blattverschiebungen versetzten mittelozeanischen Rücken mit den zentralen Gräben als Dehnungsfugen der Lithosphäre und ihre Gliederung in Großschollen. Tiefseegräben bzw. Gebirgsketten als Subduktions- bzw. Einengungszonen. A = Arabische Scholle, C = Cocos-Scholle, K = Karibische Scholle, S = Somalische Scholle, Pfeile = Bewegungsrichtungen der Schollen, Zahlen = Jahrmillionen (Ausdehnungswerte der Ozeane nach magnetischen Anomalien). Nach LE PICHON (1968) und MORGAN (1972) verändert und ergänzt umgezeichnet.

(-teile) in den Erdmantel absinken können, nicht jedoch Kontinentalplatten. Diese werden bei Kollisionen mit anderen Platten deformiert, wobei jedoch durchaus auch Ozeanbodenmaterial in die Kontinentalplatte eingeschoben werden kann (vgl. Ophiolithzonen).

Ozeanographische Untersuchungen haben weiters gezeigt, daß die Paßform der Kontinentalsockel Rückschlüsse auf einstige direkte Landver-

bindungen zuläßt. Diese bereits von WEGENER erkannten und ausgewerteten Befunde haben gegenwärtig durch Computerberechnungen nicht nur die einstige Position Südamerikas und Afrikas bestätigt, sondern auch den Kontakt zwischen Ostantarktis und Australien aufgezeigt (vgl. THENIUS 1977a).

Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß einst Kontinentalverschiebungen stattgefunden haben und daß die Kontinente wesentlich älter sind als die Ozeane. Die heutigen Ozeane (Atlantik, Indik, Pazifik) u. zw. sowohl die Sedimente als auch das sog. „basement“ (Basalte u. dgl.) sind nicht älter als Jura. Dies bedeutet nicht unbedingt, daß die Ozeane erst im Jura entstanden sind, sondern lediglich, daß ältere Anteile der Ozeane durch Subduktion gegenwärtig nicht mehr als solche erhalten geblieben sind. Existierte doch einst sowohl ein Proto-Atlantik als auch ein Proto-Pazifik und die Tethys.

Die Pangaea (Abb. 6) war nicht der Urkontinent, sondern nur ein vorübergehendes Stadium im Jung-Paläozoikum und im älteren Mesozoikum. Im Mesozoikum kam es zur Trennung der einzelnen Kontinentalschollen, wobei zwar die landfeste Verbindung zwischen Afrika und Südamerika in der mittleren Kreide gelöst wurde, jedoch eine solche durch Inselketten zwischen Südamerika und Australien über die Antarktis noch bestand

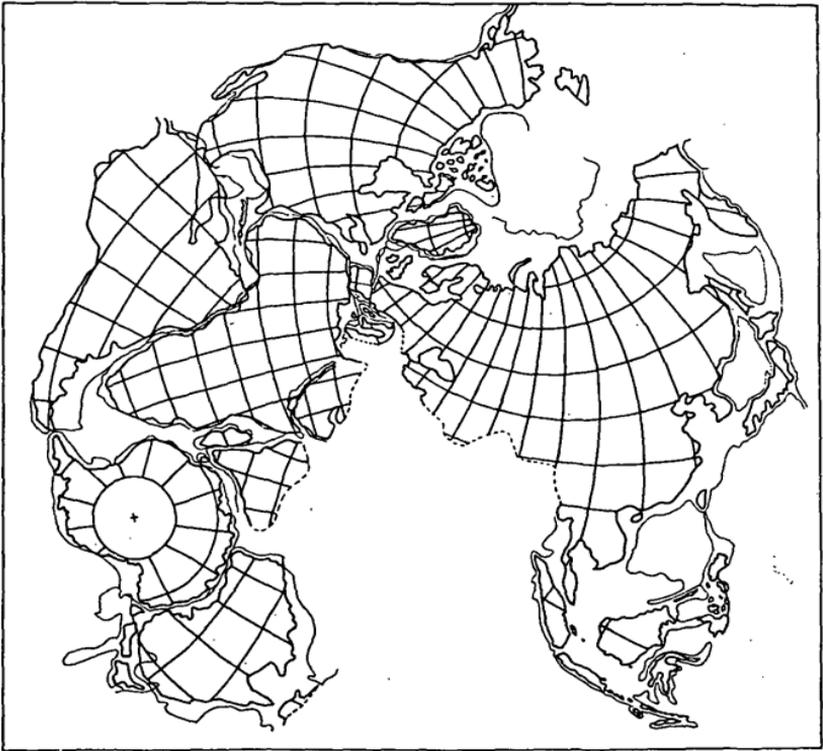


Abb. 6: Die Pangaea (Gondwana und Laurasia) an der Perm-Triaswende. Rekonstruktion nach dem „fit“ (Paßform) der Kontinentalsöckelränder, Übereinstimmung tektonischer Strukturen, einstiger Geosynklinalen und Vereisungsspuren. Position von Madagaskar und Vorderindien hypothetisch, jene von Antarkto-Australien zu Afro-Südamerika nicht ganz gesichert. Nach BULLARD & al. (1965) und SMITH & HALLAM (1970) kombiniert und umgezeichnet.

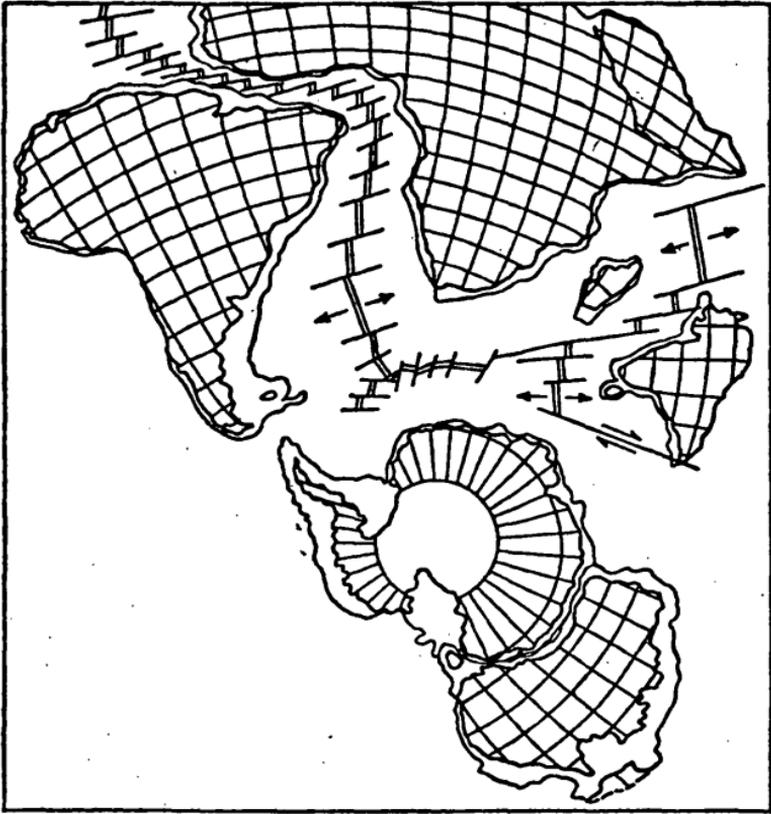


Abb. 7: Die Lage der Südkontinente zur jüngsten Kreidezeit. Doppellinien = mittelozeanische Rücken, einfache Linien = Blattverschiebungen, Pfeile = Bewegungsrichtungen. Nach McKENZIE & SCLATER (1971) verändert umgezeichnet.

(Abb. 7). Australien und Antarktis trennten sich erst im Alttertiär. Über die einstige Position von Madagaskar wird noch diskutiert.

Ein weiteres Problem bilden die Polwanderungen, mit denen WEGENER operierte. Wie bereits oben erwähnt, hat der Paläomagnetismus wertvolle Erkenntnisse gebracht, doch zeigt sich, daß es im wesentlichen keine echten Polwanderungen, sondern Wanderungen der Kontinente waren, die erstere vortäuschten. Es sind daher auch nicht primär Polwanderungen, die (nach WEGENER) durch Polfluchtkräfte zur Kontinentaldrift führten, sondern umgekehrt.

Wenn damit auch WEGENER's Kontinentalverschiebungstheorie im Prinzip bestätigt wurde, so bestehen über die Art der Verschiebung wesentliche Differenzen. Nach der Plattentektonik wandern die Kontinente nicht allein, sondern samt den zugehörigen Ozeanplatten. Der in den späteren Jahren von WEGENER nicht mehr berücksichtigte mittelatlantische Rücken spielt, ebenso wie die mitelozeanischen Rücken in den übrigen Ozeanen, eine entscheidende Rolle bei der Kontinentalverschiebung. Erweitern sich die Ozeane doch von hier aus zweiseitig, wie es bereits AMPFERER erkannte. Nicht zuletzt sind es die eigentlichen Ursachen, die sich nicht mit WEGENER's Vorstellungen von den Polfluchtkräften in Einklang bringen lassen.

Freilich wird über die eigentlichen Ursachen der Meeresbodenerweiterung auch gegenwärtig noch diskutiert. Wurde ursprünglich das im „rift valley“ aufdringende Magma in Zusammenhang mit ent-

sprechenden Konvektionsströmungen für das „sea-floor spreading“ verantwortlich gemacht, so neigt man heute vielfach dazu, in den absinkenden (dichteren) Ozeanplatten die treibende Kraft zu sehen, was etwa auch die Zerrspalten im Bereich der mitelozeanischen Rücken erklären würde.

Wie bei allen „neueren“ Hypothesen und Theorien sind auch gegenwärtig noch zahlreiche Probleme und Fragen offen. Doch erklärt die Platten-tektonik (auch als globale Tektonik bezeichnet) und die damit verbundene Kontinentalverschiebung zahlreiche Probleme, wie etwa frühere, also voralpidische Gebirgsbildungen, einstige Eiszeiten und auch die Verbreitung vorzeitlicher Tiere und Pflanzen. In den letzten Jahren haben zahlreiche Fossilfunde zur Fixierung bzw. Einengung mancher Ereignisse geführt (z. B. Entstehung des Südatlantik), die im einzelnen (durch gegenseitige Kontrollbefunde bei der Verbreitung mariner und nichtmariner Organismen) WEGENER's Vorstellungen bestätigen, manchmal jedoch davon abweichen (vgl. THENIUS 1977b).

Das neue geologische Weltbild ist somit nicht vom Fixismus, sondern vom Mobilismus geprägt. Die neuen Konzepte („sea-floor spreading“, „plate tectonics“) haben zweifellos nicht überall Zustimmung erfahren. Doch haben sie überaus zahlreiche Anregungen vermittelt, die weit über die Erdwissenschaft hinausgehen, wie dies auch bei der

Kontinentalverschiebungstheorie von Alfred WEGENER der Fall war.

D a n k s a g u n g

Für die Mithilfe bei der Literatursuche und ihrer Beschaffung sei auch an dieser Stelle dem Herrn Rat Staatsbibliothekar Dr. H. Kröll und Herrn cand. rer. nat. K. Rauscher bestens gedankt.

L i t e r a t u r

- AMPFERER, O., 1925: Zu Wegener's Hypothese der Kontinentalverschiebung. — Vortrag Geol. Ges. Wien 15. Mai 1925, Wien.
- AMPFERER, O., 1941: Gedanken über das Bewegungsbild des atlantischen Raumes. — Sitz. Ber. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. I, **150**, 19—35, Wien.
- ARLDT, Th., 1910: Referat über R. F. SCHARFF: Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika (Proc. R. Irish Acad. **28**, 1—28, 1909). — Naturwiss. Rundschau **25** (7), 86—87, Berlin.
- BACON, Fr., 1855: *Novum organum* (1620). Translated by G. W. KITCHIN. — London (Oxford Univ. Press).
- BENNDORF, H., 1931: Alfred Wegener. — Gerlands Beitr. Geophys. **31**, 337—377, Leipzig.
- BULLARD, E., J. E. EVERETT & A. G. SMITH, 1965: The fit of the continents around the Atlantic. — Philos. Trans. Roy. Soc. (A) **258** (1088), 41—51, London.
- DIETZ, R. S., 1961: Continental and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. — Nature **190**, 854—857, London.
- DORNSIEPEN, U. & V. HAAK (Red.), 1980: Internationales Alfred Wegener-Symposium. — Berliner geowiss. Abh. (A) **19**, 1—263, Berlin.
- DU TOIT, A., 1937: Our wandering continents. An hypothesis of continental drift. — London (Oliver & Boyd).

- FISHER, O., 1881: *Physics of the Earth's crust.* — London (Macmillan & Co.).
- FLÜGEL, H. W., 1980: Alfred Wegener und die Geologie Österreichs. — Vortrag J. Vers. österr. geol. Ges. Graz Sept. 1980, 26. 10. 1980, Graz.
- HOLMES, A., 1931: Radioactivity and Earth movements. — *Trans. Geol. Soc. Glasgow* 18 (3), 559—606, Glasgow.
- IRMSCHER, E., 1922: Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. Studien zur genetischen Pflanzengeographie. — *Mitt. Inst. allg. Botanik* 5, Hamburg.
- IRMSCHER, E., 1929: Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente II. Weitere Beitr. z. genet. Pflanzengeographie m. bes. Berücksichtigung der Laubmoose. — *Mitt. Inst. allg. Botanik* 8, Hamburg.
- JACOBSHAGEN, V. & al., 1980: Alfred Wegener 1880—1930. Leben und Werk. — Katalog zur Ausstellung anl. der 100. Wiederkehr seines Geburtstages, 1—60, Berlin (Reimer).
- KIRSCH, G., 1928: *Geologie und Radioaktivität.* — Wien & Berlin (Springer).
- KÖPPEN, W., 1922: Über die Kräfte, welche die Kontinentalverschiebungen und Polwanderungen bewirken. — *Geol. Rundschau* 12, 314—320, Leipzig.
- KÖPPEN, W. & A. WEGENER, 1924: *Die Klimate der geologischen Vorzeit.* — IV + 256 S., Berlin (Borntraeger).
- LE PICHON, X., 1968: Sea-floor spreading and continental drift. — *J. geophys. Res.* 73, 3661—3697, Richmond.
- McKENZIE, D. P. & R. L. PARKER, 1967: The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. — *Nature* 216, 1276—1280, London.
- McKENZIE, D. P. & J. G. SCLATER, 1971: The evolution of the Indian ocean since the late Cretaceous. — *Geophys. J. Roy. Astronom. Soc.* 24, 437—528, Oxford.
- MORGAN, J. W., 1972: Deep mantle convection plumes and plate motions. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 56, 203—253, USA.
- MORGAN, J. W., 1968: Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. — *J. Geophys. Res.* 73, 1559—1982.
- PICKERING, W. H., 1907: The place origin of the

- moon-the volcanic problem. — *J. Geol.* **15**, 23—38, Chicago.
- PLUMSTEAD, E. P., 1973: The late Palaeozoic Glossopteris flora. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 187—205, Amsterdam (Elsevier).
- RIFFAUD, Cl. & X. LE PICHON, 1977: Expedition „Famous“. 3000 Meter unter dem Atlantik. — 1—304, Köln (Kiepenheuer & Witsch).
- RUPKE, N. A., 1970: Continental Drift before 1900. — *Nature* **227** (5), 349—350, London.
- SCHARFF, R. F., 1909: On the evidence of a former land-bridge between northern Europe and North America. — *Proc. Roy Irish Acad. (B)* **28**, 1—28.
- SCHWARZBACH, M., 1980: Alfred Wegener und die Drift der Kontinente. — *Große Naturforscher* **42**, 1—160, Stuttgart (wiss. Verlagsges.).
- SCHWINNER, R., 1920: Vulkanismus und Gebirgsbildung. Ein Versuch. — *Z. f. Vulkanologie* **5**, 175—230.
- SCHWINNER, R., 1928: Astrophysikalische Grundlagen der Geologie. — *Mitt. Geol. Ges. Wien* **19**, 140—149, Wien.
- SCHWINNER, R., 1942: Der Begriff der Konvektionsströmung in der Mechanik der Erde. — *Gerlands Beitr. Geophysik* **58**, 119—158, Leipzig.
- SMITH, A. G. & A. HALLAM, 1970: The fit of the Southern continents. — *Nature* **225**, 139—144, London.
- SNIDER-PELLEGRINI, A., 1858: La création et ses mystères dévoilés. — Paris.
- SUESS, F. E., 1938: Der Bau der Kaledoniden und Wegeners Hypothese. — *Zbl. Miner. etc., B*, Jg. **1938**, 321—337, Stuttgart.
- TAYLOR, F. B., 1910: Bearing of the Tertiary mountain belts on the origin of the Earth's plan. — *Bull. geol. Soc. Amer.* **21**, 179—226, USA.
- THENIUS, E., 1977a: Meere und Länder im Wandel der Zeiten. Die Paläogeographie als Grundlage für die Biogeographie. — *Verständl. Wiss.* **144**, X + 200 S., Berlin-Heidelberg.
- THENIUS, E., 1977b: Biogeographie auf „neuen“ Wegen. — *Schr. Ver. Verbr. naturw. Kenntn. Wien* **116**, 69—110, Wien.
- THENIUS, E., 1980: Der Beitrag österreichischer Geowissenschaftler zum „sea-floor spreading“- und

- „plate tectonics“-Konzept. — Verh. geol. B.-Anst., Jg. 1979 (3), 407—414, Wien.
- WEGENER, A., 1909: Drachen- und Fesselballonaufstiege. — In: AMDRUP, G. & al.: Danmark Ekspeditionen til Grønlands Nordostkyst 1906—1908. Meddelelsen om Grønland 42, 1—75, Kopenhagen.
- WEGENER, A., 1912a: Die Entstehung der Kontinente. — Petermanns Geograph. Mitt. 58 (1), 185—195, Gotha.
- WEGENER, A., 1912b: Die Entstehung der Kontinente. — Geol. Rundschau 3, 276—292, Leipzig.
- WEGENER, A., 1920: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. — Die Wissenschaft No. 66, 2. Aufl., 1—135 S., Braunschweig (Vieweg).
- WEGENER, A., 1929: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. — Die Wissenschaft No. 66, 4. Aufl., X + 231 S., Braunschweig (Vieweg).
- WEGENER, A., 1980: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. — Nachdr. der 1. u. 4. Aufl. Hgeg. u. Einleitg. v. A. Vogel, 1—380 S., Braunschweig (Vieweg).
- WEGENER, E., 1960: Alfred Wegener. Tagebücher, Briefe, Erinnerungen. — 1—262 S., Wiesbaden (Brockhaus).
- WEGENER, E. & F. LOEWE (Hgeb.), Alfred Wegeners letzte Grönlandfahrt. — 1—304 S., Leipzig (Brockhaus).
- WUNDERLICH, H.-G., 1968: Einführung in die Geologie I. Exogene Dynamik. — Hochschultaschenbücher. Bibliogr. Inst. 340/340a, 1—197 S., Mannheim.