

Geologische Aspekte der Kontinentverschiebungs-Hypothese

Von Henno Martin, Göttingen*

Abstract: The development of the drift hypothesis from Wegener's original arguments to the concept of plate tectonics is shortly reviewed.

Die erste Idee der Kontinentverschiebung kam Wegener im Jahre 1910 bei der Betrachtung einer Weltkarte unter dem in die Augen springenden Eindruck der Kongruenz der atlantischen Küsten. Wegener war nicht der erste Wissenschaftler, der sich über diese Kongruenz Gedanken machte und aus ihr den Schluß zog, die Kontinente könnten zerrissen sein und sich verschoben haben. Wegener war aber der erste, der erkannte, daß eine solche Hypothese nicht durch ein oder zwei Argumente bewiesen oder widerlegt werden könnte und der deshalb eine große Zahl von Beobachtungen und Erkenntnissen aus den Gebieten der Geologie, Geophysik, Klimatologie und Tier- und Pflanzengeographie zur Untermauerung seiner Ideen zu einer gut integrierten Hypothese vereinigte. Diese war dadurch so breit fundiert, daß sie ernst genommen werden mußte und es auch wurde.

Wegeners revolutionäre Schlußfolgerungen fanden rasch sowohl entschiedene Anhänger als auch entschiedene Gegner. Die Verschiebungshypothese stellte von Anfang an eine Herausforderung dar, an der sich nicht nur wissenschaftliche Einsichten, sondern auch Temperamente schieden. Das führte zu einer lebendigen, nicht wieder abreißen lassen Diskussion, die im Laufe der Jahre unzählige gezielte Forschungen in vielen Disziplinen anregte. Für die Geowissenschaften wurden Wegeners Gedanken zur fruchtbarsten Hypothese dieses Jahrhunderts. Das würde auch dann gelten, wenn sich die Hypothese letztlich als falsch erweisen sollte. Im Jahre von Wegeners neunzigstem Geburtstag scheint sich nun allerdings der Grundgedanke der Hypothese weitgehend zu bestätigen. Dadurch hat sich die Anregung zu weiteren Forschungsarbeiten auf den verschiedensten Gebieten sehr verstärkt, so daß die Hypothese auch noch weiterhin fruchtbar bleiben wird.

Die Entwicklung von einer äußerst umstrittenen, problematischen zu einer recht wahrscheinlichen Hypothese ist nicht ohne weitgehende Änderungen der ursprünglichen Vorstellungen erfolgt. Es soll im folgenden untersucht werden, welche von Wegeners Hauptargumenten der wissenschaftlichen Entwicklung standgehalten haben und welche Vorstellungen grundsätzliche Veränderungen erfahren haben.

Wegener baute seine Hypothese von der „Entstehung der Kontinente und Ozeane“ auf drei Konzepten auf, die gut gesichert erschienen, sich aber unter den damals gängigen Hypothesen nicht ohne Widerspruch vereinen ließen. Die drei Konzepte waren:

1. Die Kongruenz der Schelfränder auf beiden Seiten des Atlantiks, die jede Weltkarte zeigte.
2. Die Annahme einer vormaligen Landverbindung zwischen diesen Kontinenten, die durch paläontologische Funde gut gesichert erschien, und die zu Beginn des Jahrhunderts weder von Paläontologen noch von Geologen ernsthaft in Frage gestellt wurde.
3. Der geophysikalische Nachweis der Isostasie der Kontinente und Ozeane, einer Erscheinung, die sich nur mit der Annahme erklären ließ, daß die Kontinente aus leichterem Gesteinsmaterial bestehen als der Untergrund der Ozeane.

*) Prof. Dr. H. Martin, 34 Göttingen, Berliner Straße 28

Zur Erklärung der paläontologischen Befunde war die Hypothese der versunkenen Brückenkontinente entwickelt worden. Als diese Hypothese ausgebaut wurde, stieß sie auf keine logischen Schwierigkeiten. Paläontologie und Tiergeographie sprachen für sie. Marine Sedimente waren auf allen Kontinenten weit verbreitet; Meeresboden war also Festland geworden, warum sollte nicht Festland zu Ozeanboden werden können? Und besagte nicht die Schrumpfungshypothese in den Worten von Eduard Suess, daß es der Zusammenbruch des Erdballs ist, dem wir beiwohnen? Diese Erklärung wurde unhaltbar, als die Konsequenzen der Isostasie durchdacht wurden. Flachmeer-Überflutungen von Kontinenten waren zwar mit der Isostasie vereinbar, nicht aber ein Versinken der leichten Kontinentplatten in die 4000 m Tiefe der Ozeanböden.

Solche Überlegungen führten dann zur Permanenztheorie, zur Annahme, daß die Kontinente und Ozeane während der ganzen Erdgeschichte mehr oder weniger in ihrer heutigen Form und Verteilung bestanden hätten. Diese Theorie ließ sich nun wieder schlecht mit den paläontologischen und tier- und pflanzengeographischen Befunden vereinen, welche dort Landverbindungen zu verlangen scheinen, wo heute Ozeane sind. Es sind deshalb seither immer wieder Versuche unternommen worden, die hypothetischen Brückenkontinente durch hypothetische schmale Landbrücken zu ersetzen, oder ohne solche ehemaligen Verbindungen auszukommen. Diese Hilfshypothesen waren nicht direkt widerlegbar, blieben aber doch wenig befriedigend.

Wegener überwand diese Widersprüche mit seiner Drifthypothese.

Wir können nun fragen, ob sich an diesen Grundlagen der Drifthypothese seit ihrer Formulierung etwas Entscheidendes geändert hat? Das ist nicht der Fall. Betrachten wir den Fortschritt unserer Kenntnisse in Bezug auf die drei Ausgangskonzepte so ergibt sich,

1. daß die Paßform der Schelfränder noch perfekter ist als sich zu Wegeners Zeit feststellen ließ (Bullard et. al. 1965);
2. daß unzählige Diskussionen zwar gezeigt haben, daß paläontologische Argumente allein nicht ausreichen können, um einen vormaligen Zusammenhang der heute getrennten Kontinente zu beweisen, daß aber die Wahrscheinlichkeit eines vormaligen Zusammenhanges sehr viel größer geworden ist durch den Nachweis, daß mehr als 70 % der aus der Antarktis bekannt gewordenen fossilen Pflanzen des Permo-Karbons auch in den Permo-Karbon-Floren Südafrikas und Indiens vorkommen (Plumstead, 1965) und vor allem durch die Entdeckung von einer großen Zahl von identischen, *nicht marinen* Ostracoden-Arten in der untersten Kreide von Nordost-Brasilien und Gabun (Krömmelbein, 1965);
3. daß alle aus der Isostasie abgeleiteten Argumente ihre volle Gültigkeit behalten haben.

Die drei Hauptgesichtspunkte, von denen Wegener ausging, haben also die Prüfung der Zeit bestanden. Wegener hatte sie durch weitere Argumente untermauert. Wie haben sich diese bewährt?

Erhebliches Gewicht hatte von Anfang an die Deutung der permo-karbonen Glazialablagerungen in Afrika, Südamerika, Indien und Australien. Kombiniert mit den Anzeichen für ein gleichzeitiges tropisches, bzw. arides Klima in den mittleren und hohen Breiten Europas und Nordamerikas ergab sich die Notwendigkeit für diese Zeit eine andere Lage der Pole anzunehmen. Doch ließ sich auch mit dieser Annahme die weite Ausdehnung der Vereisungsspuren nicht ausreichend erklären. Nur ein Zusammenrücken der Südkontinente, einschließlich Indiens schien eine mit den Klimagürteln der Erde vereinbarte Deutung zu ermöglichen. Die Fähigkeit der Drifthypothese, diese paläo-

klimatischen Verhältnisse zu erklären, wurde eine ihrer stärksten Stützen. Es hat deshalb auch nicht an Versuchen gefehlt, die Bedeutung dieses Argumentes abzuschwächen durch die Annahme, daß die glazialen Relikte das Ergebnis von Gebirgsvergletscherungen seien. Dem widerspricht jedoch die Verzahnung der glazigenen Sedimente mit marinen Ablagerungen auf allen betroffenen Kontinenten.

Dieses paläoklimatische Argument für die Verschiebungshypothese hat eine weitere Verstärkung erfahren durch die Entdeckung ausgedehnter permo-karboner Glazialablagerungen in der Antarktis (Frakes and Crowell, 1968), in der zu Wegeners Zeit diese Vereisung noch nicht nachgewiesen war. Damit stehen sich nun für das Permo-Karbon bei der heutigen Lage der Kontinente eine kalte und eine warme Erdhälfte gegenüber (Martin, 1968). Bisher ist es nur der Drifthythese — kombiniert mit der Annahme einer Polwanderung — gelungen, eine plausible Erklärung für diese Erscheinung zu finden. Es verdient in diesem Zusammenhang erwähnt zu werden, daß Wegener, in der Ausgabe von 1928, aus der Lage der vereisten Gebiete zu dem Kohlegürtel eine Lage des Südpols auf dem südlichen Afrika gefolgert hat. Unabhängige paläomagnetische Ableitungen führen heute zu derselben Deutung (McElhinny, 1968).

Die elegante Deutung der weiten Verbreitung der permo-karbonen Vereisungsspuren durch die Drifthythese wirkte außerordentlich anregend auf die weitere Forschung und führte zu vielen gezielten Untersuchungen. Unter diesen nimmt Alex. L. du Toit's (1927) "A geological comparison of South America with South Africa" eine hervorragende Stelle ein. Diese Arbeit, die Wegener noch für die Ausgabe von 1928 verwenden konnte, zeigte eine viel größere Zahl von Ähnlichkeiten der Schichtfolgen und Strukturen der beiden Kontinente als man vorher vermutet hatte. Die stratigraphischen Vergleiche wurden von R. Maack (1952) und Martin (1961) weiter ausgebaut und verfeinert.

In Bezug auf solche Vergleiche ist von Gegnern der Drifthythese mit Recht immer wieder darauf hingewiesen worden, daß selbst große Ähnlichkeiten keinen Beweis für einen vormaligen Zusammenhang der Kontinente ergeben. Trotzdem kommt diesen außerordentlichen Ähnlichkeiten in Kombination mit den anderen Argumenten ein erhebliches Gewicht zu, besonders deshalb, weil sich die Ähnlichkeiten mit zunehmender Kenntnis nicht abgeschwächt, sondern beträchtlich verstärkt haben.

Da die paläontologischen Befunde für eine Trennung der Kontinente im Mesozoikum sprachen, war zu erwarten, daß ältere Großstrukturen sich von einem Kontinent auf den anderen fortsetzen sollten. Du Toit versuchte solche vormaligen Strukturzusammenhänge über den Südatlantik und über den Nordatlantik hinweg nachzuweisen (Du Toit, 1927, 1937). Diese Versuche, ebenso wie die anderer Forscher, blieben zunächst wenig überzeugend. Das änderte sich, als es gelang mit Hilfe zahlreicher isotopischer Altersbestimmungen, die präkambrischen Metamorphose-Provinzen schärfer von einander abzugrenzen. Nun ergaben sich für Afrika und Südamerika Grenzen zwischen präkambrischen Großeinheiten, die sehr gut zusammenpaßten, wenn man die Kontinente entsprechend ihren Konturen zusammenfügte (Hurley et. al., 1967). Auch für den Nordatlantik hat sich herausgestellt, daß die präkambrischen Altersprovinzen recht gut zusammenpassen, wodurch Du Toit's (1937) auf die kaledonischen und variszischen Orogürtel gegründete Rekonstruktion viel an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat (Miller 1965). Es zeigt sich also, daß auch dieses geologische Argument mit zunehmender Kenntnis an Beweiskraft gewonnen hat.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß seit der Formulierung der Verschiebungshypothese die zu ihrer Unterstützung herangezogenen geologischen und paläontologischen Argumente wesentlich an Stärke gewonnen haben.

Obwohl Wegeners Hauptargumente nie ernsthaft erschüttert wurden, verlor die Drift-hypothese in den 20 Jahren nach Wegeners Tod ständig an Boden. Der Grund hierfür lag vor allem darin, daß es Wegener nicht gelungen war, die Ursachen der Verschiebung befriedigend zu erklären, so daß der Hypothese in dieser Beziehung die Abrundung fehlte. Hinzu kam, daß der geodätische Nachweis der Verschiebung von Grönland relativ zu Europa, dem Wegener großes Gewicht beigemessen hatte, sich als mißglückt erwies.

Welche von den Annahmen, die Wegener zur Erklärung der Verschiebung heranzog, haben versagt? Wegener nahm an, daß die Antriebskraft auf die Sial-Platten der Kontinente einwirke, wie Wind auf driftende Eisschollen. Die einzige Kraft, welche für diese Art von Antrieb in Frage kam, war die Polfluchtkraft. Sie erwies sich als zu klein. Ein Auseinanderdriften der Sial-Platten schien eine Bewegung dieser Platten durch das Sima, in das sie ja tief eintauchen, zu erfordern. Ein solches Schwimmen ist aber nur möglich, wenn das Sima fließfähiger ist als das Sial. Wegener machte diese Annahme, die unhaltbar wurde, als sich später herausstellte, daß Granit einen viel niedrigeren Schmelzpunkt hat als Basalt, und daß der Schmelzpunkt von Basalt an der Untergrenze der Sial-Platten nicht annähernd erreicht wird. Der Drifthypothese wurde dadurch scheinbar die kausale Grundlage entzogen. Es muß aber gesagt werden, daß auch Wegener schon mit der Möglichkeit von Konvektionsströmungen im Sima gerechnet, ihnen aber nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen hat.

Der Mißerfolg der kausalen Erklärungsversuche führte zur Ablehnung der Hypothese durch die große Mehrzahl der Geologen und Geophysiker. Gerechtfertigter als eine Ablehnung wäre allerdings eine neutrale Haltung gewesen; denn Wegeners Hauptargumente wurden von dem Fehlen einer kausalen Erklärung in keiner Weise entkräftet.

In den fünfziger Jahren wuchs dann das Interesse an der Drifthypothese rasch wieder an, als paläomagnetische Studien ein neues, unabhängiges Argument für Polwanderungen und Verschiebungen der Kontinente lieferten. Für diese Untersuchungen bedeutete die Herausforderung, welche von der Drifthypothese ausging, einen großen Ansporn.

In den sechziger Jahren führte dann die ozeanographische Forschung zu der Erkenntnis, daß die ozeanischen Rücken das größte und einheitlichste System tektonischer Großstrukturen bilden, das es auf der Erde gibt (Menard, 1965). Diese neue Erkenntnis führte zur Formulierung der „Ocean-Floor Spreading“-Hypothese durch R. Dietz (1961). Diese Hypothese führt die Verschiebung der Kontinente auf eine Ausweitung des Ozeanbodens in der Scheitelzone der ozeanischen Rücken zurück. Erdbeben, hoher Wärme fluß und Vulkanismus deuten auf einen Aufstieg von Material aus dem Erdmantel, aus dem sich in der Scheitelzone eine neue ozeanische Kruste bildet.

Nachdem der Gedanke einmal formuliert war, wurde dieses neue Konzept rasch weiter ausgebaut. Die Ausweitung erhielt eine Zeitskala durch die geniale Kombination der Ausweitungsvorstellung mit der paläomagnetischen Deutung der symmetrischen, magnetischen Anomalien, welche die ozeanischen Rücken begleiten (Vine und Matthews, 1963). Dann erfolgte die Erweiterung dieser Deutungen zu der Hypothese einer globalen Tektonik großer relativ starrer Platten, welche Kontinente und Teile von Ozeanen umfassen, und sich gegeneinander bewegen unter dem Antrieb der Vorgänge in den ozeanischen Rücken (McKenzie und Parker, 1967; Heirtzler et. al., 1968).

Als Antrieb für diese Verschiebungstektonik wird von vielen Wissenschaftlern eine thermische Konvektion im Erdmantel angenommen. Die Aufstiegsbahnen der Konvek-

tion werden unter den ozeanischen Rücken, die Abstiegszonen unter den Tiefseegräben vermutet. Dieser, durch ihre Einfachheit bestechenden Deutung stehen Bedenken geophysikalischer und geometrischer Natur entgegen. Vielleicht sind die Vorgänge wesentlich komplizierter. Wie dem auch sei, diese neue Fassung der Verschiebungshypothese vermeidet die Schwierigkeit, die sich aus Wegeners Annahme einer Bewegung der Sial-Schollen im Sima ergeben hatte; denn als Bewegungshorizont bietet sich jetzt die weit unter der Kruste im oberen Erdmantel gelegene Zone geringerer seismischer Geschwindigkeiten (low velocity zone) an.

Die abgewandelte Verschiebungshypothese scheint auf dem besten Wege zu sein, die Großstrukturen der Erde befriedigend zu erklären. Die außerordentlich raschen Fortschritte, die in dieser Richtung in wenigen Jahren gemacht worden sind, sind das Ergebnis vieler gezielter Forschungen, für die Wegeners ursprüngliche Hypothese die Richtung gewiesen hat.

Literatur

- Bullard, E., J. E. Everett & G. Smith, 1965: The fit of the continents around the Atlantic. *Phil. Trans. R. Soc.* 1088: 41—51.
- Dietz, R. S. 1961: Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, Lond. 190: 854—857.
- Du Toit, A. L. 1927: A geological comparison of South America with South Africa. Carnegie Institution, Washington, Publ. No. 381.
- Du Toit, A. L. 1937: *Our wandering Continents*. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Frakes, L. A. & J. C. Crowell, 1968: Late paleozoic glacial geography of Antarctica. *Earth and Planet. Sci. Letters*, Amsterd.: 4, 253—256.
- Heirtzler, J. R., G. O. Dickson, E. M. Herron, W. C. Pitmans III & X. Le Pichon, 1968: Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. *J. Geoph. Res.* 73, 2119—36.
- Hurley, P. M., F. F. M. De Almeida, G. C. Melcher, U. G. Cordani, J. R. Rand, K. Kawashita, P. Vandoros, W. H. Pinson, & Jr. H. W. Fairbairn. Test of continental drift by comparison of radiometric ages. *Sci.* 157, 1967, 495—500.
- Krömmelbein, K. 1965: Neue, für Vergleiche mit West-Afrika wichtige Ostracoden-Arten der brasilianischen Bahia-Serie (Ober-Jura?/Unterkreide in Wealden-Fazies). *Senck. leth.*, 46a, 177—213.
- Maack, R., 1952: Die Entwicklung der Gondwanaschichten in Südbrasilien und ihre Beziehungen zur Karoo-Formation Südafrikas. *Symp sur les séries de Gondwana*, XIX Cong. Géol. Intern., Alger, S. 339/372.
- Martin, H. 1961: The hypothesis of continental drift in the light of recent advances of geological knowledge in Brazil and in South West Africa. *Trans. geol. Soc. S. Afr.*, Annex to vol. 64, p. 1—47, A. L. du Toit Mem. Lect. No. 7.
- Martin, H., 1968: A critical review of the evidence for a former direct connection of South America with Africa. *Biogeography and Ecology in South America*. Dr. W. Junk, N. V. Publishers The Hague, Vol. 1, 25—53.
- Mc Elhinny, M. W. 1968. Paleomagnetism of some Carboniferous glacial varves from Central Africa. *J. Geoph. Res.* 73, 689—96.
- Mc Kenzie, D. P. & R. L. Parker, 1967: The North Pacific: an example of tectonics on a sphere, *Nat.* 216, 1276—80.
- Menard, H. W., 1965: The world-wide oceanic rise-ridge system. *Phil. Trans. R. Soc.* 1088, 109—122.
- Miller, J. A., 1965: Geochronology and continental drift — the North Atlantic. *Phil. Trans. R. Soc.* 1088, 180—193.
- Plumstead, E. P., 1965: Paleobotany of Antarctica. *Antarctic Geol.*, 637—54. North-Holland Publishing Company.
- Vine, F. J. & D. H. Matthews, 1963: Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nat* 199, 947—49.