

Polarforschung 81 (2), 142 – 149, 2011 (erschienen 2012)

Und sie bewegen sich doch ... – 100 Jahre Theorie der Kontinentverschiebung – ein Symposium am Senckenberg-Museum

von Reinhard A. Krause

„O heiliger Sankt Florian, verschon das Haus, zünd' andere an“ diese Beschwörung zitierte der bekannte Geologe Max Semper (1870-1954) im Centralblatt für Mineralogie, um damit eine neue Idee zu bannen (SEMPER 1917). Was war vorgefallen? Was hatte die Geologen, gewohnt in Jahrmillionen zu denken, derartig in Unruhe versetzt? Wer war der „Brandstifter“, vor dem man sich fürchtete? Mit dieser Frage beginnt ein kurzer, aber faktenreicher Artikel, der anlässlich der 100jährigen Wiederkehr des Referats Alfred Wegeners erschien, in dem dieser erstmals seine Hypothese von der Verschiebung der Kontinente vorstellte (KRAUSE et al. 2012). Wegeners Vortrag „Die Herausbildung der Großformen der Erdrinde (Kontinent und Ozeane)“ fand am 6. Januar 1912 im Rahmen der Jahresversammlung der Geologischen Vereinigung im Senckenberg-Museum in Frankfurt a.M. statt.¹

Mit einem Symposium und der eindrucksvollen, interaktiven Sonderausstellung „Weltbewegend – Alfred Wegeners Theorie wird 100“, die über mehrere Bereiche des Museums präsentiert wird, erinnerten das Senckenberg Forschungsinstitut Frankfurt und das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven (AWI) am 6. Januar 2012 gemeinsam an diesen für die Entwicklung der Geowissenschaften historischen Tag. In sieben Vorträgen wurden verschiedene Aspekte des Wegenerschen Schaffens beleuchtet. In dem öffentlichen Abendvortrag gab Reinhard A. Krause (Abb. 1) eine zusammenfassende Darstellung des Wirkens und der Leistungen Alfred Wegeners.

Der Veranstaltungsort, der Festsaal des Museums, war allerdings nicht der Raum, in dem Wegener 1912 seinen Vortrag gehalten hatte, musste Volker Mosbrugger, der Generaldirektor des Senckenberg-Forschungsinstituts, in seiner stimmungsvollen Begrüßungsrede einräumen. Dieser Saal ist späteren Umbauten des in den Jahren 1904 bis 1907 errichteten Museums geopfert worden.

Großen Applaus in Abwesenheit erhielt der stellvertretende Direktor des AWI Heinrich Miller, der in einem Telefonbeitrag besonders darauf hinwies, wie eng die heutige Polar- und Meeresforschung noch mit den Arbeiten Wegeners verknüpft ist.

Auf das Symposium einstimmend, zeichnete der Geologe und Fachredakteur Ulrich Wutzke als kenntnisreicher Biograph Wegeners, dessen Lebensweg nach.

Wolfgang Jakoby von der Universität Mainz näherte sich dem überaus interessanten Thema der Entwicklung der Verschiebungstheorie und sprach an, was nur wenigen Hörern gegenwärtig war: Wegener hatte bereits 1912 und zuletzt in der 4. Auflage seines Buches „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ die Mantelkonvektion als Antriebsmechanismus für die Kontinentverschiebung erwogen, diese Idee aber offensichtlich nicht mit dem nötigen Nachdruck verfolgt.

Rolf Schroeder vom Senckenberg-Forschungsinstitut erinnerte an die Darstellungen sich verschiebender Kontinente die vor Wegeners Theorie erschienen, insbesondere an jene von Antonio Snider-Pellegrini (1802-1885), die dieser 1858 veröffentlicht hatte. Schröder präsentierte vor allem die paläontologischen Aspekte und Argumente, die für Wegeners Idee sprachen – ein Thema, das Alan Lord, vom Senckenberg-Forschungsinstitut, noch vertiefte, mit besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Ostrakoden (Muschelkrebse) beiderseits des Atlantiks. Für den geologischen Laien war Lords Feststellung beeindruckend, dass die westafrikanischen Erdölfelder tatsächlich an der entsprechenden Nahtstelle der Ostküste Südamerikas ihre Fortsetzung finden.



Abb. 1: Vortragender und Organisatoren des Symposiums (v.l.) Reinhard Krause, Volker Mosbrugger und Eberhard Schindler am 6. Januar 2012 im Vortragsaal des Senckenberg-Museums (Foto: Senckenberg).

¹ Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Am Alten Hafen 26, D-27568 Bremerhaven.

1924 hatte Wegener zusammen mit seinem Schwiegervater Wladimir Koeppen das bahnbrechende Werk „Die Klimate der geologischen Vorzeit“ publiziert, in dem die Autoren die Kontinent- und Polwanderung kombinieren und die Milankovitch-Zyklen als Klimatrigger einführen. Diesem Thema widmete sich der Vortrag des früheren Direktors des AWI und Kenners Wegeners, Jörn Thiede.

Der Geologe Karsten Piepjohn präsentierte in seinem reich bebilderten Vortrag ein Lehrstück zum Thema Kontinentdrift, in dem er den Weg der Inselgruppe Spitzbergen über 600 Millionen Jahre vom Südpol zum Nordpol verfolgte, wobei er für die verschiedenen Zeitabschnitte jeweils die Position des Krustenstücks auf dem Globus und die paläoökologische Situation nachzeichnete.

Abgeschossen wurde die Vortragsserie durch Frank Wilhelms vom AWI mit einer Darstellung der aktuellen internationalen Forschungen zu Eisschilden und über Eiskernbohrungen einem wichtigen Mittel zur Rekonstruktion des Klimas vergangener Epochen.

Das Symposium in Frankfurt war nicht die einzige Veranstaltung zum Jubiläum der Kontinentdriftthese. Die Universität Marburg hat im Studium Generale des Wintersemesters 2011/12 diesem Ereignis eine ganze Vorlesungsserie gewidmet. Von den insgesamt 14 vortragenden Wissenschaftlern waren vier vom AWI. Die Themen bewegten sich von einer Biographie Alfred Wegeners über Beiträge zur Atmosphärenforschung bis zu geophysikalischen Fragen und es war kein Zufall, dass 100 Jahre nachdem Wegener am 10. Januar 1912 in seinem Dienort Marburg die Verschiebungstheorie vorgestellt hatte, diese in einem Vortrag von Reinhard A. Krause, AWI, erläutert und diskutiert wurde.

Auch im Ausland wurde der Wegenerschen Verschiebungstheorie gedacht. Am 8. Februar fand in der Universität Oslo ein Alfred-Wegener-Seminar statt, das durch einen Vortrag von Jörn Thiede eingeleitet wurde, anlässlich dessen auch Ausschnitte aus dem Wegenerschen Expeditionsfilm gezeigt wurden.²

Neben den universitären Veranstaltungen haben fast alle großen deutschsprachigen Tageszeitungen – zum Teil umfangreiche – Artikel zu Wegener und seiner These von der Verschiebung der Kontinente veröffentlicht. Beachtlich ist auch der Artikel in der Märzausgabe 2012 der Monatszeitschrift GEO. Die Zahl der Radio- und Fernsehinterviews, die von Mitarbeitern des AWI zu dem Thema abgegeben wurden, liegt im zweistelligen Bereich. Anfragen zu Wegener erreichten das AWI aus der ganzen Welt. So plante z.B. ein renommierter schwedischer Fernsehsender eine umfangreiche Dokumentation zur Verschiebungstheorie. Als Drehorte waren Marburg, Frankfurt und Bremerhaven im Gespräch. Das ZDF hat am 5. Februar 2012 im Rahmen ihrer populären Wissenschaftsreihe „Terra X“ eine Dokumentation zu Alfred Wegener ausgestrahlt.

Das große wissenschaftliche und öffentliche Interesse an Wegener und seinem Werk ist Anlass, eine Reflexion zu dem Thema beizusteuern. Diese ist fokussiert auf den Aufsatz WEGENER (1912) und die vier Auflagen seines Buches „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ (1915, 1920, 1922,

1929, nachfolgend zitiert als EKO 1 – 4). Vom Frühling 1912 bis zum November 1928 variieren Wegeners Argumentationen gelegentlich. Korrekterweise müsste man bei der Kommentierung mancher der Ausführungen zur Kontinentverschiebung bis zu fünf, gelegentlich sogar sechs Zitate anführen, wenn man auch das Buch „Die Klimate der geologischen Vorzeit“ (KOEPPEN & WEGENER 1924) mit einbeziehen muss. Das ist im Rahmen der vorliegenden Reflexion nicht intendiert. Hinzu kommt, dass bei allem Scharfsinn und bei aller Sorgfalt, die Wegener in vielen Punkten demonstriert, der aufmerksame Leser Inhomogenitäten und sogar Widersprüche, nicht nur zwischen den verschiedenen Ausgaben, entdecken kann. Es wäre eine aus wissenschaftshistorischer Sicht lohnende Aufgabe Wegeners Fortschreibung der Theorie samt ihrer Rezeptionsgeschichte darzustellen. Im Folgenden wird lediglich der Versuch gemacht die Hauptlinien der Wegenerschen Gedanken und Aussagen herauszuheben und gelegentlich zu kommentieren.

Erstaunlich ist, dass Wegener bereits im Aprilheft 1912 von Petermanns Mitteilungen, eben zwei Monate nach seinem Frankfurter Vortrag, unter dem Titel „Die Entstehung der Kontinente“ einen zweifellos bahnbrechenden Aufsatz veröffentlichte (WEGENER 1912), der als Fundament für EKO 1-4 anzusehen ist. Der Titel kann allerdings leicht missverstanden werden. Über die Genese der Landmassen wird nur in einem kleinen Absatz spekuliert. Das hauptsächliche Thema ist die Entwicklung der Aufteilung und Verteilung der Kontinente und Ozeane auf geologischer Zeitskala – das derzeitige Antlitz der Erde als Folge von Landmassenzerfall und Verschiebung – ausgehend von einem Urkontinent, den Wegener „Pangaea“ nannte.³

Dass Wegener im Zusammenhang mit seinem ersten Aufsatz bereits auf eine große Literaturliste zurückgreifen konnte verdankte er zu einem erheblichen Teil den Kollegen an der Marburger Universität. In einem Brief an Wladimir Köppen schrieb er:⁴ „*Die Geologen stöbern alles, was ich brauche, auf, und legen es mir vor, so dass ich 9/10 der Arbeit spare. Sonst bräuhete ich noch Monate, um so weit zu kommen, wie ich jetzt bin.*“

Diese Aussage ist sicher auch gültig für die erste Buchfassung zur Verschiebungstheorie „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ von 1915 (EKO 1). Im Vorwort dieses 94seitigen Werkes dankt er speziell dem Geologen Hans Cloos (1885-1951), der sich 1914 in Marburg habilitierte.

Es ist berechtigt, nach dem Anspruch von „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ zu fragen. Es ist kein Lehrbuch und es produziert und begründet, auch wenn Wegener von Kontinentalverschiebungstheorie (EKO 1-3) und Kontinentverschiebungstheorie (EKO 4)⁵ spricht, keine Theorie im klassischen naturwissenschaftlichen Sinne, an die man u.a. den Anspruch einer gewissen Geschlossenheit stellt.⁶ Herauszustreichen ist allerdings: Es gibt einen „Theoriekern“ und der alleine ist so gewichtig, dass er, wie man es von einer Theorie verlangen darf, Prognosen erlaubt.

Das Buch ist durch seinen deduktiven Charakter geprägt. Am Anfang steht die Theorie. Nachdem die alten Modelle, Landbrücken- und Kontraktionstheorie, verworfen werden, ist es zunächst eine Sammlung von Beweisen für die Verschiebungstheorie, die durch zusätzliche Erläuterungen untermauert

werden. Die Theorie ist noch in der Entwicklung begriffen, wie Wegener gelegentlich anklagen lässt.

Immer wieder wird die Frage gestellt, wie Wegener auf die Idee der Kontinentverschiebung kam, bzw. wieso er sich als Meteorologe derartig intensiv mit einer Sache beschäftigte, die der Geologie oder der Geophysik zuzuordnen wäre. Dabei wird immer wieder die Begebenheit kolportiert, die Wegener tatsächlich in einem Brief erwähnt, nämlich, dass ihm die Parallelität der Küsten Südamerikas und Afrikas in die Augen gesprungen sei. Der eigentliche Anstoß, sich mit der Sache tiefer zu befassen, stammt aber von der Lektüre eines „Sammelreferats“. Was ihn an diesem Text besonders reizte, erwähnt er nicht⁷ und es ist nicht sicher, um welche Schrift es sich gehandelt hat. Man kann davon ausgehen, dass sein Interesse dadurch geweckt wurde, dass hier zwei Lehrmeinungen vertreten wurden, die er für falsch hielt:

1. Die Landbrückentheorie – die Idee, dass in geologischer Vorzeit zwischen den Kontinenten, wie wir sie heute kennen, verschiedene Landverbindungen existierten, über die der Austausch von Fauna und Flora, den die Paläontologen zweifelsfrei nachgewiesen hatten, erfolgt sein sollte.⁸

2. Die Kontraktionstheorie – ein Schrumpfen des Globus, das die Gebirgsbildung erklären sollte.

Wegener konnte bereits auf die Erkenntnis zurückgreifen, dass sich die Oberfläche der Erde in zwei Klassen teilt, in Kontinentalfläche und Meeresboden – mit anderen Worten: die Häufigkeit der Höhe der Erdoberfläche ist auf zwei Extrema verteilt, was sich deutlich in der sogenannten hypsometrischen Kurve spiegelt.⁹ Dass, was uns derzeit als trivial erscheint, war damals durchaus nicht selbstverständlich, da die Topographie des Meeresbodens nur sehr mangelhaft bekannt war. Akzeptiert man die hypsometrische Einteilung, die insbesondere die Tatsache der steilen kontinentalen Ränder widerspiegelt, kommt man zu einem weiteren Schritt, zu der Frage nach der chemischen Zusammensetzung der Kontinente und der Ozeanböden. Es stellt sich heraus, dass diese differieren – sie präsentieren sich als „Sial“ (Silizium und Aluminium) und „Sima“ (Silizium und Magnesium). Das Sial, das die Kontinente bildet (im wesentlichen Granit und Gneis und deren Verwitterungsprodukte) hat ein geringeres spezifische Gewicht als das Sima (im wesentlichen Basalt). Damit drängt sich der Gedanke auf, das Sial könnte irgendwie auf dem Sima schwimmen, wie Schollen auf dem Wasser. Es ist also ganz naheliegend, dass, wenn diese Fragmentierung existiert,¹⁰ sie seit langem existiert – d.h. Kontinente müssen sehr alt sein, vor ewigen Zeiten entstanden und können nicht untergehen und selbstverständlich konnten Landbrücken, wenn sie denn existierten, auch nicht untergehen oder verschwinden. Dieser Sachverhalt – das, was Wegener herausstreicht – lässt sich auch so formulieren: Nie war der Ozeanboden Bestandteil von Kontinenten.

Wie Wegener mit dem „Landbrückentheorem“ umgeht, ist ein Paradebeispiel für seine Art zu denken und zu argumentieren. Er weiß, dass alle Paläontologen und Biogeographen auf mehr oder weniger ausgedehnte Landbrücken fixiert sind. Ohne die Annahme derselben können sie ihre Ergebnisse nicht erklären und er folgert: Die „Landbrückensucht“ ist der beste Beweis für die Verschiebungstheorie.

Ein weiterer Punkt, der Wegener von Beginn an gestört hat, war die Idee – was Deutschland betraf, darf man von einer

Lehrmeinung sprechen – der Globus, unsere Erde, würde im Laufe der Zeit auskühlen und in Folge der Abkühlung schrumpfen, wobei sich an seiner Oberfläche Runzeln bilden, wie auf einem lagernden Apfel. Diese so genannte Kontraktionstheorie sollte die Orogenese erklären.

Schon der Vergleich hinkte fürchterlich. Wenn man einen Apfel kühlt, wird dieser nicht schrumpelig. Der Apfel schrumpelt, weil er Flüssigkeit, d.h. Masse verliert. Diesem Bild entsprechend, müsste die Erde innen stärker schrumpfen als außen. Eine homogen geschichtete Kugel, die sich abkühlt, bildet keine Runzeln. Aber selbst, wenn es zu einem so genannten „Gewölbedruck“ käme (vgl. z.B. KREICHGAUER 1902), könnte dieser nie durch Molekularkräfte aufgefangen werden und zur Gebirgsbildung beitragen (WEGENER 1912, S. 186/7), sondern das Ganze würde in Bruchstücken enden. Außerdem müsste sich der Vorgang über den gesamten Globus erstrecken, was nicht mit der Existenz von Grabenbrüchen zu vereinbaren ist, die Zerrungszonen sind.

Wegener weist schon in seiner Veröffentlichung von 1912 darauf hin, dass für ihre jüngere Lebensphase eine Abkühlung der Erde nicht bewiesen ist, da nach neueren Erkenntnissen radioaktive Prozesse im Erdinneren angenommen wurden.

Natürlich taucht auch die Frage auf, warum der Unterschied zwischen Meeresboden und Kontinenten besteht. Wegener erläutert die Sache wie folgt: Er postuliert zunächst eine Panthalassa, ein 3 km tiefes, den gesamten Globus bedeckendes Urmeer, darunter soll sich dann die etwa 30 km dicke Sialschicht befinden. Diese Schicht reißt auf – die Frage nach den Kräften die das bewirken wird zurückgestellt – es kommt dann anschließend zu Kollisionen. Kollisionen bedeuten aber Zusammenschub. Und da dieser Zusammenschub unter der Bedingung der Isostasie¹¹ stattfinden muss, folgt daraus eine Verdickung. Und diese Verdickung bewirkt, dass die Kontinente aus der Panthalassa herauswachsen. Über mögliche Zerrspannungen im Sial so Wegener, kann dieser Vorgang nicht rückgängig gemacht werden. Vielmehr würden diese bestenfalls zu einer Fragmentierung desselben führen. Wir haben also genau den Fall, den man aus der Praxis kennt. Kommt Druck auf ein Eisfeld, überschieben sich die Schollen, backen zusammen und bilden *ridges*. Durch eine Zerrspannung kann zwar das Eisfeld wieder zerfallen, die Höhe bzw. Dicke der neu entstandenen Schollengebilde aber nicht rückgängig gemacht werden.

Bis in die Mitte der 1920er „ignorierte“ Wegener die „MOHO“, die heute allgemein akzeptierte Grenzfläche zwischen Erdkruste und oberem Mantel, die seit 1910 ansatzweise bekannt war und die heute im Rahmen der Plattentektonik eine Rolle spielt.¹² In der EKO 4 (S. 53-60) diskutiert Wegener allerdings die Existenz von relativ leichtflüssigen zusammenhängenden Schichten ausführlich. Er führt aus, dass die Existenz derartiger Schichten der Verschiebungstheorie nicht widersprechen würde, auch wenn diese nur zwei verschiedene Oberflächenelemente zur Charakterisierung der äußeren Erdschichten benötigt, die Kontinente – das granitische Sial – und den Meeresboden – das basaltische Sima. Man beachte allerdings, dass die häufig reproduzierte schlichte Skizze „Schnitt im größten Kreise durch Südamerika und Afrika in getreuen Größenverhältnissen“ letztmalig in EKO 3 verwendet wird (Fig. 28 S. 101). Bei der Diskussion die

Wegener zu diesem Themenkomplex liefert, wird besonders deutlich dass die Datenlage Ende der 1920er nicht hinreichte um zu abschließenden Urteilen zu gelangen. Tatsächlich dauerte es bis in die 1970er Jahre bevor die Datenlage sicherere Aussagen ermöglichte.

Im Rahmen der von Wegener angeführten geophysikalischen Argumente ist ein weiterer Sachverhalt von Bedeutung und von wissenschaftshistorischer Brisanz. Noch in der dritten Auflage spricht Wegener von der „*Schlichtheit der Tiefseeböden*.“ Wörtlich: „*In dieser größeren Schlichtheit tut sich eine größere Plastizität, ein höherer Grad von Flüssigkeit der Tiefseeböden kund.*“ Dieses grundsätzlich richtige Argument benutzt Wegener (EKO 3, S. 27), um die Mittelozeanischen Rücken zu relativieren, d.h., um diese kleinzureden. Und in EKO 4 sagt Wegener sinngemäß, die Ergebnisse der Lotungen der Deutschen Atlantischen Expedition mit dem Forschungsschiff „Meteor“¹³ wären noch nicht hinreichend ausgearbeitet, um sie in seine Betrachtungen einzubeziehen.

Es gibt ein weiteres geographisch-ozeanographisches Faktum mit dem Wegener ringt und zu dem er keine eindeutige Stellungnahme einnehmen kann. In EKO 4 von 1929 sagt er: „*Über die Natur der Tiefseerinnen lässt sich wohl auf Grund der bisherigen Beobachtungen noch kein abschließendes Bild gewinnen.*“ Und seine Diskussionen in diesem Zusammenhang, z.B. betreffend die Tiefseeergräben vor der Südamerikanischen Westküste, sind inkonsistent, wenn nicht widersprüchlich.

Zusammenfassend darf man konstatieren, dass sich weder für die Tiefseeergräben noch für die Mittelozeanischen Gebirge eine befriedigende Einordnung in das Wegenersche Konzept finden ließ. Daran ändern auch die „Ergänzenden Bemerkungen über die Tiefseeböden“ in EKO 4 (S. 210-219) nichts.

Bemerkenswert ist, dass Wegener die Diskussion des Mittelozeanischen Problems auch aufgreift, wenn er die Ursachen der Verschiebung betrachtet. In diesem Zusammenhang wird er deutlich konkreter. Wenn man die entsprechenden Stellen in EKO 4 (S. 182, 184) mit den heutigen Kenntnissen im Kopf liest, dann gewinnt man den Eindruck, dass Wegener nur zwei oder drei gedankliche Verknüpfungen fehlen und er hätte das Rätsel der Natur des Mittelatlantischen Rückens gelöst, diese als Spreizungszone erkannt, womit ihm der Schlüssel zur Plattentektonik in den Schoß gefallen wäre.

Aber es sei daran erinnert, Wegener war ab 1928 damit beschäftigt, Grönlandexpeditionen zu planen, um dann 1929 mit Hand- und Hundeschlitten bei -30 °C über das grönländische Inlandeis zu reisen.

Die geologischen Argumente, die Wegener zur Stützung seiner These anführte dürfen ein besonderes Interesse beanspruchen. Als Fachfremder hat sich Wegener diesbezüglich besondere Mühe gegeben. In EKO 4 nehmen diese Argumente tatsächlich fast 40 Seiten ein (S. 61-99), gegenüber knapp 30 Seiten für die geophysikalischen Begründungen. Wegener beginnt das Kapitel in der dritten Auflage mit folgenden Worten: „*Für unsere Auffassung, dass der Atlantik eine ungeheuer erweiterte Spalte darstellt, deren Ränder früher unmittelbar zusammengehangen haben, ergibt sich eine sehr scharfe Kontrolle durch einen Vergleich des geologischen Baues der beiden Seiten.*

Denn man wird erwarten dürfen, dass Faltungen und andere Strukturen, die vor dem Abriss entstanden sind, von der einen zur andern Seite hinüberführen, und zwar müssen ihre Enden beiderseits des Ozeans so gelegen sein, dass sie in der Rekonstruktion als unmittelbare Verlängerungen erscheinen.“ Wegener führt aus, dass diese Bedingungen erfüllt sind, zu Recht wie wir wissen, aber es ist zu beachten, dass es seinerzeit Fachwissenschaftler gab, die dies vehement abstritten.

Zu den geologischen Argumenten hier nur noch eine Anmerkung – in der EKO 4 beschließt Wegener das entsprechende Kapitel mit einem längeren Zitat des französischen Geologen Argand. Dieser schreibt: „*Seit 1915 und besonders seit 1918 habe ich lange den Grad der Glaubwürdigkeit der Verschiebungstheorie überprüft ...*“ und er fand keine prinzipiellen Gründe, die eine Ablehnung der Theorie notwendig gemacht hätten. Und in Bezug auf die Entwicklung der Wegenerschen Thesen schreibt er „*... Diese Arbeit der Reinigung und Verfeinerung ist sehr fühlbar in der Reihe der Veröffentlichungen von Wegener. Stark begründet in den Kreuzungspunkten von Geophysik, Geologie, Biogeographie und Paläoklimatologie, ist sie nicht widerlegt worden.*“ Und sinngemäß führt er weiter aus, dass die Einwände gegen Wegeners Ideen zwar häufiger werden, sich diese aber „*nur auf einige Nebensachen und niemals, bis jetzt, auf die lebenswichtigen Teile*“ bezogen haben.¹⁴

Um im Rahmen der vorliegenden Betrachtung zu einer gewissen Geschlossenheit zu kommen, muss noch der Begriff der Polwanderung eingeführt werden, der bei der Wegenerschen Darstellung der Verschiebungstheorie eine relativ große Rolle spielt und an unterschiedlichen Stellen seiner Werke auftaucht. Interessanterweise wurde die Vorstellung, dass in geologischen Zeiträumen Polwanderungen stattgefunden hatten, von vielen Geologen problemlos akzeptiert.

Die Wanderung der Pole ist eine Umschreibung der Verlagerungen der Rotationsachse des Erdkörpers, für die verschiedene Gründe denkbar sind – endogene und exogene und selbstverständlich Kombinationen von beiden – z.B. neben Kontinentverschiebungen, Klimaänderungen mit entsprechenden atmosphärischen und ozeanographischen Folgen, das sind im wesentlichen Vereisungen und Sedimentationen.

Man beachte – selbst bei vollständiger isostatischer Anpassung, d.h. vom Mittelpunkt der Erde aus betrachtet, liegen in allen (symmetrisch um die Rotationsachse angeordneten) Raumwinkeln gleiche Massen – können dennoch Unterschiede im Trägheitsmoment auftreten.¹⁵ Und grundsätzlich soll nach Wegener gelten, dass die vollständige Anpassung des rotierenden Erdkörpers entsprechend einer neuen Achslage – die Umorientierung des Rotationsellipsoids – verzögert vor sich geht, hingegen die Hydrosphäre der Situation stets unmittelbar folgt, wodurch sich der Rückzug des Meeres und Überschwemmungen an anderen Stellen, die in der Geologie nachgewiesenen Regressionen und Transgressionen, gut erklären lassen (z.B. EKO 4 S. 165).

Ein großer wissenschaftlicher Erfolg war das Buch, dass Wegener 1924 zusammen mit seinem Schwiegervater Wladimir Köppen veröffentlichte: „Die Klimate der geologischen Vorzeit“ (KÖPPEN & WEGENER 1924). Der Ansatz war eine Kombination zwischen Kontinent- und Polwanderung

samt der Einführung der Milankovitch-Zyklen. Milutin Milankovitch (1879-1958) hatte gezeigt, dass die Erdbahn, sowie die Neigung der Ekliptik, zyklischen Veränderungen unterliegen, durch die es, wegen des damit einhergehenden variierenden Sonnenabstandes, zu einer Änderung der Einstrahlung auf der Erde kommt, wodurch eine Klimaänderung getriggert werden kann. Mit ihrem weitgreifenden Ansatz konnten Wegener und Köppen u.a. den „Klimagürtel im Karbon und Perm“ begründen und fanden auch eine Erklärung zur Klimageschichte des Quartärs.

Das Buch ist nicht zuletzt deswegen so bedeutend, weil bei der Diskussion der klimatischen Vergangenheit der Erde, die Schwachstellen der Wegenerschen Darstellung der Kontinentdrift nicht zum Tragen kamen. Die Verschiebungstheorie wird als Tatsache angenommen. Die Probleme, die in EKO 1-3 von zentraler Bedeutung sind und die Entwicklung des Werkes kennzeichnen – angefangen bei den Ursachen der Verschiebung bis zu den Mittelozeanischen Rücken, den Tiefseeergräben und die Orogenese – spielen in diesem Zusammenhang keine wesentliche Rolle. Das Werk kann aber eine Fülle von geologischen, paläontologischen und biogeographischen Problemen zwanglos erklären, womit sich an die oben wiedergegebenen Aussagen von Argand anknüpfen ließe.

Erkennbar kamen die Widerstände gegen die Verschiebungstheorie aus den Reihen der Geologen und Geographen, hingegen die Paläontologen weitgehend zustimmende Reaktionen zeigten. Wenn man dieser Behauptung quantitativ nachgehen will, sind die Notizen von Wegeners Hand in seinem persönlichen Exemplar der EKO 1 hilfreich. Wegener hat hier viele Buchbesprechungen und Literaturauszüge zitiert, zustimmende wie ablehnende. Gleiches lässt sich von dem Wegenerschen Notizbuch sagen, das dieser ab 1920 unter dem Titel „Kontinentalverschiebungen“ geführt hat.¹⁶

In der Aufzählung der wohlbegründeten und stichhaltigen geologischen Argumente die gegen die Verschiebungstheorie angeführt wurden, fehlt noch ein weiterer gravierender Punkt: Sie konnte die Orogenese nicht umfassend erklären. Tatsächlich war sie diesbezüglich nur in den Regionen schlüssig, in denen Kontinentränder kollidieren, die, wie wir heute wissen, gleichzeitig Plattenränder sind. Ein klassisches Beispiel dafür ist der Himalaya. Für die Bildung z.B. der Anden war sie unbrauchbar und die Erklärungen, die Wegener dazu versuchte, sind, vorsichtig ausgedrückt, nicht stichhaltig.

Abschließend soll hier, weil Wegener zu diesem Komplex viele Überlegungen angestellt hat, noch etwas zu den Kräften gesagt werden, die eine Kontinentbewegung bewirken sollten. Wegener führte die folgenden, theoretisch möglichen Kräfte an (EKO 1 S. 54 u. an verschiedenen anderen Stellen EKO 1-4):

1. Der Widerstand planetarischer Gase („kosmische Kräfte“).
2. „Flutkräfte“ auf Grund von gravitativen Wechselwirkungen mit anderen Körpern im Weltraum die auf den gesamten Erdkörper und auf die Atmosphäre und Hydrosphäre wirken, die ihrerseits in Wechselwirkung mit den Kontinenten stehen.
3. „Exogene Einflüsse“, die sich aus der Sonneneinstrahlung ergeben und sich niederschlagen in atmosphärischen und ozeanographischen Ereignissen (Vereisungen, Wind und Meeresströmungen, biologische Faktoren), die ihrerseits in

Wechselwirkung mit den Kontinenten stehen.

4. Magnetische Verschiebungskräfte, die sich aus den unterschiedlichen Lagen des Rotationspols und des Magnetpols ergeben – was Wegener damit meint, bleibt unklar, hierzu macht er keine weiteren Angaben.
5. Umorientierung der Abplattung der Erde wegen periodischer Polschwankungen.
6. „Polflucht des Landes“ (dazu vergl. Krause 2007).

Beachtenswert ist: Endogene (thermische) Ereignisse werden in EKO 1-3 nicht angeführt. Ausnahmen sind Andeutungen und Erwähnungen zu konvektiven Prozessen im Erdinneren in dem Artikel von 1912 (!) und in EKO 4. Aber Wegener betrachtet die Sonne und benachbarte Planeten und versucht Analogien auszumachen (ab EKO 1 S. 57).

Bei diesen Betrachtungen wird einmal mehr deutlich, wie grundsätzlich Wegeners Überlegungen sind. Wiederholt weist er darauf hin, dass die Erde ein zähflüssiges Konglomerat ist, das durch Eigengravitation zusammengehalten wird. Er führt dann aus, dass in diesem Zusammenhang die molekularen Kräfte, die sich in einer dünnen, quasi starren Schicht dokumentieren, die allein wir als unsere Erde wahrnehmen, die Wirkung intersolarer oder interplanetarer „Massenkräfte“ nicht auffangen können. Gegenüber den extraterrestrischen Massenkräften sind die molekularen Kräfte, die z.B. Gesteine zusammenhalten, vernachlässigbar. Wegener diskutiert dieses am Beispiel des Jupiterflecks und sagt (EKO 1 S. 58): *„Da nämlich die verschiebenden Kräfte jedenfalls Massenkräfte sind, also mit der Größe der Weltkörper wachsen, während die Widerstände der Molekularkräfte von ihr unabhängig sind, so ist auch unter gleichen physikalischen Bedingungen zu erwarten, dass größere Weltkörper sich leichtflüssiger verhalten als kleine.“*

Eine weitere Thematik, auf die hingewiesen werden muss, weil sie im Rahmen der Verschiebungstheorie stets von Bedeutung war und von Wegener in allen Auflagen der EKO diskutiert wurde, betrifft die Rheologie – das Verformungs- und Fließverhalten von Gesteinen (und Eisschilden).

In diesem Kontext eine Anmerkung: Im Zusammenhang mit der grundsätzlichen Akzeptanz der Theorie hat die Idee eine Rolle gespielt, dass der Pazifische Ozean die Spur oder die Narbe des Mondes sei, der sich durch nicht näher bestimmbare Prozesse von der Erde abgelöst hat oder herausgerissen wurde. Diese Vorstellung dürfte, neben der Tatsache, dass Wegener auch die Mondoberfläche zu Analogiebetrachtungen verwendet (EKO 1 S. 57/58), die Ursache dafür gewesen sein, dass er sich auch mit der Entstehung von Mondkratern befasst. Dabei erledigt Wegener auch gleichzeitig das strittige Thema der Mondgenese. Er schreibt (WEGENER 1921 S. 46): *„Daher werden wir zu dem Schluss gedrängt, ... dass also der Mond durch den Zusammensturz einer großen Anzahl diskreter fester Körper entstanden ist, die in nahe beieinanderliegenden Bahnen die Sonne umkreist haben. Dieser Sammlungsprozess wird naturgemäß langsam begonnen haben ...“*

Abschließend etwas zu dem Punkt, dem Wegener besondere Bedeutung zumaß: der Nachweis der Kontinentdrift durch geodätische Methoden, d.h. durch die direkte Messung der Kontinentabstände und deren Vergleich mit Messungen, die zeitlich um einige Jahre oder besser Jahrzehnte versetzt, durchgeführt wurden.

In EKO 4 hat Wegener erstmals die „geodätischen Argumente“ an den Beginn seiner Beweisführung gestellt (EKO 4 S. 22-34). Wegener beginnt dieses Kapitel mit einer Betrachtung über die „absolute Zeitdauer der geologischen Abschnitte.“ Man beachte: 1928 liegen neben anderen Techniken erste Altersbestimmungen auf der Basis radiometrischer Methoden vor. Ein direkter Vergleich der damaligen mit den heute gültigen Daten kann hier nicht gegeben werden. Wenn man aber davon ausgeht, dass die modernen Werte um den Faktor 2-3 höher liegen als in den 1920ern, hat man einen guten Anhaltspunkt.¹⁷ Kennt man nun auf Grund beispielsweise paläogeographischer oder auch paläontologischer Befunde den geologischen Horizont, der zur Zeit der Trennung von Kontinentblöcken vorherrschte, kann man die Spreizungsgeschwindigkeit abschätzen. Wegener beurteilt die ermittelten Zeitwerte kritisch. Er weiß, dass diese leicht um 100 % falsch sein können und er weiß selbstverständlich auch um die Unsicherheit der Trennungszeiten. Bei diesen unterlaufen ihm weitere Fehler, so dass die abgeschätzten Driftgeschwindigkeiten im Bereich des Nordatlantiks um den Faktor einige Hundert zu groß sind. Im Südatlantik kommt er zu anderen Ergebnissen. Hier schätzt er die Spreizungsgeschwindigkeit auf 20 cm pro Jahr, was dem aktuellen Wert von 3,4 cm pro Jahr vergleichsweise nahe ist (EKO 4 Tabelle S. 25). Man beachte aber, in EKO 4 (S. 220) ist ein Anhang eingefügt. Hier bekennt sich Wegener zu dem neusten Ergebnis der Abstandsmessungen zwischen Amerika und Europa zu 32 cm pro Jahr.

Zusammenfassend ist zu konstatieren: Wegeners Verdienst besteht in der Zurückweisung der Lehrmeinungen von versunkenen Landbrücken und einer Schrumpfung des Globus und deren Ersatz durch die revolutionäre Vision der Kontinentverschiebung. Diese führt zu einem schlüssigeren und vor allem zu einem mit den physikalischen Gesetzen kompatiblen Bild der Entwicklung der Erdoberfläche. Ein zentraler Gedanke der Wegenerschen Vorstellung ist, dass sich das Material das die Kontinente charakterisiert, von dem das Meeressbodens bildet, generell unterscheidet (Sial und Sima), was unter der Voraussetzung, dass die Erdoberfläche im Wesentlichen isostatisch ausgeglichen ist, zu einer weitgehenden Konstanz der Kontinentfläche führt, sofern sich die Substanz des Meeressbodens auch unter den Kontinenten fortsetzt.

Zur Stützung seiner Vorstellung griff Wegener in extenso auf geologische und paläontologisch-biologische Argumente zurück die überwiegend stichhaltig waren. Aber auch diese wurden von Fachwissenschaftlern nicht einhellig und auch nicht in toto akzeptiert. Umgekehrt gab es Folgerungen aus seiner Theorie, die mit der geologischen Wirklichkeit nicht übereinstimmten. Weder konnte diese für die mittelozeanischen Rücken noch für die Tiefseeegräben eine einleuchtende Erklärung liefern, und auch für die Orogenese konnte daraus kein widerspruchsfreies Konzept abgeleitet werden.

Wie oben ausgeführt, liegen der Wegenerschen Theorie der Kontinentverschiebung weniger empirische, sondern grundsätzliche physikalische Überlegungen zugrunde. Aber auch mit seinen zwingenden physikalischen Argumenten konnte Wegener sich nicht vorbehaltlos durchsetzen, was man darauf zurückführen darf, dass er keine Kräfte angeben konnte, die als hinreichend galten, um eine Verschiebung hervorzurufen.

Auch wenn bestimmte „Schulen“ in Deutschland und in anderen Ländern die Verschiebungstheorie ablehnten,¹⁸ gab es doch von Beginn an eine große Zahl von Befürwortern. Dieses ist die Stelle, an der man einen südafrikanischen Geologen und Verfechter der Wegenerschen Ideen würdigen sollte: Alexander du Toit (1878-1948). Seine Meinung war: „*Afrika forms the key.*“ Du Toit hat sein bekanntes Buch, „Our wandering Continents“ (Du Toit 1937), Alfred Wegener gewidmet.

Ein weiterer Unterstützer Wegenerscher Ideen war der durch seine radioaktiven Datierungen von Gesteinen bekannte britische Geologe Arthur Holmes (1890-1965), der bereits in den 1920ern die Kontinentverschiebung stützte und 1944 ganz konkrete Vorstellungen zu einer Plattentektonik publizierte. Tatsächlich ist es so, dass Wegeners These etwas ausgelöst hat, was man ohne Übertreibung als ein internationales Ringen um eine geologische Wahrheit nennen könnte.

Oben wurde deutlich gemacht, dass die Verschiebungstheorie die geologische Wirklichkeit nur bedingt abbilden konnte. Die Schwierigkeiten wurden weitgehend durch die Plattentektonik überwunden, deren Einführung dem Geologen und Marineoffizier Harry Hess (1900-1965) zugeschrieben wird.¹⁹ Beachtlich ist, dass in seinem berühmten Aufsatz „History of Ocean Basins“ (HESS 1962) weder Wegener, Du Toit noch Holmes zitiert werden! Dieser Umstand wäre eine wissenschaftstheoretische Betrachtung wert!

Das Ringen um die Kontinentverschiebung – ein wissenschaftshistorisch komplexes Ringen – Fixismus contra Mobilismus – ist detailreich dargelegt in ORESKES (1999). Hier findet man auch viele Angaben zu den wissenschaftlichen Befunden, die später die Plattentektonik stützten, womit die von Wegener verfochtene Dynamik der Erdoberfläche definitiv bestätigte wurde (dazu vergl. auch HÖLDER 1989 und MARVIN 1973).

Eine schöne Würdigung der Verdienste Alfred Wegeners ist Andreas Vogel gelungen. Er schreibt in dem Begleittext des Vieweg Nachdruckes von EKO 1 und 4 von 1980: „*Der Übergang zu den Vorstellungen einer dynamischen Erde, deren äußere Schale unter dem Einfluss der thermodynamischen Kräfte des Erdinnern gewaltige Verschiebungen erfahren hat und noch immer diesen Kräften ausgesetzt ist, hat in den Geowissenschaften eine Epoche großer Entdeckungen und Erkenntnisse eingeleitet. Am Anfang dieser Epoche steht Alfred Wegener, ein genialer Geist, der in visionärer Schau eine Theorie schuf, die hoffnungslose Widersprüche auflöste und die Ergebnisse und Fakten der verschiedensten naturwissenschaftlichen Gebiete vereinte und zwanglos einzuordnen vermochte. Mit großem Mut und unbeirrt von den damaligen Lehrmeinungen und den Anfechtungen durch anerkannte Autoritäten hat Wegener seine Thesen formuliert und kundgetan.*“

DANKSAGUNG

Herrn Dr. Ellger von der GeoUnion sei für seine freundliche Zustimmung gedankt, sich an seinem Artikel zum Symposium in Frankfurt „frei bedienen“ zu dürfen.

ENDNOTEN

- ¹ Vier Tage später, am 10. Januar 1912 hat Wegener, der seinerzeit Privatdozent für Meteorologie, praktische Astronomie und Kosmische Physik an der Universität Marburg war, unter dem Titel „Horizontalverschiebungen der Kontinente“ an seinem Dienort, für die Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften, einen ähnlichen Vortrag gehalten.
- ² Im Zusammenhang mit der Veranstaltung in Oslo erschien Wegeners Porträt auf dem Titelblatt der norwegischen populärwissenschaftlichen Zeitschrift GEO, die auch einen fünfseitigen Artikel zur Kontinentverschiebungstheorie brachte (15. Jahrgang Nr 1, 2012, S. 22-27).
- ³ Diesen Ausdruck benutzte Wegener lediglich in EKO 1 und 2 S. 120 und S. 131.
- ⁴ Brief vom 29. Januar 1912 wiedergegeben in SCHWARZBACH (1989) S. 104.
- ⁵ Den Begriff „Kontinentalverschiebung“ hat Wegener in EKO 4 konsequent durch Kontinentverschiebung ersetzt. Er ist aber nicht vollständig ausgemerzt, sondern taucht dann auf, wenn Wegener andere Autoren zitiert.
- ⁶ Es ist nicht immer sofort zu erkennen, was Bestandteil der Theorie ist. Ab EKO 3 hat Wegener den ersten von drei Abschnitten betitelt: „Wesentlicher Inhalt der Verschiebungstheorie“. In EKO 4 ist das entsprechende Kapitel überschrieben: „Das Wesen der Verschiebungstheorie und ihr Verhältnis zu den bisher herrschenden Vorstellungen über die Änderung der Erdoberfläche in geologischen Zeiten.“
- ⁷ Wegener hat vergleichsweise ausführlich geschildert wie sich seine Beschäftigung mit der Verschiebungstheorie – wie er seine Hypothese von der Verschiebung der Kontinente nannte – entwickelt hat. Dazu vergl. „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“, 4. Auflage Erstes Kapitel (S. 1-4): Geschichtliche Vorbemerkungen.
- ⁸ Als Anmerkung: Die Ideen der Neptunisten, bei denen die Gesteins- und Gebirgsbildung aus einem den ganzen Globus umspannenden Urmeer hervorgegangen ist (nach Sedimentation, Regression und Verwitterungen), war genau so voller Widersprüche wie die Idee der Plutonisten, die die Veränderungen der Erdoberfläche auf Ursachen aus dem Erdinneren zurückführten (Zentralfeuer). Wegener geht auf diese Vorstellungen gar nicht mehr ein.
- ⁹ Die modernen Hypsometrischen Kurven unterscheiden sich von den Darstellungen der Jahrhundertwende nur geringfügig.
- ¹⁰ In der damaligen wissenschaftlichen Wirklichkeit war diese Fragmentierung umstritten und wurde heftig diskutiert.
- ¹¹ Der Begriff Isostasie ist ein anderer Ausdruck für Schwimmgleichgewicht (eine Umschreibung des Archimedischen Prinzips), das immer dann herrscht, wenn ein spezifisch leichter Körper in einer spezifisch schwereren Flüssigkeit schwimmt. Wir sind es gewohnt auf quasi starrem Grund stehend, dass wir Stein auf Stein fügend immer höher bauen können. Die Summe der Steinhöhen ergibt die Gesamthöhe des Gebäudes. Würde man dieses Gebäude aber auf einem Schiff errichten, das in einem mit dem Ozean verbundenen Becken schwimmt, ließe sich der Effekt nicht wiederholen, das Schiff würde mit jedem Stein tiefer in das Wasser gedrückt werden. Der Abstand von der Wasseroberfläche wäre nicht mehr als einfache Summe der Steinhöhen darstellbar. Wegener überträgt dieses Bild auf die Kontinente. Diese werden durch eine Auflast, z.B. Schnee und Eis, tiefer in den Untergrund gedrückt und tauchen nach dem Verschwinden der Last wieder aus. Ein Effekt, der sich bei dem schnellen Aufsteigen der Skandinavischen Halbinsel (etwa 1 cm pro Jahr) besonders deutlich beobachten lässt.
- ¹² Zur Kenntnis der oberen Erdschichten vergl. den komplexen Artikel MOHORVIČIĆ, S. (1927). Der Verfasser Stjepan M. ist der Sohn des Entdeckers der MOHO. Wegener zitiert diesen Artikel in EKO 4 S. 53.
- ¹³ Auf der Deutschen Atlantischen Expedition mit dem Forschungsschiff der Reichsmarine „Meteor“ 1925-1927 wurde systematisch das damals ganz neue Echolot erfolgreich zum Einsatz gebracht, wobei 14 Echolotprofile über den Südatlantik (mit Abstechern zur Magellan-Straße, Beagle-Kanal, South Shetlands, Süd-Georgien, Bouvet-Insel) abgeseigelt wurden, wodurch sich die Kenntnis der Topographie des Atlantiks erheblich erweiterte.
- ¹⁴ Zitiert aus den Wegenerschen Exzerpten, die der EKO 1 beigegeben sind, s. Nachdruck der ersten und vierten Auflage (EKO 1+4) Hrsg. AWI und Gebrüder Bornträger Verlag, 2005: 1-481, ISBN 3-443-01056-3). Die Transkription der Texte findet man im Internet unter: http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/News/2012_1/Transkr_Notizen_Entst_d_Kont_Ozeane.pdf.
- ¹⁵ Über mögliche Fluktuationen von Massen im Inneren der Erde wird hier nicht spekuliert.
- ¹⁶ Auch hat Wegener selbst ablehnende und zustimmende Autoren aufgezählt – z.B. acht Geologen/Geographen mit ablehnender und vier Paläontologen mit zustimmender Haltung (EKO 4 S. 98 und S. 100). Zu den Literaturauszügen in Wegeners erster Ausgabe der „Entstehung der Kontinente und Ozeane“ vergl. Endnote 14. Die Transkription des Notizbuches „Kontinentalverschiebungen“ findet sich unter <http://epic-reports.awi.de/532/1/BerPolarforsch2005516.pdf>
- ¹⁷ Beispiele: Beginn des Tertiärs 65 Mio / Wegener 20 Mio; Eozän 53 Mio / Wegener 15 Mio; Oligozän 34 Mio / Wegener 10 Mio; Miozän 24 Mio / Wegener 6 Mio; Pliozän 5 Mio / Wegener 3 Mio; Quartär 2 Mio / Wegener 1 Mio. Für das Spätkarbon ergibt sich das Verhältnis 355/137 Mio. Die neue Methode der radiometrischen Altersbestimmungen hatte eine deutliche Streckung der älteren geologischen Zeitskalen zur Folge, der Wegener nicht ohne eine gewisse Skepsis gegenüber stand – vergl. seine Fußnote in EKO 4 S. 24. Eine kurzweilig zu lesende Geschichte der Altersbestimmung von Gesteinen, die sich im Wesentlichen um die Biographie um Arthur Holmes rankt, gibt LEWIS, C. (2000).

¹⁸ Die Ablehnung war offenbar am stärksten in angelsächsischen Ländern ausgeprägt. Dazu findet man eine Fülle von Beispielen und Angaben in MARVIN (1973) und Oreskes (1999).

¹⁹ „I shall consider this paper an essay in geopoetry“ schrieb Harry Hess einleitend in seinem Artikel „History of Ocean Basins“ (HESS 1962), der zu den meistzitierten wissenschaftlichen Artikeln überhaupt zu zählen ist, und der unstrittig die Idee der Plattentektonik begründet hat. Im Folgenden eine knappe Zusammenstellung der Erkenntnisse, die zu einer Akzeptanz der Plattentektonik geführt haben.

1. Polwanderungskurven: In denselben geologischen Horizonten, d.h. zu denselben Zeiten magnetisierte Materialien zeigen auf verschiedenen Kontinenten unterschiedliche Richtungen der Pole an. Daraus folgt, die Kontinente müssen sich zwischenzeitlich gegeneinander verdreht oder bewegt haben.

2. Geomagnetische Anomalien: Längs der Mittelozeanischen Rücken findet man ein streifenförmiges geomagnetisches Muster, das die bekannten Umpolungsereignisse des geomagnetischen Feldes abbildet, was nur möglich ist, wenn es hier zu einer Neubildung des Meeresbodens gekommen ist.

3. Alter und chemische Zusammensetzung der Ozeanböden:

a) Die jüngsten Böden findet man im Bereich der Rücken (das Material der Meeresböden ist unterhalb der Sedimente basaltischer Natur), je weiter man sich von diesen entfernt, desto älter wird der Meeresboden.

b) Man findet keine Meeresböden, die älter als 200 Mio a sind. Der Meeresboden ist jung. Die Gesteine der Kontinente sind hingegen >3500 Mio a alt. Die Mächtigkeit der Meeresedimente nimmt mit dem Abstand vom Rücken zu.

4. Wärmestrommessungen: Im Bereich der Rücken sind die thermischen Gradienten maximal.

5. Globale seismische Überwachung: Die Plattengrenzen werden durch die seismische Aktivität nachgezeichnet. 90 % der weltweit auftretenden seismischen Energie wird hier freigesetzt.

6. Neue Navigationsmethoden erlauben eine direkte Messung der Verschiebung.

7. Die computergestützte Passung der Kontinente ergibt einen direkten Beweis der Verschiebungsthese.

8. Mit Unterwasserfahrzeugen erhält man einen direkten Einblick in die Spreizungszentren („Black Smoker“ etc).

9. Schweremessungen als Beweis für die Isostasie und die Verschiebungstheorie sowie für die Plattentektonik wurden ab Mitte der 1930er auch auf Schiffen durchgeführt.

Literatur

- Eko-1 Wegener, A.* (1915): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.- Samml. Vieweg 23, Braunschweig, 1-94.
- Eko-2 Wegener, A.* (1920): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.- Zweite Aufl., Die Wissenschaft 66, Vieweg Braunschweig, I-V, 1-135.
- Eko-3 Wegener, A.* (1922): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.- Dritte Aufl., Die Wissenschaft 66, Vieweg Braunschweig, I-VIII, 1-144.
- Eko-4 Wegener, A.* (1929): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.- Vierte umgearbeitete Aufl., Die Wissenschaft 66, Vieweg Braunschweig, I-XIV, 1-231.
- Frisch, W. & Meschede, M.* (2007): Plattentektonik - Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung.- Primus Verlag Darmstadt, 1-196.
- Hess, H.H.* (1962): History of Ocean Basins.- Petrologic Studies, A volume to honour A.F. Buddington, USA, 599-620.
- Hölder, H.* (1989): Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie.- Springer Berlin, Heidelberg, New York, 1-244.
- Howell, B.F.* (1990): An Introduction to Seismological Research – History and Development.- University Press Cambridge, 1-193.
- Köppen, W. & Wegener, A.* (1924): Die Klimate der geologischen Vorzeit.- Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1 Tafel, 41 Abb., 1-256.
- Köppen, W.* (1940): W. Köppen† und A. Wegener† - Die Klimate der geologischen Vorzeit – Ergänzungen und Berichtigungen.- Gebrüder Borntraeger, Berlin, 6 Abb., 1-38.
- Krause, R.A.* (2007): Die Polfluchtkraft: Der Lely-Versuch – vergessene Begriffe der Geologiegeschichte.- Polarforschung 76: 133-140.
- Krause, R.A., Schindler, E., Brocke, R., Schroeder, R. & Wilde, V.* (2012): Alfred Wegener: Vordenker und Erneuerer der Geowissenschaften – 100 Jahre Hypothese von der Drift der Kontinente.- Senckenberg Natur, Forschung Museum 142: 12-17.
- Kreichgauer, D.* (1902): Die Äquatorfrage in der Geologie.- Missionsdruckerei Steyl, 1-394.
- Lewis, C.* (2000): The dating Game.- University Press Cambridge, 1-253.
- Marvin, U.B.* (1973): Continental Drift, the Evolution of a Concept.- Smithsonian Institution Press, Washington D.C., 1-239.
- Mohorovičić, S.* (1927): Über Nahbeben und die Konstitution des Erd- und Mondinnern.- Gerlands Beitr. Geophys. 17: 180-231.
- Oreskes, N.* (1999): The Rejection of Continental Drift.- Oxford University Press, Oxford, 1-420.
- Semper, M.* (1917): Was ist eine Arbeitshypothese?.- Centralbl. Mineral. Geol. Paläontol. Jahrg. 1917: 146-163.
- Schwarzbach, M.* (1989): Alfred Wegener und die Drift der Kontinente.- Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1- 164.
- Wegener, A.* (1912): Die Entstehung der Kontinente.- Petermanns geographische Mitteilungen (PGM) 1912: 185-195, 253-256, 305-309.
- Wegener, A.* (1921): Die Entstehung der Mondkrater.- Vieweg Braunschweig, 1-48.
- du Toit, A.L.* (1937): Our Wandering Continents – An Hypothesis of Continental Drifting.- Oliver & Boyd, London, 1-366.