

Pangäische Spiele 2012

A. M. Celâl ŞENGÖR¹

In memoriam sancti Alfred Lothar Wegener

Unum meteorologum tradidit omnes terra ad controversias geologorum ut non inveniatur geologus opus quod operatus est meteorologus ab initio usque ad finem

Einführung

Es bedeutete für mich eine sehr große Ehre, für die Hundertjahrfeier der ersten Veröffentlichung i. J. 1912 der Theorie der Kontinentalverschiebung von Alfred Wegener, der ja die letzten sechs Jahre seines kurzen aber überaus fruchtbaren Lebens an der Karl-Franzens-Universität in Graz als ordentlicher Professor für Meteorologie und Geophysik verbrachte (er sagte selbst, seine Grazer Jahre seien die glücklichsten seines Lebens: WUTZKE 1988: 180), als Redner eingeladen zu werden. Deswegen folgte ich jetzt mit erhöhter Freude der Einladung des Herrn Organizers der Feier, meines hochverehrten und lieben Freundes und Kollegen Herrn Kurt Stüwe, das dort Gesagte in den Seiten der „Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark“ festzuhalten.

In Graz sprach ich weder über die Geschichte der Theorie der Kontinentalverschiebung noch über Wegener selbst, sondern über eine sehr wichtige tektonische und paläogeographische Folge dieser Theorie, die nach deren Veröffentlichung 1915 in Buchform in den Fachkreisen sofort zu heftigen Kontroversen Anlaß gegeben hatte, nämlich Wegeners Gruppierung der Kontinente um einen geschlossenen atlantischen Ozean und dann, ab der dritten Ausgabe (WEGENER, 1922), zu einem einzigen Kontinent auf der Erde, den er Pangäa (=Versammlung aller Erden in Altgriechisch von πᾶν= Versammlung, Vereinigung und in verschiedenen Dialekten Γαῖα oder Γῆ oder Γᾶ=Erde) nannte. Zwei verdienstvolle Wegener-Forscher, Richard KRAUSE und Jörg THIEDE, haben über das Vorkommen dieses Terminus in Wegeners Buch das folgende bemerkt:

„In dem Register sucht man den oft zitierten Ausdruck Pangäa vergeblich. Der Ausdruck steht in folgendem Kontext: Nachdem zunächst die meridional gerichtete *Polflucht* diskutiert wird, heißt es: *Die andere Komponente, die Westwanderung der Kontinente, geht aus dem unmittelbaren Anblick der Erdkarte noch klarer hervor. Die großen Schollen ziehen in Sima nach Westen. Schon die Pangäa der Karbonzeit hatte so einen Vorderrand (Amerika), der sich wegen des Widerstandes des zähen Sima in Falten legte. (Präkordillieren)* (Wegener 1922: 130 und ähnlich formuliert in Wegener 1920: 120“ (KRAUSE und THIEDE, 2005: 4; Fettdruck, Unterstreichung und Schrägschrift im Original von Krause und Thiede).

Der Begriff eines einzigen „Urkontinents“ vor dem Beginn der Kontinentalverschiebungen war aber von Wegener bereits am Anfang seiner Überlegungen über dieses Thema angenommen worden und erscheint schon in dem ersten diesbezüglichen und uns erhaltenen Dokument aus seiner Feder. Er schrieb aus Marburg seinem Schwiegervater,

1 Technische Universität Istanbul, Fakultät für Bergbauwesen, Abteilung für Geologie und Institut für Erdwissenschaften ‚Eurasien‘; Ayazağa 34460 Istanbul TÜRKEL. E-mail: sengor@itu.edu.tr

dem berühmten Meteorologen Wladimir Köppen, am 6. Dezember 1911 die folgenden Worte:

Lieber Vater,

Auf Deinen ausführlichen Brief muß ich Dir gleich antworten. Ich glaube doch Du hältst meinen Urkontinent für phantastischer als er ist und siehst noch nicht, daß es sich lediglich um Deutung des Beobachtungsmaterials handelt. Wenn ich auch nur durch die übereinstimmenden Küstenkonturen darauf gekommen bin, so muß die Beweisführung natürlich von den Beobachtungsergebnissen der Geologie ausgehen. Hier werden wir gezwungen, eine Landverbindung z. B. zwischen Südamerika und Afrika anzunehmen, welche zu einer bestimmten Zeit abbrach. Den Vorgang kann man sich auf zweierlei Weise vorstellen: 1) Durch Versinken eines verbindenden Kontinents „Archhelenis“ oder 2) durch Auseinanderziehen von einer großen Bruchspalte. Bisher hat man, von der unbewiesenen Vorstellung der unveränderlichen Lage jedes Landes ausgehend immer nur 1) berücksichtigt und 2) ignoriert. ...

(Reproduktion des Originalbriefes in HELBIG 1974: XIII).

Man pflegt in unseren Tagen den Wegeners Urkontinent, die Pangäa, umgebenen Ozean Panthalassa (von πᾶν= Versammlung, Vereinigung und Θάλασσα=Meer) zu nennen. Wegener verwendete dasselbe Wort (WEGENER 1915: 47²; 1929: 207) aber nicht im heute üblichen Sinne. Der Terminus Panthalassa war, meiner Kenntnis nach, zum ersten Mal von Eduard Suess im letzten Band seines Meisterwerkes „Das Antlitz der Erde“ (SUESS 1909: 776–777) für ein die ganze Oberfläche des Planeten bedeckendes Meer gebraucht worden. Wegener übernahm ihn von Suess und verwendete ihn mit derselben Bedeutung:

„... findet man bei der Rekonstruktion doch bereits für das Mesozoikum eine Vergrößerung der damaligen noch zusammenhängenden Urkontinentalscholle etwa auf die Hälfte der Erdoberfläche. Als Folge ergibt sich natürlich, daß die ozeanischen Wassermassen im Anfang als eine ‚Panthalassa‘ von etwa 3 km (nach Pencks Berechnung 2,64 km) Tiefe die ganze Erde bedeckten.“

(WEGENER, 1915: 47; Sperrung wie in der Originalpublikation von Wegener).

Nach dem Aufkommen der Theorie der Plattentektonik, die Kontinentalverschiebung als eine natürliche Folge in sich schließt, haben die Auseinandersetzungen über die Pangäa immer noch nicht aufgehört und sie haben sehr wichtige Auswirkungen auf unsere Deutungen der orogenen Gürtel, die gleichzeitig mit der Pangäa zustande kamen, nämlich die Herzyniden Europas, die Großappalachiden³ des östlichen und südöstlichen Nordamerikas und nordwestlichen Afrikas und die jungpaläozoischen orogenen

2 Die erste und die letzte von Wegener selbst revidierten Ausgaben dieses epochemachenden Buches wurden, meines Wissens, mindestens zweimal zusammen nachgedruckt: vgl. Vogel (1980) und Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (2005). Dieser letzte Nachdruck hat auch die durchschossenen Manuskriptseiten in Wegeners persönlichen Exemplar der ersten Ausgabe mit nachgedruckt und stellt als solches ein sehr wichtiges wissenschaftshistorisches Dokument dar. Von der vierten Ausgabe liegen noch drei unveränderte Drucke von der Firma Vieweg vor: 1936, 1941 und 1962. Übersetzungen der dritten und die vierten Ausgaben ins englische, französische, italienische, japanische, schwedische, spanische, russische und türkische (diese letzte als nicht gedrucktes Manuskript von İ. Enver Altınlı) sind mir bekannt. (Auf Englisch, Französisch, Italienisch, Spanisch und Russisch gibt es mehr als eine Übersetzung bzw. Ausgabe).

3 Der Begriff ‚Großappalachiden‘ stammt von dem deutschen Geologen Hans Stille, der darunter den Gebirgsgürtel von den Appalachien, den Oachitas und den Glass Mountains in Osttexas verstand (STILLE 1940: 33). Heute wissen wir, daß auch die Mauriteniden in Nordwest-Afrika, als Gegenstück zu den Appalachiden, demselben System angehören. Die jungpaläozoischen orogenen Gebiete Südamerikas waren auch Teil der Herzyniden und können, in einer Pangäa-B-Geometrie

Gebilde in den nördlichen Gebieten Südamerikas. In den folgenden Abschnitten werde ich zuerst Wegeners Pangäa vorstellen und dann die verschiedenen Deutungen, die seine Anhänger und seine Gegner diesem Begriff zuschreiben. Ich werde dann die Pangäa, die mit der Plattentektonik sozusagen wiedererweckt wurde, schildern und endlich die Probleme mit dieser Pangäa, die die Fortschritte in den paläomagnetischen Beobachtungen ans Tageslicht brachten, diskutieren. Ich werde mit einigen Implikationen dieser aktuellen ‚pangäischen Spiele‘ für die Tektonik der Herzyniden⁴ Europas schließen.

(siehe unten), einen Teil des Gegenstückes zu den Appalachen gebildet haben und auch noch den Großappalachen angehören würden.

- 4 Ich vermeide den in der deutschsprachigen Literatur üblichen Terminus „Varisziden“ für die Bezeichnung der jungpaläozoischen Orogene Europas, Nordwest-Afrikas und östlichen und südöstlichen Nordamerikas (eventuell auch nördlichsten Südamerikas), denn „das variscische Gebirge“ wurde von Eduard Sueß nur für den Teil dieses orogenen Systems, der östlich von der Scharung im Massif Central liegt, eingeführt:

„Zwischen Douai und Valenciennes, wurde eben gesagt, verändert sich das Streichen des Aussenrandes. Aus WNW-OSO wird sehr rasch WSW-ONO. Ein solcher einspringender Winkel im Verlaufe einer Zone von Überschiebungen pflegt sich dort zu bilden, wo zwei Gebirgsbogen aneinanderschaaren aneinanderscheren. In der That sind die überschobenen Flötze, welche durch Belgien gegen Aachen streichen, als ein Stück des Aussenrandes eines zweiten Gebirgsbogens anzusehen, welcher seine hauptsächlichliche Faltung ebenfalls in spätcarbonischer, jedenfalls vorpermischer Zeit vollendet hat und ebenfalls später in Trümmer gebrochen worden ist. Das vorherrschend devonische Faltengebirge von den Ardennen bis zum Taunus und zum Harz verhält sich zum belgischen Kohlengebirge und zu den gegen Crefeld, wie es scheint, durch horizontale Verschiebung weiter vortretenden Flötzen an der Ostseite des Rheins ebenso, wie die Falten devonischer Sedimente in Devonshire zu den Flötzen der Mendips. In den Vogesen und im Schwarzwalde streichen die Falten jenen des Taunus parallel. Sie verhalten sich zu dem Gebirge unterhalb Bingen ebenso, wie die Falten der Bretagne zu jenen von Cornwall und Devonshire. Hier liegen die Trümmer der inneren Zonen des alten Gebirgsbogens. Diese Falten müssen sich aber über den östlichen Bruchrand des Schwarzwaldes hinaus fortsetzen, und wir haben anzunehmen, das alles Land nördlich von Tübingen und Nürnberg auf den Trümmern des alten Hochgebirges ruht. Dann tritt es wieder hervor. Die Münchberger Gneissmasse bei Hof in Baiern (Curia Variscorum), mit dem überschobenen Nordrande, dann die Ellipse N. von Chemnitz zeigen den Grundplan einzelner Kerne des abgetragenen Hochgebirges. Beide liegen im Lande der Varisker, und der grosse Bogen mag das variscische Gebirge heissen. Das Erzgebirge und der Thüringerwald gehören ihm an, und seine Falten nehmen, wie Credner gezeigt hat, die ganze Breite des Königreiches Sachsen ein. Nun beugt sich das Streichen des Bogens, dessen Aussenrand hier nicht sichtbar ist, durch die Lausitz zu den Sudeten. In Schlesien und Mähren liegt wieder innerhalb der flötzreichen Zone das devonische Gebirge sammt dem Culm, wie am Rhein, bis endlich die grossen Faltenzüge unter die Karpathen hinabtauchen.“ (Suess, 1886: 114–115, Sperrung wie in der Originalpublikation von Sueß)

In der deutschsprachigen Literatur pflegt man den Vorzug der Bezeichnung „Varisziden“ damit zu begründen, daß der Terminus „Herzynisches System“ ursprünglich von Leopold von Buch (1824) in einem ganz anderen Sinne, für das nordwestliche Gebirgssystem Deutschlands, eingeführt wurde und man diesen Terminus auch als eine Bezeichnung für eine bestimmte Streichrichtung verwendete (vgl. Z. B., Stille, 1910, S. 823, Fußnote 1). Darüber ist zweierlei zu bemerken: Erstens, Leopold von Buch sprach nicht von einem „herzynischen“, sondern, den deutschen Namen „Harz“ benützend, von einem „System von Harz“. Zweitens, Richtungen mit Namen zu belegen ist zwar eine sehr alte deutsche bergmännische Tradition, findet aber seit langem in der geologischen Literatur nicht mehr Verwendung.

Endlich muß ich unterstreichen, daß die Bezeichnung „chaîne hercynienne“ 1887 von Sueß's Freund und Bewunderer Marcel Bertrand für das eingeführt wurde, was Sueß 1886 unter „armorianischem“ und „variscischem“ Gebirge zusammengefaßt hatte und wir heute als ein zusammenhängendes orogenes System innerhalb von Mittel- und Westpangäa erkennen. Bertrands Priorität muß, nach den wissenschaftlichen Prioritätsgesetzen, anerkannt werden.

Wegeners Pangäa und seine Weiterentwicklung im mobilistischen Lager während der Zwischenkriegsperiode

Wegeners Pangäa entstand schrittweise und in totaler Unwissenheit dreier früheren mobilistischen Pangäa-Vorstellungen (Abb. 1A, 1B und 1C), die innerhalb mehr oder weniger fantastischer geologischer Theorien zustande gekommen waren. Die erste Pangäa war diejenige von dem Amerikaner Richard Owen, damals Professor für Geologie und Chemie an der Universität zu Nashville in dem amerikanischen Bundesstaat Tennessee. Seine auf (auch damals z. T. ganz unhaltbaren) chemischen, physikalischen und astronomischen Argumenten basierte Erdentwicklungstheorie führte ihn zu der Idee, dass die beiden Amerikas einst eine obere Schicht der westlichen Hälfte der Alten Welt darstellten und davon in ihre heutige Lage abgerutscht hatten, dabei den atlantischen ‚Rift‘ öffnend (Owen, 1857, besonders S. 75). Auch Australien soll nach Südosten von den Rücken Arabiens abgerutscht haben (Abb. 1A). Nur ein Jahr später kam das besonders durch die Veröffentlichungen von dem schweizerisch-amerikanischen Geologen und Geologiehistoriker Albert V. Carozzi (1970a, b) zu einem späten Ruhm verhoffene Buch von Antonio Snider über die Geschichte der Schöpfung und die Ursprung der Völker Amerikas, worin der Autor für die Erklärung der Lage der Kohlenlagerstätten Europas und Amerikas eine einstige Geschlossenheit des Atlantiks annahm (Abb. 1B). In seiner Theorie sollte die Trennung der beiden Amerikas von Europa und Afrika eine Folge der Sintflut gewesen sein (Snider, 1858)! Endlich wurde auch eine Halbpangäa, wie die von Snider, von dem amerikanischen Geologen Howard B. Baker 1911 publiziert (Abb. 1C). Baker glaubte, dass einmal in der Vergangenheit, die Bahnen von der Erde und der Venus so eine Geometrie angenommen hatten, dass ein erheblicher Teil von der Masse der Erde ausgelöst und in den Weltraum geschleudert wurde. Die Zurückgebliebene Depression wurde von den Amerikas gefüllt, als sie von der Alten Welt während des Jungmiozäns oder Altplozäns weggerissen wurden, dabei den atlantischen Ozean öffnend⁵.

Noch viel früher hatte der unglückliche deutsche Arzt und Geograph Bernhard Varen (Bernhardus Varenius; er war mit 28 Jahren schon tot: vgl. Günther, 1906) in seinem kleinen, allgemeine Geographie gründenden Buch geschrieben, dass in der Vergangenheit Europa und Amerika einen einzigen Kontinent gebildet hatten und später Amerika von Europa zerrissen worden war (Varenius, 1664⁶, S. 317). Deshalb wären die amerikanischen Eingeborenen auch Kinder von Adam!

Auch Alexander von Humboldt führt man gelegentlich unter denjenigen an, die von einer Öffnung des Atlantiks sprachen. In mehreren Veröffentlichungen verglich von Humboldt den atlantischen Ozean mit einem erweiterten Flusstal (so zuletzt in „Kosmos,“ 1845, S. 309), weil die beiden gegenüberliegenden Küsten fast den gleichen Verlauf zu haben scheinen. Aber wie Carozzi (1970b, S. 176) mit Recht sagt, schwebte dabei dem großen Geographen keine tektonisch bedingte Horizontalbewegung der Kontinentalschollen vor⁷. Weit in die Zukunft blickend warnte der Greis:

5 Das Buch von Baker, betitelt „The Origin of the Moon“ wurde von Detroit Free Press in Detroit als eine durch Mimeographie in wenigen Exemplaren vervielfältigtes Büchlein veröffentlicht und ist deswegen ein sehr seltenes Dokument. Ich habe es nicht gesehen und konnte es in den angesehensten amerikanischen Universitätsbibliotheken nicht finden. Was ich hier berichte, zusammen mit Abb. 1C, wurde dem Buch von Du Tort (1937) entnommen.

6 VARENIUS' „Geographia Generalis“ wurde zuerst 1650 von Elzevier in Amsterdam veröffentlicht. Ich zitiere einen Nachdruck aus dem Jahre 1664 auch von Elzevier, den ich in meiner Privatbibliothek habe.

7 In seinem berühmten aber leider unvollendet gebliebenen Reisewerk „Rélations historiques“ sprach der damals 43-jährige Forscher von dem „atlantischen Meer, oder dem tiefen Thal, das die West-

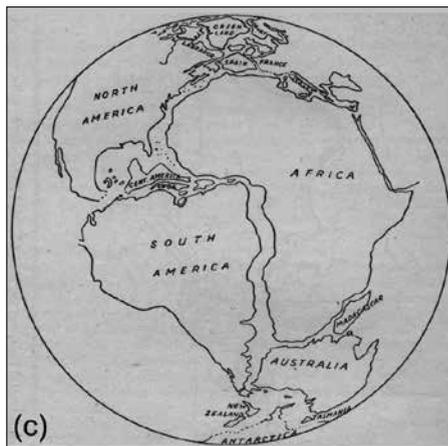
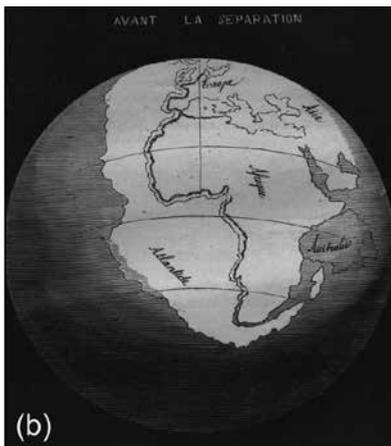
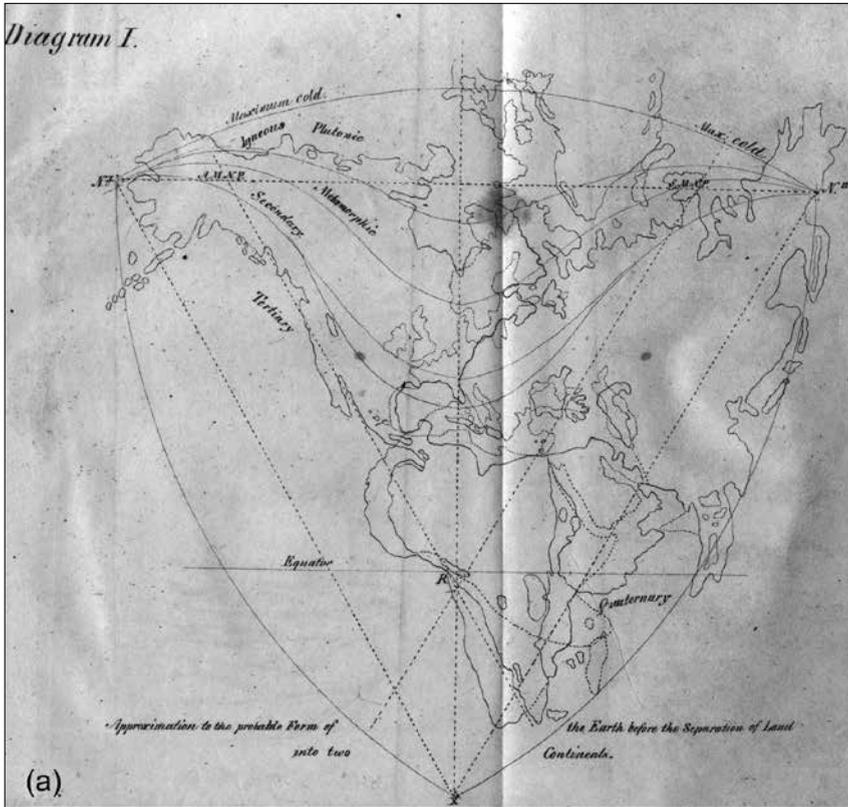


Abb. 1a: Die erste „Pangäa“-Rekonstruktion von Richard Owen (bereits eine „Vollpangäa;“ aus OWEN 1857, Faltdiagramme 1). Die Ost-West-Verkürzung der Kontinentalschollen in dieser Rekonstruktion soll die bei der Abrutschung der aufliegenden Kontinentalschollen verursachte Erstreckung zurücknehmen.

Abb. 1b: Snider-Pellegrinis „Halbpangäa“ aus seinem mit einer fantastischen Sintfluttheorie versehenen Buch (SNIDER 1858).

Abb. 1c: Howard B. Bakers „Halbpangäa“ in seinem schwer zugänglichen Buch aus dem Jahre 1911 (kopiert aus Du TOIT 1937: 14, Fig. 2).

„Ueber den Causalzusammenhang solcher großen Begebenheiten der Länderbildung, der Aehnlichkeit und des Contrastes in der Gestaltung, ist wenig empirisch zu ergründen. Wir erkennen nur das Eine: daß die wirkende Ursach unterirdisch ist; daß die jetzige Länderform nicht auf einmal entstanden, sondern, wie wir schon oben bemerkt, von der Epoche der silurischen Formation^[8] (neptunischen Abscheidung) bis zu den Tertiärschichten nach mannigfaltigen oscillirenden Hebungen und Senkungen des Bodens sich allmählig vergrößert hat und aus einzelnen kleineren Continenten zusammengeschmolzen ist.“

(von HUMBOLDT 1845: 311; Sperrung bei von HUMBOLDT).

In Wegeners beiden Abhandlungen aus dem Jahre 1912 (WEGENER 1912a, b⁹) war noch keine Rede von einer Pangäa und auch machte Wegener keinen Versuch die Kontinente zu ihren Prädriftstellungen zu verstellen (vgl. WEGENER 1912a, b). Erst in der ersten Ausgabe seines berühmten, epochemachenden Buches „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ wagte er eine Rekonstruktion nur um den atlantischen Ozean (Abb. 2A und 2B), also eine „Halbpangäa,“ weil Angaben aus dem Indik ihm nicht zureichend erschienen (WEGENER 1915: 69). Ich zitiere seine Darstellung seiner Vorgehensweise bei der Rekonstruktion der ehemaligen Stellungen der Kontinente um den Atlantik vollständig mit der Absicht, einige falsche Vorstellungen zu beseitigen, wie z. B. Wegener habe zuerst versucht, nur die Küstenlinien zueinander zu passen¹⁰!

„In Fig. 17 [Abb. 2A hier] ist der Versuch gemacht worden, die Lage der atlantischen Grenzschollen in der Zeit der Entstehung des Atlantik zu rekonstruieren. Die Verteilung von Wasser und Land ist dabei nicht zur Darstellung gelangt, sondern nur die relative Lage der Kontinentalschollen einschließlich ihrer Schelfe. Den eigentlichen Inhalt des Kärtchens bilden also die starken Umrißlinien der letzteren, während die heutigen Küstenlinien nur zum Zweck leichteren Wiedererkennens eingetragen wurden. Die Projektion ist etwa diejenige auf einen Zylinder [d. h. eine Merkator'sche Projektion], welcher den Meridian von Greenwich berührt. Es braucht kaum hervorgehoben zu werden, daß ein solcher Versuch heute noch manches Willkürliche oder doch geologisch noch nicht hinreichend Begründete enthalten muß. Mißgriffe hierin bedeuten natürlich noch nicht die Unrichtigkeit der Verschiebungstheorie an sich. Im einzelnen wurden folgende Annahmen gemacht:

küsten von Europa und Afrika von den Ostküsten des neuen Continents trennt... Im Canal, den der atlantische Ocean zwischen Guyana und Guinea auf 20 bis 23 Längengrade, vom 8. oder 9. bis zum 2. Grad nördlicher Breite gegraben hat, ...“ (von Humboldt 1859: 29–30, [Sperrung von mir]; ich zitiere hier aus der einzigen von Alexander von Humboldt anerkannten aber verkürzten deutschen Übersetzung von Hermann Hauff; es gibt jetzt eine bessere, doch immer noch verkürzt gebliebene zweibändige deutsche Ausgabe von Ottmar Ette. Siehe von Humboldt 1991: 68–69 und 69–70). Nach ihm war es also der Ozean, wie ein Fluß, der sein Tal gegraben hatte. Ich muß auch unterstreichen, daß Humboldt das oben zitierte in seiner Besprechung der ozeanischen Strömungen schrieb.

- 8 Zu dieser Zeit wurde das von dem schottischen Geologen Roderick Impey Murchison 1835 eingeführte silurische System (in der alten deutschsprachigen Bezeichnungsweise „silurische Formation“) als das älteste, fossilführende System angesehen.
- 9 Diese Abhandlung wurde in dem „goldenen Band“ der „Geologischen Rundschau“ in Faksimile nachgedruckt mit einer von Roland von Huene unternommenen englischen Übersetzung; vgl. DULLO 2003: 4–17.
- 10 Über dieses Thema schrieb die amerikanische Geologehistorikerin Ellen T. Drake eine kurze Abhandlung mit der Absicht Wegener zu verteidigen (DRAKE 1976). Leider ist ihre Abhandlung voll mit Fehlern und falschen Implikationen; sie glaubte, z. B. Wegener sei bei dem New Yorker Symposium vom Jahre 1926 anwesend gewesen (er war nicht; YOUNT 2009: 62; NEWMAN 1995: 193, schreibt sogar, daß nur Wegeners Gegner in New York anwesend waren). Ihr Vorwurf gegen Schucherts berühmten Beitrag im gleichen Symposium (siehe unten) ist auch nicht berechtigt: obwohl Schuchert wohl von der Veränderlichkeit der Küstenlinien sprach und Wegener tadelte, dies nicht ausreichend beachtet zu haben, wußte er sehr wohl, daß Wegener nicht die heutigen Küstenlinien, sondern die Ränder von Schelfen zueinander angepaßt hatte. Auch in der Antwort von van Waterschoot van der Gracht auf Schucherts Kritik von Wegeners Theorie findet sich darüber kein Wort.

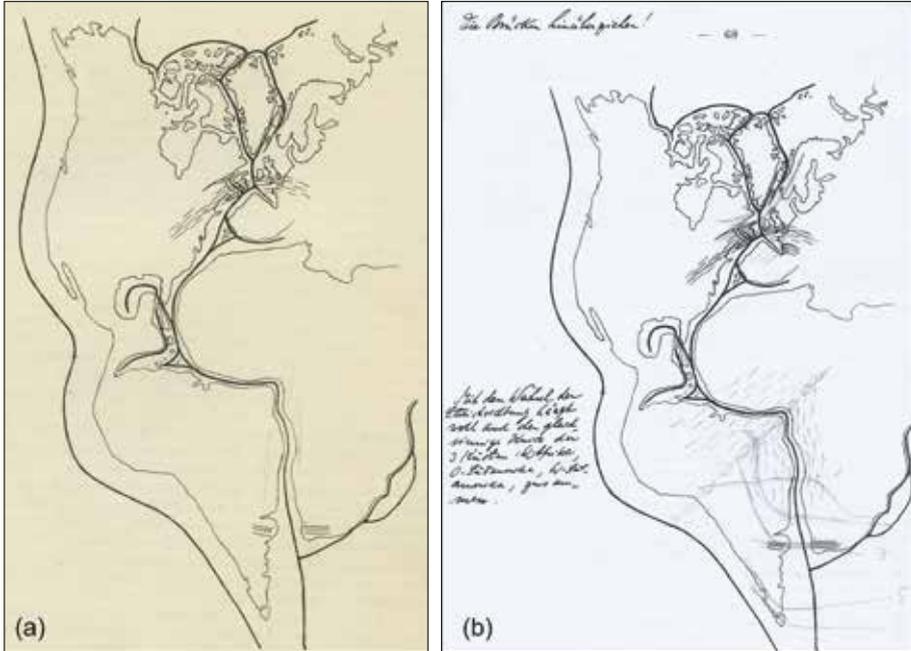


Abb. 2a: Wegeners Halbpangäa aus der ersten Ausgabe der „Entstehung der Kontinente und Ozeane“ (WEGENER 1915: 67, Abb. 17).

Abb. 2b: Dasselbe wie Abb. 2A, aber mit Wegeners späteren handschriftlichen Eintragungen, die weitere Beobachtungen zur Unterstützung seiner Rekonstruktion darstellen. Die Marginalien lauten: Oben: „Die Brücken hinüberziehen!“ Unten: „Mit dem Wechsel der Streichrichtung hängt wohl auch der gleichsinnige Knick der 3 Küsten: W-Afrika, O-Südamerika, W-Südamerika, zusammen.“ (Aus Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, 2005: 144).

Die Anden, der Atlas und das europäische System alpiner Faltungen waren noch ungefaltete Schelfe^[1] und sind daher stark verbreitert dargestellt. Hierdurch rückt namentlich Osteuropa erheblich von Afrika ab. Andererseits war wohl auch der heutige scharfe Knick zwischen der nordamerikanischen Westküste und Alaska noch nicht vorhanden; durch diese beiden Änderungen gelingt es, die Schollen um Grönland zum Schließen zu bringen. Besonders unsicher ist die Auffassung noch bei Spanien und Mittelamerika. Madagaskar wurde noch mitgenommen, dagegen Indien, Australien und Antarktika als zu unsicher fortgelassen. Die in der Karte dargestellte Angliederung Islands und der Färöer scheint mir besonders durch den Verlauf der Tiefenlinien in ihrer heutigen Umgebung wahrscheinlich. Diese Gebiete lagen also im Tertiär wie ein Puffer zwischen den beiden gegeneinander ‚arbeitenden‘ Schollenrändern Norwegens und Grönlands, womit wohl die großen Basalergüsse zusammenhängen. Grönland erscheint verzerrt; seine heutige Gestalt hat es durch Verkürzung in Nordsüdrichtung und durch eine Biegung der Südspitze nach Osten erhalten. Die Abrolhosbank an der Südküste Brasiliens wurde fortgelassen; schon ihre unregelmäßige Form legt die Vermutung nahe, daß sie nicht

11 Man merke, wie vorsichtig Wegener den Ausdruck „Geosynklinale“ vermeidet. Darüber siehe besonders WEGENER 1915: 35, Fußnote 1. Das ist ein bezeichnendes Merkmal für Sueß’ „Das Antlitz der Erde“ (SUESS, 1883, 1885, 1888 [in diesem zweiten Band des „Antlitz“ schrieb er nur einmal spöttisch: „Es gibt auf der Erde keine grössere Geosynklinale als die pacifische“, S. 264], 1901, 1909) und für die Schriften der Mitglieder von was ich „Wegener-Argand-Schule“ nannte (ŞENGÖR 1982a, 1982b, 1991, 1998).

einen alten Schelf, sondern wohl eher geschmolzene salische Massen von der Unterseite der Schollen darstellt. Auch das Nigeraldelt mußte natürlich fortgelassen werden.“

(WEGENER 1915: 6869; [Sperrung von mir])

Es ist hier interessant zu lesen, daß Wegener bei dem Driften der Kontinental-schollen nicht einen gleichzeitigen Vulkanismus in den simatischen Boden der Ozeane, sondern in den sialischen Sockeln der Kontinente voraussetzt. Nur ein Jahr später als die Veröffentlichung von Wegeners Buch deutete der holländische Meister Gustaaf Molengraaf die mittelatlantischen Rücken als mit der Öffnung des Ozeans zusammenhängende vulkanische Zerrgebilde (MOLENGRAAF 1916; siehe auch MOLENGRAAF 1928). Sein Landsmann van Waterschoot van der Gracht war derselben Meinung (van WATERSCHOOT VAN DER GRACHT 1928: 210). Auch der deutsche Tektoniker Hans Stille erkannte 1937, nach seiner Erwägung der Beobachtungen aus Island, daß die mittelatlantischen Rücken Zerrungsstrukturen sein müssen. Aber der deutsche Meister beharrte auf seinem Fixismus und betrachtete die isländischen Zerrungsstrukturen als „germanotype“ (in seiner Sicht deshalb noch „orogene“¹²) Gebilde (STILLE 1937: 137). Erst 1941 kam der große österreichische Geologe Otto Ampferer zu Molengraafs Deutung zurück (AMPFERER 1941), aber ohne Kenntnis von seinem Vorgänger¹³.

Obwohl Wegener ganz umsichtig vorangeschritten und direkt am Anfang seiner Schilderung der von ihm gemachten Annahmen zugestanden hat, daß viele Fehler, darunter auch geologische, in seinem Rekonstruktionsversuch gefunden werden könnten, hat er in das durchschossene Autorenexemplar seines Buches geschrieben, daß die Möglichkeit, daß die von ihm festgestellten Übereinstimmungen an den einander gegenüber rekonstruierten Küsten durch Zufall zustande gekommen sein könnten, auf 1/1.000.000 belaufen! Darüber schrieb er das Folgende:

„Wahrscheinlichkeit des Zufalls: Wenn für die Fortsetzung jeder Struktur nur die gegenüberliegenden 2000 Km in Betracht gezogen werden und angenommen wird, daß die Verschiebungstheorie bei der rekonstruktiven Zusammensetzung nur um höchstens 200 Km ungenau ist, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich die Fortsetzung irgend einer Struktur gerade in demjenigen 200 Km-Stück befindet, welches bei der Rekonstruktion in die unmittelbare Verlängerung der Struktur fällt, gleich 1/10. Für 2 derartige Fälle ist die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Zufalls gleich dem Produkt, also (1/10)², bei 3 gleich (1/10)³ u. s. w. Im vorliegenden Fall sind 6 solche Übereinstimmungen konstatiert (1 Grönland, 1 Skandinavien, 1 Karbongebirge, 1 Eiszeitrand, 1 Streichstruktur in Afrika, 1 Kagebirge). Damit wird die Wahrscheinlichkeit des Zufalls 1:1 000 000.“

(Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung 2005: 142)

Auch wenn man von Wegeners Rechnung den Fall vom Eisrand entfernt, ist immerhin die Wahrscheinlichkeit eines Zufalls für die von ihm angeführten Übereinstimmungen auf den beiden Seiten des Atlantik 1/100.000!

Aber doch nahm Wegener einige große Freiheiten bei seiner Atlantikrekonstruktion, die die damaligen Geologen nicht ohne weiteres akzeptieren konnten. Erstens waren seine Karten nicht sorgfältig, auf welche von seinem gewählten Maßstab erlaubten Details nicht mit genügendem Sorgfalt eingetragen waren. Dies gab manchen Teilen seiner Rekonstruktion den Schein der Willkür. Die Streichungsrichtungen der Leitlinien der Gebirge wurden auch sehr schematisch, ja an vielen Stellen (z. B. in Nordspanien,

12 Für die Rechtfertigung der Bezeichnung „Orogen“ auch für als germanotyp gedeutete Lockerungs- bzw. Auftreibungsgebiete, vgl. STILLE 1927: 292.

13 Ampferer gibt am Ende seiner Schrift eine lange Liste der Forscher deren Werke und Gedanken ihn angeregt und geleitet hatten; darunter erscheint Molengraafs Name nicht.

Südappalachen) einfach falsch eingetragen (Auch ist die in Abb. 2B gezeigte spätere Zeichnung der kaledonischen Leitlinien in Labrador ganz falsch. Man wußte schon damals, daß in Labrador gar keine nachpräkambrische Gebirgsbildungen stattgefunden hatten). Wegener hätte, ganz besonders bei einer so revolutionären Veröffentlichung, viel vorsichtiger verfahren sollen und er hätte es sehr leicht tun können, wenn er Sueß's „Das Antlitz der Erde“ (SUESS 1883, 1885, 1888, 1901, 1909) sorgfältiger, mit größerer Aufmerksamkeit gelesen hätte. Warum hat er es nicht getan? Vielleicht war er, besonders im Lichte seiner Wahrscheinlichkeitsrechnung, von der Richtigkeit seiner Idee so überzeugt, dass er solche Ungenauigkeiten als Kleinigkeiten ansah, die die Theorie nicht erschüttern könnten.

In seinem Versuch in den dritten und vierten Ausgaben seines Buches (WEGENER 1922, 1929), die ganze Pangäa zu rekonstruieren und ihre zeitliche Entwicklung vom Jung-Karbon bis Alt-Quartär zu schildern (Abb. 3), ging er noch schematischer vor, als ob er sein Hauptargument, das, nach seinen eigenen Worten, schon 1910 am Anfang seiner Gedanken über die Verschiebungstheorie gestanden war, nämlich die Übereinstimmung der einander gegenüberliegenden Kontinentalränder (WEGENER 1929: 1), ganz aufgegeben hätte. Er hat zwar die Verbreitung der seichten und tiefen Meere auf seiner rekonstruierten Pangäa (Abb. 3) gezeichnet, aber auch dabei ist er nicht sehr vorsichtig gewesen und zeigte die ganze Tethys, z. B., wo ehemalige Wassertiefen bis zu 4000 m seit mindestens drei Dezennien angenommen waren (NEUMAYR 1885; SUESS 1909) als ein seichtes, epikontinentales Meer. Er wurde vielleicht von einer Äußerung des großen Wiener Geologen Carl DIENER (1916: 520) irregeführt, der, im Gegensatz zu seinen beiden Lehrern Sueß und Neumayr (z. B., SUESS 1895), die Tethys der triassischen Zeiten zum größten Teil als eine Flachsee betrachtete. Diener war aber mit seinen Lehrern der gleichen Meinung, daß die Tethys der jurassischen und späteren Zeiten ein tiefer Ozean war (DIENER 1916: 525).

Noch überraschender ist die Tatsache, daß er die gleiche Pangäa-Unterlage benützte, um mit klimatisch empfindlichen Gesteinsablagerungen und Fossilien seine These zu untermauern, eine Methode, die seitdem bei Kontinentalrekonstruktionen Standard geworden ist (KÖPPEN & WEGENER 1924; KÖPPEN 1938). Er und sein berühmter Mitautor, der gleichzeitig sein Schwiegervater war, der weltbekannte Klimatologe Wladimir Köppen, haben vielleicht geglaubt, daß die vorhandenen Beobachtungen schon genügen, die Wahrheit von Wegeners Pangäa vor Augen zu bringen. Weil die Pangäa-Rekonstruktion in ihrem Buch dieselbe war wie in den beiden letzten Ausgaben von Wegeners Buch, unterlasse ich es hier, sie zu reproduzieren. Die interessierten Leser können das Original lesen, was übrigens sehr der Mühe wert ist (auch Milutin MILANKOWITSCH, der serbische Schöpfer der Lehre der astronomisch-bedingten Milankowitsch-Zyklen in der Paläoklimatologie, trug zu diesem einmaligen Buch ein Kapitel bei).

Manche Anhänger von Wegener unter den Geologen waren viel sorgfältiger als er. Im Jahre 1922 trug der geniale schweizerische Geologieprofessor in Neuchâtel, Émile Argand, seine Gedanken über die Tektonik Asiens vor der gesammelten Geologenschaft der Welt in Brüssel während des 13. International Geologenkongresses vor (ARGAND 1924). Er hatte früher die für lange Zeit als enigmatisch angesehene Struktur der penninischen Alpen aufgedeckt und die Entwicklung der im Penninikum entdeckten gewaltigen Überfaltungsdecken in einer sehr berühmt gewordenen Abhandlung als einen Vorgang der kontinuierlichen Annäherung Afrikas an Europa gedeutet (ARGAND 1916a; seinen diesbezüglichen Vortrag hatte er 1915 bei der Jahreshauptversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft gehalten). Argands Interpretation bedeutete erhebliche horizontale Verfrachtung der sich einander nähernden Kontinentalschollen und es ist nicht zu verwundern, daß er schon am 3. November 1916 vor der Société

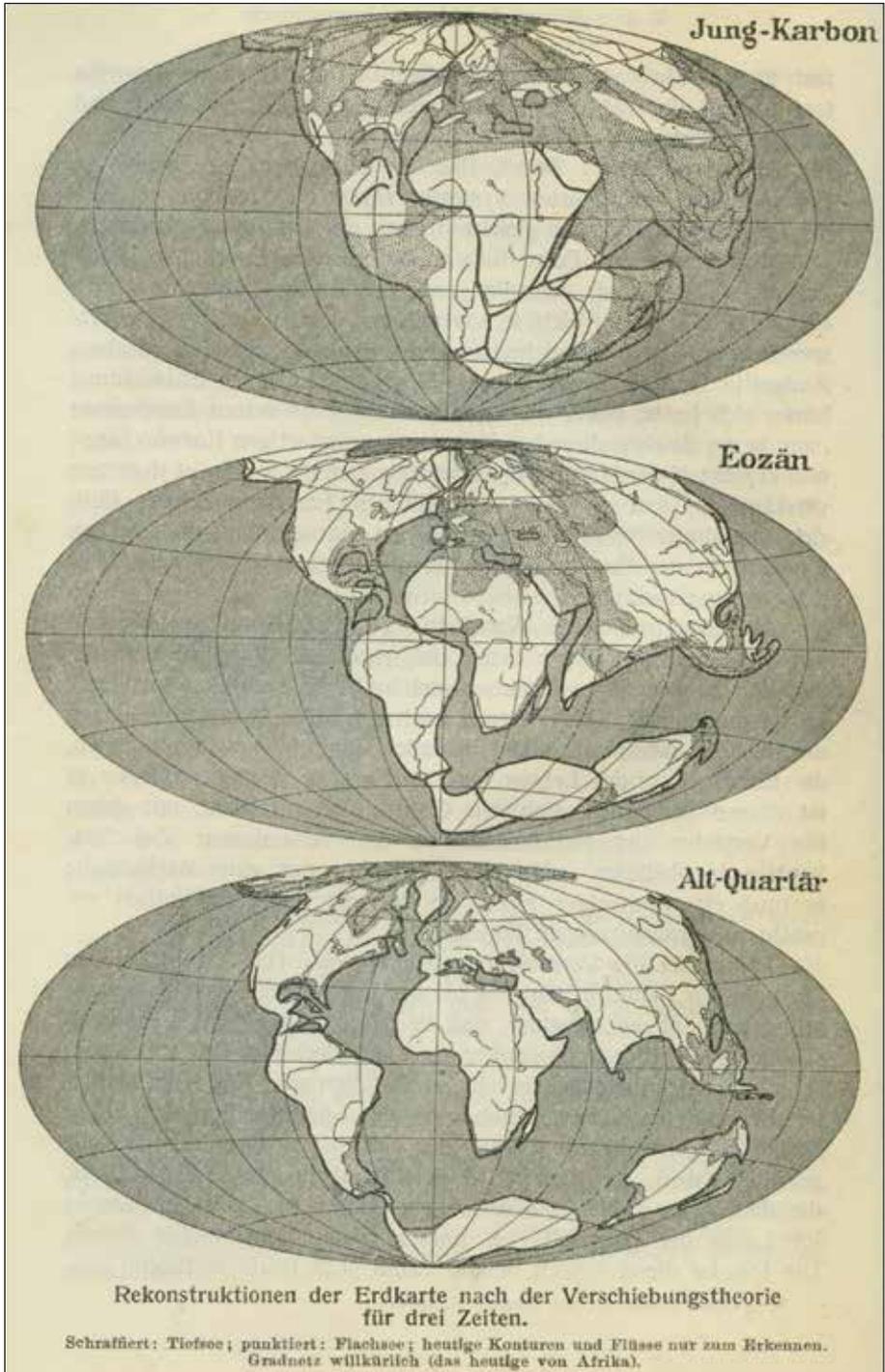


Abb. 3: Wegeners „Vollpangäa“ und ihr Auseinanderfallen (aus der dritten und der vierten Ausgaben der „Entstehung der Kontinente und Ozeane“).

Neuchâteloise des Sciences Naturelles einen später nicht gedruckten, lobenden Vortag über Wegeners Theorie hielt (ARGAND 1916b).

Argand kannte sein Sueß viel besser als Wegener. Er eröffnete seine berühmte Rede vor dem Internationalen Geologenkongress in Brüssel mit den folgenden, die Hauptwurzel seiner Gedanken freilegenden Worten:

„Zwölf Jahre sind verstrichen, meine Herren, seit der Niederschreibung der letzten Worte des großen Werkes von Sueß, zwölf Jahre, währenddessen zahlreiche ausgezeichnete Werke über verschiedene Gegenden der Welt, die unschätzbar viele neue Tatsachen und gelegentlich auch kühne Deutungen hervorbrachten, veröffentlicht wurden. Wäre der Meister unter uns zurückgekehrt, würde er vielleicht geneigt sein, einige Details des Planes zu retouchieren, eine gegebene Darstellung zu vervollständigen, oder vielleicht eine gegebene Episode durch eine andere Einrichtung zu interpretieren. Ich bin aber davon überzeugt, er würde nicht daran denken, die Hauptlinien des Monuments zu ändern, denn die Hauptzüge haben sich bewahrt.“

(ARGAND 1924: 171).

Man sagt, dass Argand 17 Sprachen beherrschte und eine unglaubliche, mit Sueß vergleichbare Kenntnis der Weltliteratur der Geologie hatte und dafür noch die wertvolle Hilfe von dem großen französischen Gelehrten Emmanuel Jacquin de Margerie, dem Freund von Sueß und Übersetzer des ‚Antlitz der Erde‘ ins Französische, den Argand „le prince des bibliographes“ zu nennen pflegte, erhalten konnte.

Mit seiner Detailkenntnis der Geologie der Erde, zeigte Argand in seiner Rede in Brüssel, daß was er „Mobilismus“ nannte, die einzige, allen damals bekannten Erfahrungen gerecht werdende Theorie des Erdverhaltens sei. Er hatte nicht nur Wegeners Theorie, sondern auch vieler seiner tektonischen Deutungen, wie, z. B. die Rotation der iberischen Halbinsel, oder die lange, sich nach Norden streckende „Zunge“ von Indien, in seine Interpretation der phanerozoischen globalen Tektonik einverleibt. Die Tethys hatte Argand dagegen, diesmal den Fußstapfen nicht von Sueß und auch nicht von Wegener, sondern von dem französischen Meister Émile HAUG (1908–1911) folgend, als eine sich durch Pangäa durchschlingende lange Geosynklinale gedeutet (vgl. Abbildungen 4 bis 6). Argands Festhalten an der Figur der Geosynklinale (allerdings kritisierte er in seiner Rede die Geosynklinalidee als eine unnötige Theorie; nach ihm waren was man Geosynklinale zu nennen pflegte entweder zu einem vollentwickelten Ozean noch nicht gewordene Zerrungströge oder aber auch vorzeitliche Ozeane) stellt die schwächste Seite seiner tektonischen Interpretationen innerhalb des Rahmens der Verschiebungstheorie und zeigt die Stärke des verführerischen Charakters der Geosynklinaltheorie sogar für ein überragendes Genie wie Argand.

In seiner Rede in Brüssel zeigte Argand nur die Rekonstruktion des Gondwanalandes, d. h. des südlichen, südlich der Tethys liegenden Teils von der Pangäa und nur ein kleines Stück von Laurasien (Abb. 4). Er betonte in seiner Rekonstruktion, daß wenigstens Südamerika, Afrika, die indische Halbinsel, Australien und Antarktis eine tektonisch zusammenhängende Einheit innerhalb des Gondwana-Landes dargestellt hatten. Von seinen hinterlassenen Manuskripten lernen wir aber, daß er weiter über die Geologie von der Pangäa gearbeitet hatte. Abbildungen 5 und 6 zeigen seine Deutungen der Tektonik von der Gesamtpangäa, der Reihe nach, während des Altpaläozoikums und des Jungpaläozoikums. Bedauerlicherweise hat Argand die erste dieser zweien Zeiten, Marcel BERTRAND 1887 folgend, als „kaledonisch“ bezeichnet und damit den Anschein gab, ein Anhänger der Phasenlehre von Stille zu sein, obwohl er die Kontinuität der tektonischen Bewegungen, darunter auch von Orogenesen, immer wieder betonte. Für die zweite Rekonstruktion (Abb. 6) aber hat er einfach Devon-Unterkarbonischer Zustand geschrieben.

Argands beide Pangäen geben uns den Eindruck, ziemlich statische Gebilde zu sein,

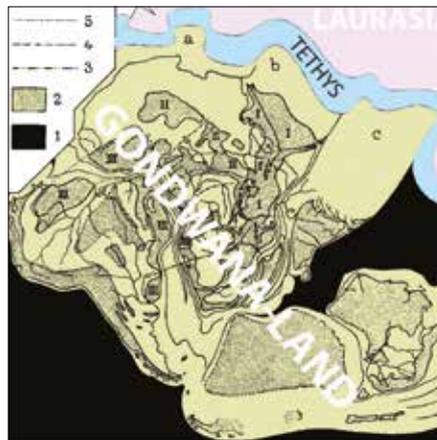


Abb. 4: Argands Rekonstruktion des Gondwana-Landes und der Tethys (aus ARGAND, 1924, seine Abb. 6. Farbe und die Bezeichnungen Gondwana-Land, Laurasien und Tethys wurden zum besseren Verständnis von mir hinzugefügt. Gekürzte Übersetzung seiner Legende: 1. Sima dominant; 2. Gebiete in welcher die Sättel der Grundfalten (auf deutsch oft als „Großfalten“ übersetzt) dominieren; 3. Kulminationen von den Axen der Grundfalten; 4. Niederungen von den Axen der Grundfalten. I, II und III Bezeichnen die Zweige der inneren Virgation des Gondwana-Landes. a, b und c sind die Vorspünge des Gondwana-Landes, die gegen die Tethys gerichtet waren: a. Afrikanischer Vorsprung (was in der jetzigen Literatur „Apulien“ genannt wird), b. Arabischer Vorsprung, c. Indischer Vorsprung.

deren Teile sich nur innerhalb der Pangäa entweder gegeneinander oder weg von einander bewegt zu haben scheinen. Diese Bewegungen zerstörten die Einheit der Pangäa scheinbar nicht, bis zum endgültigen Auseinanderdriften im Mesozoikum und Känozoikum. Wir haben keinen Text zu diesen bemerkenswerten Karten von Argand und deswegen ist es nicht möglich etwas definitives über seine Ideen zu der Pangäa-Frage zu äußern.

Bereits 1927 publizierte der große südafrikanische Geologe Alexander Logie Du Toit, den der Geologieprofessor der Harvard-Universität Reginald Aldworth Daly, selbst ein bedeutender Geologe und Parteigänger der Mobilisten, als größte Feldgeologe des Jahrhunderts bezeichnete, seinen mit der Unterstützung der Carnegie Institution in Washington, D.C. 1923 in den Monaten von Juni bis November unternommenen Vergleich der Geologie Süd- und Südwest-Afrikas mit der westlichen Südamerika. Die Feldarbeit dazu führte Du Toit in die Bundesstaaten von São Paulo, Paraná und Rio Grande do Sul in Brasilien, sowie durch ganz Uruguay und in die Bundestaaten von Buenos Aires, Cordoba, Mendoza und San Juan in Argentinien (siehe Du Toits kurzen Bericht: DU TOIT 1925–26). Abb. 7 zeigt seine Ergebnisse. Mit seiner unvergleichlichen Detailkenntnis der Stratigraphie und Strukturgeologie beider Seiten des Südatlantiks behauptete Du Toit, daß Wegeners Theorie die einzige vernünftige Erklärung seiner Resultate war. Auf seinen Beobachtungen konkordanter Schichten von Glazialablagerungen basierten Neudatierung der glazialen Sedimente als hauptsächlich aus dem Oberkarbon ärgerte die Nordhemisphäre-Geologen, die sie aus der Literatur als hauptsächlich permisch ansahen (siehe, z. B. die sehr negative Rezension des Du Toits Buches von Charles SCHUCHERT 1928a); am Ende behielt Du Toit aber Recht. Er überzeugte damals nicht Viele, hauptsächlich weil die meisten Zentren der geologischen Forschung sich auf der nördlichen Hemisphäre befanden und die dortigen Geologen wenig über die geologischen Einzelheiten der südlichen Länder wußten (wie Schucherts Rezension sehr schön doku-

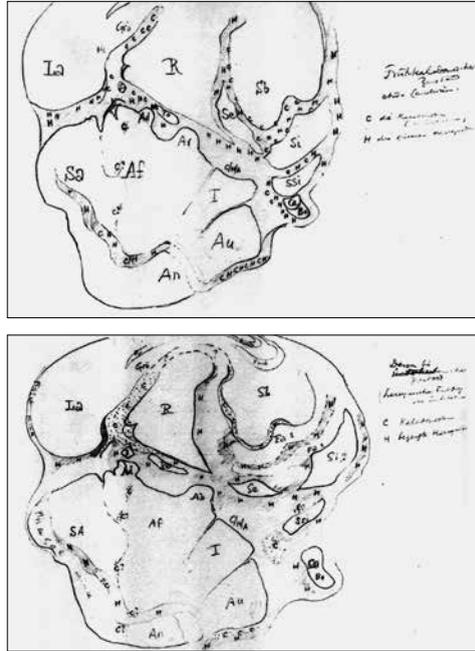


Abb. 5: Argands Manuskriptskizze der Rekonstruktion der Pangäa in ihrem „Frühkaledonischen Zustand, etwa Cambrium“. Abkürzungen: Ad: Adria, Af: Afrika, An: Antarktis, Ar: Arabien, Au: Australien, B (kaum lesbar; deutlicher in der nächsten Abbildung): Böhmisches Masse, Bo: Borneo, Ca: Kambodscha, Grö: Grönland, I: Indien, La: Laurentia (Sueß' Bezeichnung für den alten Kern Nordamerikas), Pa: Pannonien (von Sueß angenommener alter Kern unter der ungarischen Tiefebene), R: Russische Tafel, Sa: Südamerika, Sb: Sibirien, Se: Serindien (unter dem Tarimbecken angenommener alter Kern; der Name stammt von Ferdinand von Richthofen), Si: Sinia (d. h. China, aber hier nur Nordchina, nördlich des Qing-Ling-Gebirges), Ssi: Südsinia, d. h. Südchina. C: Gebirgsbildung zu „kaledonischer“, d. h. altpaläozoischer Zeit, H: Gebirgsbildung zu „herzynischer“, d. h. jungpaläozoischer Zeit. Es ist bemerkenswert, daß Argand seine Notizen auf diese und die nächste Karte auf Deutsch eintrug. Beide Skizzen sind undatiert. Warum Deutsch? Mir fallen zwei Möglichkeiten ein: entweder hat er diese beiden Karten bei einer Lektüre des Sueß' „Antlitz“ gezeichnet (die Terminologie, die Argand hier verwendet, ist durchaus die von Sueß) oder bei einer Lektüre von Rudolf Staubs „Der Bewegungsmechanismus der Erde“. Ich neige zur zweiten Möglichkeit, denn, zum Einen lag Argand eine ausgezeichnete, mit zusätzlichen Abbildungen und Literaturlisten bereicherte französische Ausgabe vom „Antlitz“, besorgt vom von ihm sehr respektierten de Margerie vor und zum Anderen enthält Staubs Buch auch Spekulationen über die paläozoische Entwicklung der Erde von einem mobilistischen Gesichtspunkt aus (Staub, obwohl Mobilist bis fast in die fünfziger Jahre, gab die Idee der Pangäa auf und ließ den atlantischen Ozean für immer offen. STAUB 1928).

Abb. 6: Argands Manuskriptskizze der Rekonstruktion der Pangäa in ihrem „Devon bis Unterkarbonschem Zustand“. Die Abkürzungen wie in der Abb. 5, ergänzt durch Pa1 und Pa2, die Alt- und Jungpaläozoisch bedeuten. Für C hat Argand „Kaledoniden“ und für H „bezeugte Herzyniden“ geschrieben. Wieder sind die Randbemerkungen auf Deutsch. Man merke wie statisch eigentlich Argands Pangäa aussieht. Im ganzen Paläozoikum bewegten sich die Teile des gewaltigen Kontinents kaum gegeneinander, obwohl Argand in „La Tectonique de l'Asie“ schrieb, daß die Meeresräume, aus welchen die Gebirge Zentralasiens entstanden waren, eigentliche Ozeane gewesen sind (siehe besonders ŞENGÖR & OKUROĞULLARI 1991). Vielleicht wollte er nur die Orte der vorzeitlichen Ozeane als Meeresstreifen angeben? Das Fehlen eines Textes gibt uns leider keine Möglichkeit des Meisters diesbezügliche Meinung zu erfahren.

mentiert). Du Toits Arbeit zeigte aber, trotz allem, dass Wegeners Theorie einer soliden geologischen Basis nicht entbehre wie damals von vielen Geologen behauptet wurde.

Auch theoretische Arbeiten wurden in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts über die Geodynamik auf der Basis von Wegeners Pangäa unternommen: ganz besonders interessant ist die Erdexpansionstheorie von dem unter den Astronomen sehr beachteten deutsch-britischen Astronomen Jakob Karl Ernst HALM¹⁴. Halm betrachtete die Erde, wie seinerzeit Eduard Suez, als einen sterbenden Stern. Er wies darauf hin, daß ein solcher Stern mit fortgeschrittener Abkühlung nicht schrumpfe, sondern sich aufblähe. Ein Ergebnis eines solchen Expandierens wäre, so glaubte Halm, das Bersten der ursprünglich in sich geschlossen gedachten Erdkruste und das darauffolgende Auseinandertreiben der Kontinentalschollen wie Abb. 8 zeigt. Halm griff dann Wegeners Halbpangäa (Abb. 2A) auf und zeigte, wie aus einer solchen kontinentalen Einheit die heutigen atlantiksäumenden Kontinente entstanden sein könnten (Abb. 9). Was aber bei Halms Ausführungen am interessantesten und originellsten erscheint ist seine Theorie der Entstehung der großen kontinentalen Unebenheiten.

Darüber schreibt er das Folgende:

„Wenn ein Kugel sich aufbläht, wird seine Oberfläche flacher und flacher. Selbstverständlich würden die flüssigen Teile der Oberfläche sich augenblicklich zu den geänderten Bedingungen des gravitationellen Gleichgewichts anpassen. Aber im Falle der festen Kruste dürfen wir ein sofortiges Reagieren nicht erwarten. Nehmen wir an, ab stelle einen Querschnitt durch eine einfachheitswegen als kreisrund gedachte Kappe. Offensichtlich, würde die Kappe zu den zu groß gewordenen Kopf nicht mehr passen, wenn wir sie zu a' b' transferieren. Während dieses Transfers würde die Schwere versuchen, die Oberfläche zu der sich ständig verändernden Krümmung anzupassen, aber wahrscheinlich für eine Zeit ohne Erfolg, bis einen Zeitpunkt erreicht wird, wo die Deformation zu groß für die Kohäsionskräfte werden wird und der Dach fällt ein.

Um die zu erwartenden Deformationen zu studieren, hat mir Herr Milner der königlichen Sternwarte geholfen, um einige Stücke steife Gallerte in teilkugelförmige Kappen von verschiedener Grössen und Mächtigkeiten zu gestalten. Wir ließen Sie auf einem Tisch nieder und erlaubten sie sich zu setzen. Sie verformten sich in eine Weise, die in den vertikalen Querschnitten in Abb. 10 (auch hier Abb. 10) gesehen werden kann. In allen Fällen fanden wir eine zentrale Tiefe und einen Ring von Höhen die konzentrisch mit dem Rand der Kappe war. Wenn von oben gesehen, sah man auch Spaltungen entlang der Ränder.“

(HALM 1935: 22–23; Sperrung von Halm)

Genau diese Theorie der internen Deformation von Lithosphärenschalen (durch die sog. „Membranspannungen“) wurde in den siebziger Jahren von Donald Turcotte und E. Ronald Oxburgh (1973), Oxburgh und Turcotte (1974) und Turcotte (1974) für die innere Deformation von auf einer ellipsoidischen Planetenoberfläche wandernden Kontinenten und von Sean C. Solomon (1987) für die interne Deformation der sich auf einem schrumpfenden Planeten befindenden Lithosphären verwendet¹⁵, ohne aber irgend eine Kenntnis von Halms frühere Arbeit!

14 Halm (1866–1944) ist unter den Geologen kaum mehr bekannt. Deswegen zitiere ich einen kurzen aber sehr informativen Nachruf auf Halm von dem bedeutenden britischen Astronomen Sir Harold Spencer Jones 1945.

15 Es muß aber hier darauf hingewiesen werden, daß Dickman & Williams 1981 nach der Veröffentlichung der Abhandlungen von Oxburgh und Turcotte und der bald darauffolgenden Einwendung von Burke und Dewey 1974, rechnerisch gezeigt haben, daß die effektive Viskosität der Lithosphäre viel zu klein sei, die aus Krümmungsänderungen der Lithosphärenteile stammenden Spannungen zu speichern, also die Einwendung von Burke und Dewey gegen die Idee von Oxburgh und Turcotte berechtigt gewesen war.

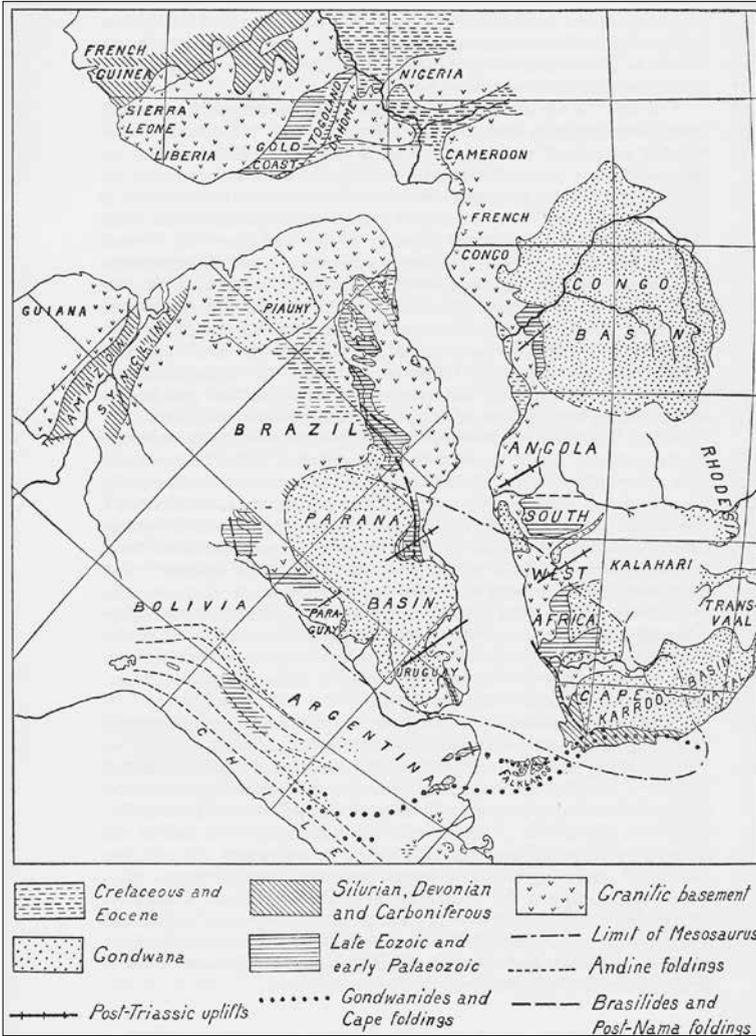


Abb. 7: Du Toits Rekonstruktion der Vordrift-Stellungen von Afrika und Südamerika in Bezug aufeinander (aus Du Toit 1927: 116, Fig. 7).

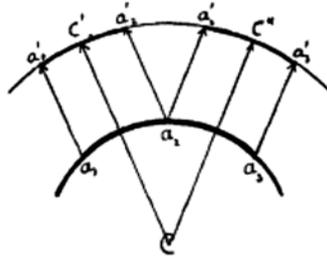


Abb. 8: Halms Skizze, die das Auseinanderrücken der Kontinente als Ergebnis einer Aufblähung des Planeten veranschaulicht (aus HALM 1935).

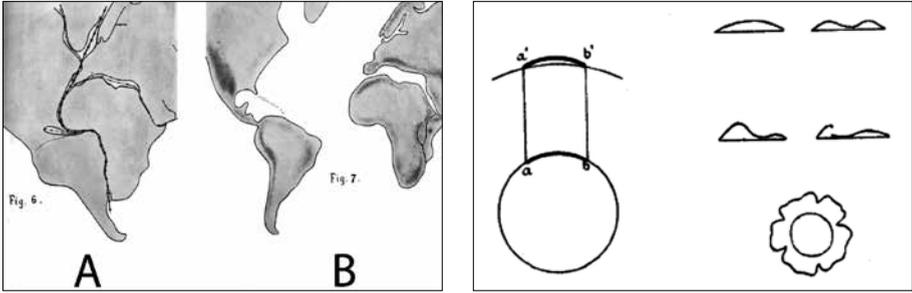


Abb. 9a: Halms Halbpangäa (aus HALM 1935, Fig. 6).

Abb. 9b: Das Auseinanderfallen von Halms Pangäa als Folge einer Erdexpansion (aus HALM 1935, Fig. 7).

Abb. 10: Die Beziehung einer starren kappenförmigen Scholle auf der Oberfläche eines sich auflählenden Planeten zu der Planetenoberfläche im Zuge der Expansion (links, aus HALM 1935, Fig. 9). Auf der rechten Seite (aus HALM 1935, Fig. 10), unten, sieht man die Abplattung, durch randliche Berstung und interne Faltung, der kappenförmigen Scholle wegen des Zerkleinwerdens ihrer Krümmung auf der sich vergrößern Oberfläche des Planeten. Oben sind schematische Querschnitte durch die Scholle während ihrer Deformation dargestellt, die ringartige Gebirge und eine zentrale Depression zustandebringt. Man beachte in der Abbildung 9B, daß Halm versuchte, die bestehenden Anhöhen der heutigen Kontinente als Ringgebirge um ein zentrales Becken darzustellen.

Es war aber der russisch-französische Geologe Boris Choubert, der die bemerkenswerteste Pangäarekonstruktion (eigentlich wieder nur eine Halbpangäa um den Atlantik) der Zwischenkriegsjahre lieferte. Er hat zuerst die besten, damals vorhandenen bathymetrischen Daten aus dem atlantischen Ozean zusammengetragen und eine zuverlässige Tiefenkarte hergestellt (Abb. 11). Dann hat er als eine junge Struktur angesehen die mittelatlantische Schwelle davon entfernt und die 1000 m Isobathen der zirkumatlantischen Kontinente aneinandergespaßt (Abb. 12). Dabei hat er auch einen guten Teil von Mexiko weggelassen (diese Deutung hat sich bis heute bewährt: seitdem hat man herausgefunden, daß die von Choubert weggelassenen Teile Mexikos damals westlich des heutigen Kalifornien¹⁶ lagen) und die Halbinsel von Yukatan in den Golf von Mexiko hineingedreht. Er folgte Wegener und Argand indem er auch die iberische Halbinsel gegen den Uhrzeigersinn rotierte, den Golf von Biskaya schließend. Island, die Färöer und die übrigen atlantischen Inseln hat er auch als jüngere Gebilde weggestrichen. Dadurch erhielt Choubert eine Anpassung der zirkumatlantischen kontinentalen Konturen aneinander, die besser als der Bullard-Fit ist und eine verblüffende Ähnlichkeit mit der Pangäa A2 von VAN DER VOO & FRENCH 1974 (so genannt von MOREL & IRVING 1981) zeigt. Aber Chouberts Verdienste um die Verschiebungstheorie sind damit noch nicht abgeschlossen.

Auf die erhaltene morphologische Basis hat Choubert dann die präkambrischen und die paläozoischen tektonischen Einheiten um den Atlantik eingetragen. Das so zustandegekommene Bild unterscheidet sich kaum von unseren modernen Vorstellungen der Pangäa A2 (Abb. 13). Sehr interessant ist dabei, daß von Wegener früher hervorgehobene große Entfernung zwischen Afrika und Osteuropa, die man später die tethyische

¹⁶ Gemeint wird hier natürlich der heutige amerikanische Bundesstaat Kalifornien, Alta California (Ober-Kalifornien) der Spanier. Die Halbinsel Baja California (Nieder-Kalifornien) muß man zusammen mit dem Rest Mexikos nach Nordwesten zurückziehen, um Chouberts (und unsere heutigen) kontinentalen Rekonstruktionen um den Golf von Mexiko zu ermöglichen.

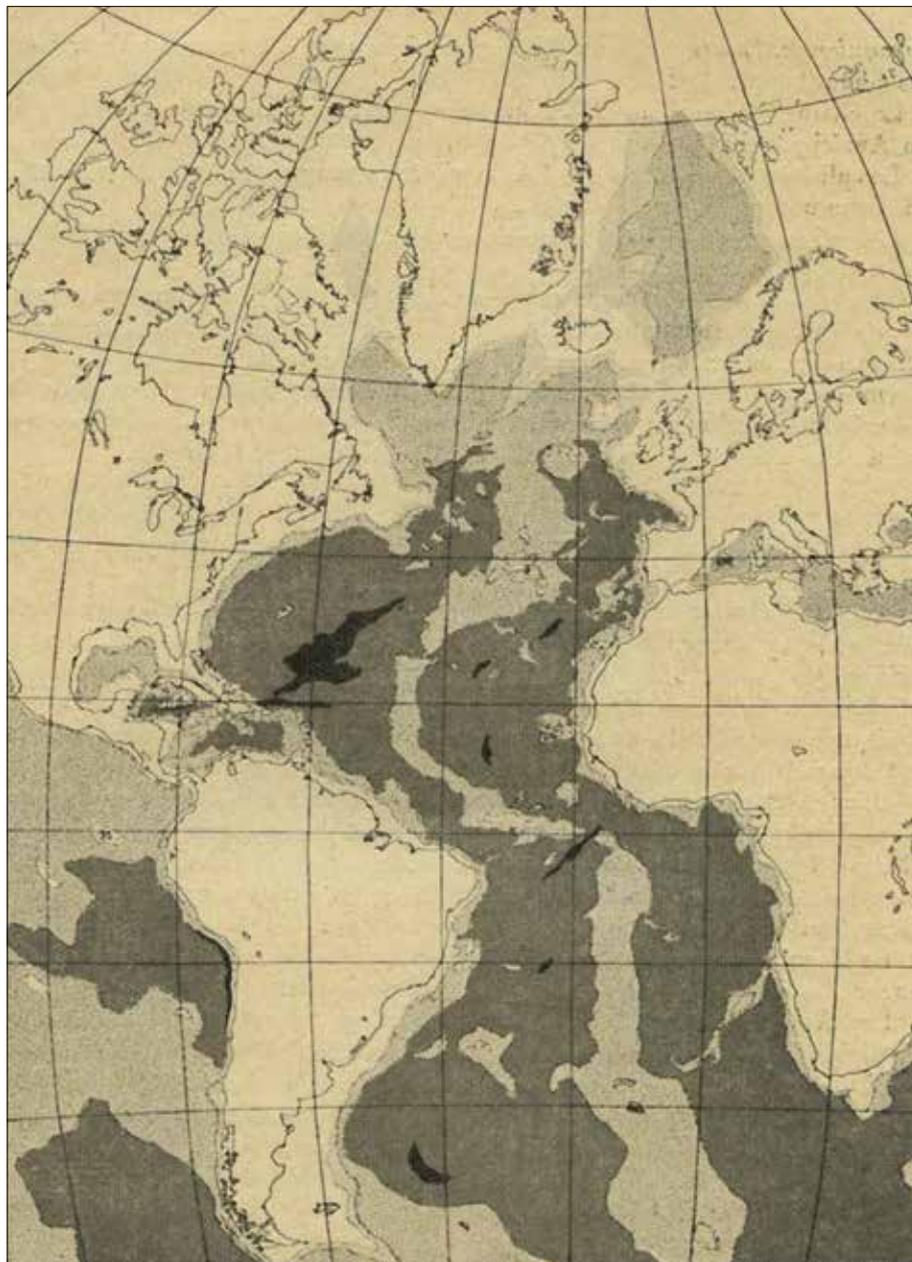


Abb. 11: Choubert's Tiefenkarte des atlantischen Ozeans, die als Basis für seine in Abb. 12 illustrierte Rekonstruktion der Kontinente um den atlantischen Ozean diente (aus CHOUBERT 1935, Fig. 1).

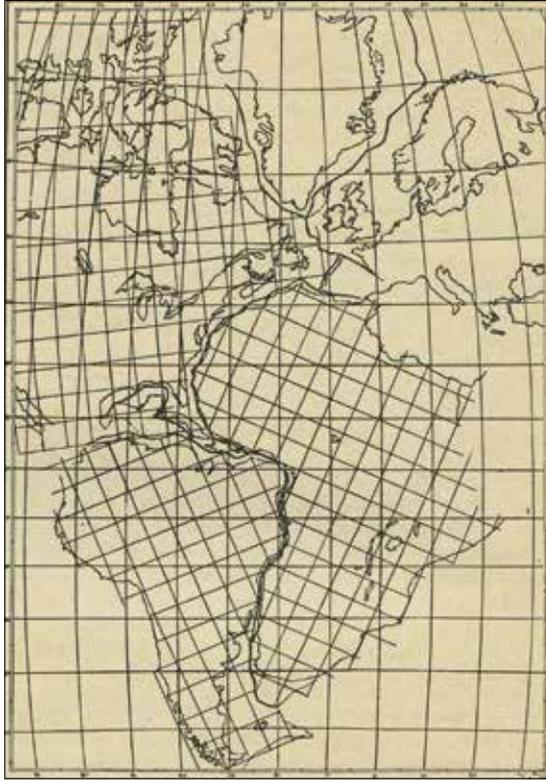


Abb. 12: Chouberts Rekonstruktion der Kontinente um den atlantischen Ozean. Vgl. mit dem berühmten „Bullard-Fit“, das unten in Abb. 26 illustriert wird (aus CHOUBERT 1935, Abb. 2).

Lücke nennen sollte, in Chouberts Rekonstruktion von sich selbst in Erscheinung trat, was der Australische Geologe Samuel Warren Carey später wiederentdeckte. Im Gegensatz zu Choubert, fand er sie aber unannehmbar, was ich unten noch zu besprechen habe.

Wir wissen, daß nicht nur die vierte Ausgabe von Wegeners „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ (WEGENER 1929; vgl. Abb 14), sondern auch Chouberts Rekonstruktion (Abb. 13) von Du Toit eifrig studiert wurde. Ein Mythos über Du Toits Ansichten über die Pangäa entstand nachdem er ein seitdem sehr berühmt gewordenes Buch „Our Wandering Continents – An Hypothesis of Continental Drifting“ publiziert hatte (DU TOIT 1937). In diesem Buch gibt es keine Abbildung der Pangäa. Du Toit zog es vor, die beiden Teile der Pangäa, Laurasien und Gondwana-Land, getrennt darzustellen (Abb. 15 und 16). Das heißt aber nicht, daß er die Pangäa von Wegener verworfen hatte. Ganz im Gegenteil. Er schrieb:

„Die Grenzbeziehungen zwischen Gondwana und Laurasien: Die gegenseitigen Beziehungen dieser Körper müssen in der Zeit ziemlich stark variiert haben. Für relativ längere Zeitabschnitte waren sie durch tiefe ozeanische Senken, die unter dem Kollektivnamen ‚Tethys‘ bekannt sind, getrennt, aber während seltenerer und kürzerer Zeiten waren sie entlang einer oder mehrerer Strecken des Randes vereinigt um eine Einheit zu bilden. Obwohl solche paläogeographische Studien sehr spannend sind, soll es genügen, solche wenige Vereinigungen zu erwähnen, während welcher das terrestrische Leben ausgetauscht werden konnte.“

(Du Toit 1937: 131; Sperrung von mir).

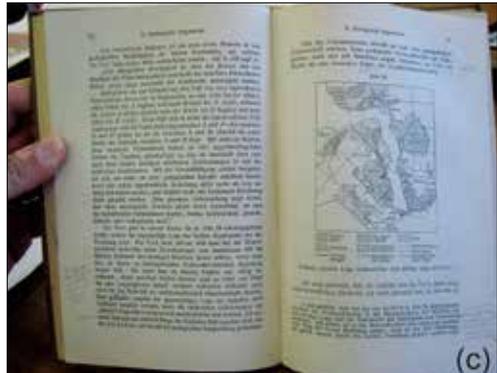
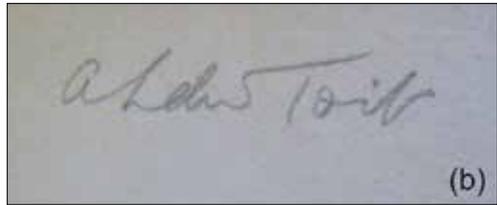


Abb. 14a: Du Toits persönliches Exemplar der vierten Ausgabe von Wegeners Buch.

Abb. 14b: Du Toits Unterschrift in der vierten Ausgabe von Wegeners Buch.

Abb. 14c: Die Seiten 72 und 73 aus der 4. Ausgabe von Wegeners Buch; auf S. 73 bildete Wegener Du Toits Karte (siehe Abb. 7 oben) ab. Die handschriftlichen Randnotizen sind von Du Toit. Auf S. 72: „W. [egener] agrees about space for shelf [unlesbares Wort] mid Atlantic ridge“ darunter steht nur „pressure“; auf der Seite 73, oben: „agrees“. Die untenstehenden Marginalien konnte ich nicht enziffern. (Mit der freundlichen Genehmigung des Geologischen Departments und und des Archivs der Universität von Kapstadt, Südafrika, am 23. November 2009).

Im Archiv der Universität von Kapstadt sind viele Manuskripte des großen südafrikanischen Geologen aufbewahrt. Durch das sehr freundliche Entgegenkommen meiner lieben Kollegen und Freunde, der Herren Professoren Maarten De Witt and Chris Harris hatte ich das große Glück, während eines Besuches beim dortigen Geologischen Institut im Jahre 2009, diese Manuskripte studieren und einige kopieren zu dürfen. Darunter befindet sich auch eine komplette Pangäa-Rekonstruktion für die Trias (Abb. 17).

Unter denselben Manuskripten ist auch ein Notizbuch auf dessen Etikett Du Toit „B. Choubert 1935 [Pre Cambrian and Palaeozoic Chains] partial translation and abstract“ geschrieben hat, wie dies aus Abb. 18A ersichtlich ist. In diesem Notizbuch findet sich auch eine handkolorierte und gefaltete Kopie der tektonischen Karte von Choubert (Abb. 18B).

Nachdem Du Toit Choubert sorgfältig studiert hatte, folgte er mit Recht, daß Verschiebungsbewegungen der Kontinentalschollen auch vor der Entstehung von Wegeners Pangäa eingetreten sein mußten. Er postulierte deswegen zwei große Urkontinente, nämlich Laurasien im Norden (was schon früher von Rudolf Staub so benannt wurde: STAUB 1928) und Gondwana (er ließ, zu Unrecht, Sueß's „Land“ fort) getrennt durch die von ihm als Urozean betrachteten Tethys. Die gegenseitigen Bewegungen dieser zwei großen Kontinentalschollen sollten die von Choubert im Detail diskutierten großen Gebirgsbildungen verursacht haben und von Zeit zu Zeit Pangäen.

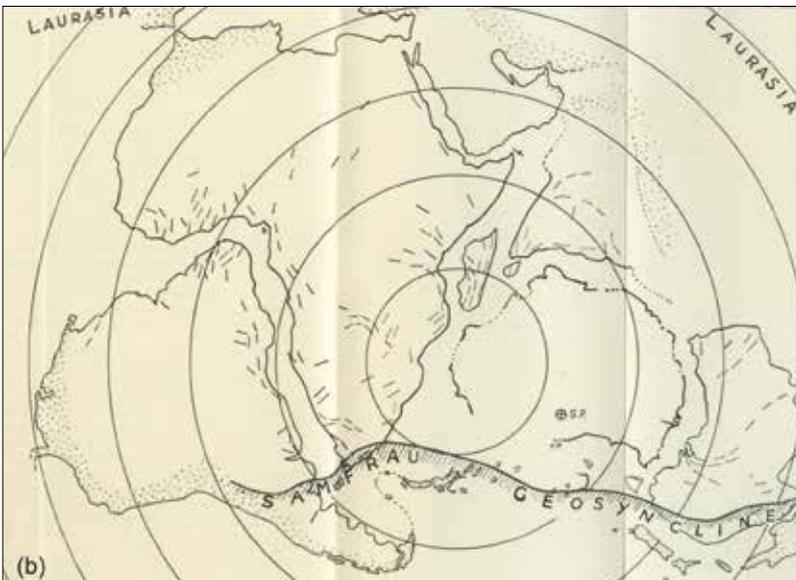


Abb. 15a: Die in seinem Buch „Our Wandering Continents“ veröffentlichte Version von Du Toit's Gondwana-Land (aus Du Torr 1937, Fig. 7).

Abb. 15b: Ein handschriftlicher Entwurf von Du Toits Gondwana-Land (mit der freundlichen Genehmigung des Geologischen Departments und des Archivs der Universität von Kapstadt, Südafrika, am 23. November 2009). Man merke, daß er seine Rekonstruktion in seinem 1927er Buch zwischen Afrika und Südamerika (Abb. 7 oben) zu weit gefunden hatte und auf dieser Rekonstruktion handschriftlich bemerkte (auf der linken Seite): „make narrower“ [= mach enger]. Viele haben Wegener kritisiert, daß er in seiner ersten Rekonstruktion um den atlantischen Ozean für Schelfe nicht genug Platz gelassen hatte und geglaubt, Du Toit habe diesen Fehler korrigiert hatte. Du Toits Randbemerkung hier zeigt, daß diese Kritik nicht gerechtfertigt ist.

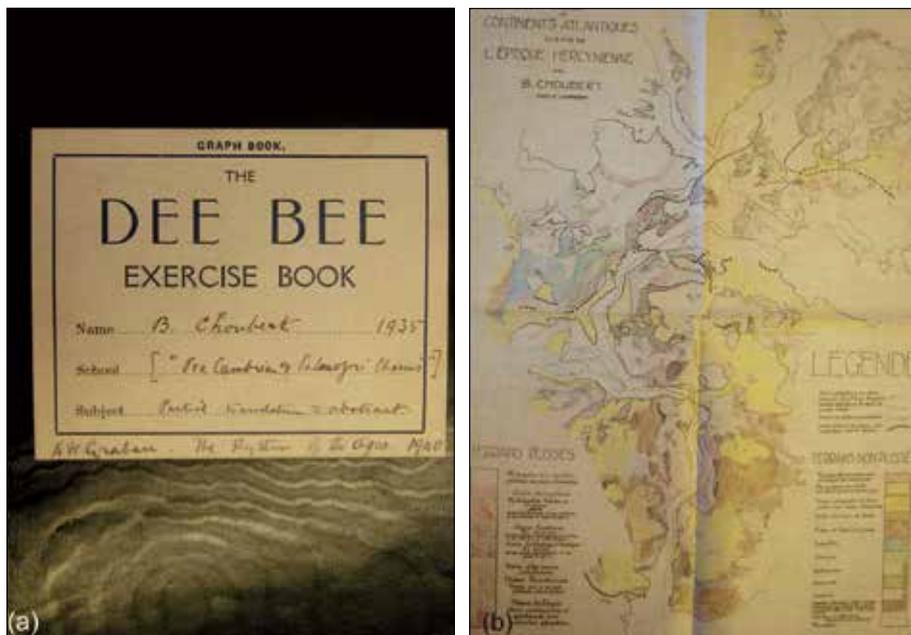


Abb. 18a: Du Doits Notizbuch worauf steht „B. Choubert 1935 [Pre Cambrian and Palaeozoic Chains] partial translation and abstract“. Was ganz unten geschrieben ist bezieht sich auf Amadeus William Grabaus Buch „The Rhythm of the Ages“ aus dem Jahre 1940.
Abb. 18b: Du Toits handgemachte Kopie von Chouberts Karte der Kontinente um den atlantischen Ozean (Die Originale der Bilder der Abb. 18 befinden sich im Archiv der University of Cape Town, fotografiert am 23. November 2009 mit dessen großzügiger Erlaubnis; Foto: A. M. C. ŞENGÖR).

Wegeners Pangäa und seine Kritik im fixistischen Lager während der Zwischenkriegesepisode

Die einzige, wirklich diskussionswürdige Kritik der Pangäa von Wegener kam im Jahre 1928 von dem großen deutsch-amerikanischen Geologen Charles Schuchert, der damals Professor für Historische Geologie an der berühmten Yale-Universität war. Schucherts Eltern waren Emigranten aus Deutschland, die zwei Jahre vor dessen Geburt nach Amerika ausgewandert waren (der Vater stammte aus Sachsen, die Mutter aus Bayern). Der große Vorteil von Schucherts Abstammung war, daß Deutsch seine Muttersprache wurde (sein allererstes Geologiebuch war auch auf Deutsch, das in Ohio damals für die dortigen zahlreichen deutschsprachigen Emigranten publiziert worden war: KNOPF 1952: 364–365), was ihm später ermöglichte, die deutsche Fachliteratur ohne Mühe lesen zu können und in allen ihren Nuancen zu verstehen.

Für das erste internationale Symposium über Wegeners Theorie, organisiert von der American Association of Petroleum Geologists in der Stadt New York im Jahre 1928, bereitete Schuchert einen sehr detaillierten Vortrag vor (SCHUCHERT 1928b¹⁷), in welchem er diese Theorie von sehr verschiedenen Seiten kritisierte und, als schlecht begründet,

17 Derselbe Text wurde auch im selben Jahr als „Smithsonian Bericht für 1928, Veröffentlichung Nr. 2988“ publiziert (Schuchert, 1928c).

zurückwies. Obwohl viele Argumente von Schuchert von unserem heutigen Gesichtspunkt aus als falsch bezeichnet werden können, kann niemand seine Vorgehensweise kritisieren.

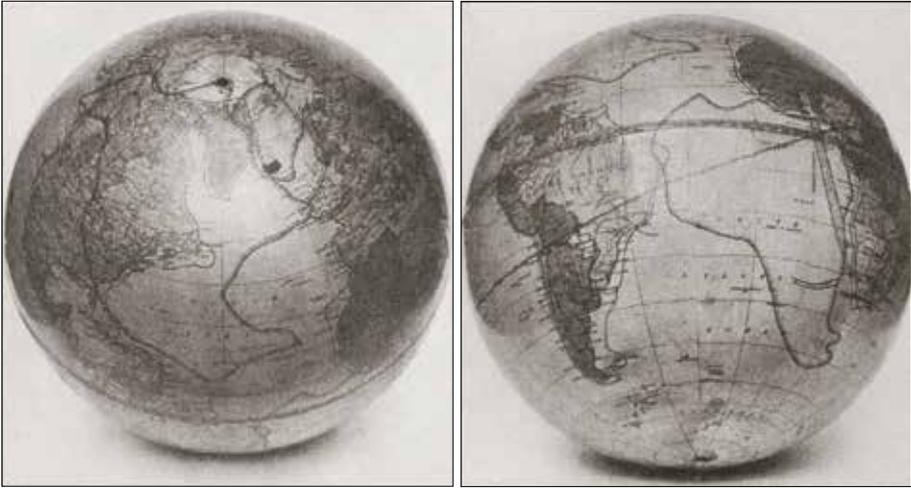
Schuchert stellte zuerst ganz gewissenhaft die allgemeinsten Grundlagen der zu kritisierenden Theorie vor. Dann begann er seine Kritik mit der Pangäa. Er wies darauf hin, daß das Auseinanderfallen dieses gewaltigen Kontinents sich nach Wegener im Jura und in der älteren Kreide abgespielt haben sollte, in einer Zeitspanne also, so sagte Schuchert, in welcher sowohl die globale Tektonik als auch der globale Vulkanismus sehr ruhig waren. Keine große Gebirgsbildung sollte, nach dem Kritiker, in diesem Zeitintervall in der ganzen Erde stattgefunden haben und die Kontinente sollten zu sehr tiefen und flachen Rumpfflächen erodiert worden sein. Dies war eine sehr weitverbreitete Meinung in den zehner und zwanziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts (siehe, z. B. HAUG 1907, 1908–1911; KOSSMAT 1916; aber auch Stilles Erörterungen über seine „kimmerische Phase“ in STILLE 1913, 1924). Gegen Ende dieses Zeitintervalls habe die größte globale Transgression aller Zeiten in der Erdgeschichte begonnen nämlich die cenomanische (jetzt wissen wir daß die jüngst ordivizisch-älteste silurische Transgression noch größer war).

In scharfem Gegensatz zu dieser Zeit des Auseinanderfallens (d. h. der Zerrungen) fanden mindestens zwei große angeblich erdumspannende Gebirgsbildungen (d. h. Einengungen), nämlich die kaledonische und herzynische, zu einer Zeit statt, als die Pangäa ihre Einheit bewahrt haben sollte. Dies erschien Schuchert unverständlich (er hat hier Argands Deutung der vorpangäischen Gebirgsbildungen, z. B. der kaledonischen, durch die Schließung eines Protoatlantiks, außer Acht gelassen). Er hat die schon damals unhaltbare Behauptung James Dwight Danas und Rollin Thomas Chamberlins wiederholt, indem er behauptete, die heutigen Kontinente hätten ihre Konturen schon zur proterozoischen Zeit erhalten (SUSS 1888 hatte sehr ausführlich dokumentiert, daß dies nicht so war).

Schucherts größter und bleibender Beitrag erschien in seiner Kritik der Geometrie von Wegeners Pangäa. Soweit ich feststellen kann, war er der erste, der die Idee hatte, die Kontinente als rigide Einheiten (er sprach von der „rigiden Erdkruste“ und kritisierte Wegener diese Rigidität nicht anerkannt zu haben: SCHUCHERT 1928b: 111) um einen Rotationspol (was wir heute einen Euler-Pol nennen) auf eine Kugeloberfläche zu bewegen und dadurch das Aneinanderpassen der kontinentalen Konturen um den atlantischen Ozean ganz rigoros zu kontrollieren. Er ließ die kontinentalen Konturen auf eine Globusfläche angepaßte, durchsichtige Plastellinscheibe aufzeichnen und ausschneiden und dann mit diesen Scheiben die Anpassung der Kontinentalschollen aneinander zu prüfen. Abb. 19 zeigt Schucherts Versuch auf der nördlichen Hemisphäre. Wie die Abbildung zeigt, konnte er hier gar keine Übereinstimmung zwischen den einander gegenüberliegenden Kontinentalrändern feststellen. Das Problem hier war, daß Schuchert die ganze Karibik und Zentralamerika samt Mexiko als einen rigiden Teil Nordamerikas betrachtete, obwohl die damals schon gut bekannten känozoischen Deformationen in diesem Bereich eine solche Annahme nicht rechtfertigten. Der hervorragende Paläontologe und Stratigraph Schuchert war offenbar kein guter Tektoniker; ich bezweifle, ob er die tektonischen Deutungen im „Antlitz der Erde“ mit ausreichender Sorgfalt gelesen hatte (obwohl er von seinem „eingehenden Studium von Suess' Antlitz der Erde“¹⁸ sprach: SCHUCHERT 1928b: 144).

Auf der südlichen Hemisphäre war die Übereinstimmung zwischen den beiden Rändern sehr viel besser (Abb. 20), aber diesmal sollten die tektonischen Verknüpfungen nicht so sein, wie man aus Wegeners Theorie erwartete. Auch hier machte Schuchert

18 „close study of Suess' *Antlitz der Erde*“



- Abb. 19: Schucherts Versuch die Kontinente um den nordatlantischen Ozean zu rekonstruieren (aus SCHUCHERT 1928b, Abb. 14). Er versagte, weil er der den ganzen Golf von Mexiko und die Karibik als rigide Teile von Nordamerika sah.
- Abb. 20: Schucherts Versuch die Kontinente um den südatlantischen Ozean zu rekonstruieren (aus SCHUCHERT 1928b, Fig. 16). Hier war sein Erfolg viel größer als im Norden, aber diesmal dachte er, daß die tektonischen Strukturen nicht aneinander passten (merke seine schnurgerade, angeblich paläozoische franziskanische Geosynklinale, die, so glaubte Schuchert, einen vernichtenden Schlag „a crushing blow“ gegen die Theorie von Wegener bedeutete. SCHUCHERT 1928b: 125–129; seitdem wissen wir aber, daß es so eine Geosynklinale eigentlich nie gegeben hat).

viele Fehler, was eine gute Lektüre vom „Antlitz der Erde“ hätte verhindern können, aber seine Idee der rigiden Rotationen um Rotationspole zeigte hier ihre volle Nützlichkeit um Wegeners Pangäa zu prüfen. Schuchert hat mit Recht beklagt, dass Wegener die ganze Rekonstruktion viel zu schematisch gemacht hatte.

Was ich erstaunlich finde, daß Schuchert die mannigfaltigsten tektonischen Beziehungen zwischen den zirkumatlantischen Kontinenten als weniger beweiskräftig betrachtete als die vielen negativen Aussagen der Wirbeltierpaläontologie (genau wie in seiner Kritik von Du Toits Buch: SCHUCHERT 1928a: 266; er war ja von Haus aus Paläontologe). Er sah das Fehlen vieler afrikanischer Reptilien aus dem Perm und der Dinosaurier aus dem Mesozoikum in Argentinien als einen wichtigen Beweis, daß Afrika und Südamerika damals nicht in Kontakt wären. Seitdem wissen wir aber, daß sowohl die permischen Reptilien von Südafrika (vgl. CISNEROS et al. 2012) als auch die Dinosaurier in Südamerika eigentlich vorhanden waren (es gibt viele Dinosaurier-Fossilien in Argentinien: man glaubt sogar, nach solchen reichen triassischen Fundstätten wie in der Ischigualasto Formation in Argentinien, daß die ersten Dinosaurier in Südamerika entstanden sind; es gibt sogar Funde aus der Kreide in Argentinien mit vielen, ausgezeichnet erhaltenen Nestern und Eiern von Titanosaurus: vgl. CHIAPPE & DINGUS 2001). Negative Zeugnisse in der Wissenschaft sind oft sehr unzuverlässige Führer. Schuchert wurde zu einem von deren Opfern.

Ich finde es erstaunlich, daß der große holländische Geologe van Waterschoot von der Gracht, ein überzeugter Anhänger von der Verschiebungstheorie, versuchte, am Ende des Symposiums auf die verschiedenen Einwände gegen Wegeners Theorie zu antworten, aber er hat mit keinem Wort Schucherts genialer Methode, die Übereinstimmung der kontinentalen Konturen ganz rigoros zu prüfen, gedacht.

Das Wiedererwachen des Mobilismus vor der Plattentektonik

Dem ikonoklastischen australischen Geologen Samuel Warren Carey gebührt das Verdienst, in der Mitte der fünfziger Jahre die Verschiebungstheorie wieder aktuell gemacht zu haben. Es fehlte aber auch nicht an früheren Versuchen, Wegeners Theorie mit verschiedenen Beobachtungen zu unterstützen. Einer der sehr wenig bekannten dieser Versuche war derjenige von Paul H. Herzen, einem Diamantspezialist, der, die Verteilung der damals bekannten Diamantlokalitäten in Indien, Afrika und Südamerika benützte, Wegeners Theorie und ganz besonders seine Pangäa zu untermauern (Abb. 21). HERZEN 1945 glaubte, dass alle Diamantlager in den von ihm in Abb. 21 gezeigten Gebieten von mittelkretazischem Alter sind (wir wissen heute, daß tatsächlich in allen diesen Gebieten unterkretazische diamantführende Kimberlit-Kamine vorhanden sind). Ihre Verteilung stellte nach ihm eine sehr gewichtige Stütze für Wegeners Pangäa dar, eine Schlußfolgerung, die noch heute gültig ist. Ich habe aber nirgends seine Arbeit zitiert gesehen!

Sam Carey hat zuerst 1955 eine Arbeit veröffentlicht, in welcher er die großen und engen Biegungen, welche man in manchen Gebirgsketten beobachtet (wie z. B. der Bogen der Westalpen oder der Karpaten, der Ellbogen der Cordilleren in Alaska und in westlichen Kanada, die westliche Schaarung der Himalaya und der Salz- und Suleiman-Ketten und der Zagros- und Makran-Gebirge). Er nannte sie „Oroklinalen“ und schrieb sie den nach der Gebirgsbildung eingetretenen Deformationen zu (CAREY 1955a). Gegenüber jeder Oroklinalen fand Carey eine klaffende Lücke in der kontinentalen Kruste, die er „Sphenochasmen“ nannte und als eine Folge der Oroklinalentstehung betrachtete (Abb. 22). Die Rückdeformierung von Oroklinalen hatten die Schließung der Sphenochasmen zur Folge (Abb. 22B). Zu seiner Überraschung fand Carey, dass solche Rückdeformationen von Oroklinalen und der damit zusammenhängenden Sphenochasmen ihn unabsichtlich dazu brachten, Wegeners Pangäa zu rekonstruieren.

Er hat ganz gewissenhaft seine Rekonstruktionen auf die Oberfläche eines Globus mittels durchsichtiger Kontinentalschollen unternommen, die die gleiche Krümmung der Kugeloberfläche aufwiesen, auf welcher er arbeitete. Es ist mir nicht bekannt, ob er mit Schucherts früherem Versuch vertraut war. (Jedenfalls zitiert er Schuchert nicht; es ist aber allgemein bekannt, daß Carey seinen Vorgängern gegenüber nicht allzu großzügig war). Mit dieser sehr genauen Methode konnte er beweisen, daß die von dem berühmten englischen Geophysiker und geschworenen Gegner der Verschiebungstheorie Sir Harold Jeffreys¹⁹ immer wieder betonte 15°-Ungenauigkeit bei der Anpassung von Südamerika an Afrika einfach ein Mythos war (CAREY 1955b).

Bei seinen Rekonstruktionen begegnete Carey aber ein anderes Problem: wo immer er anfang, seine Oroklinalen zu begründen, endete er immer mit einer Pangäa mit einer klaffenden Lücke (CAREY 1958). Keine dieser Lücken, auch nicht diejenigen entlang

19 Bis zum Ende seines langen Lebens (1891–1989) blieb Sir Harold ein Gegner der Kontinentaldrift. Auch das Aufkommen der Plattentektonik vermochte seine Meinung nicht zu ändern (vgl. Jeffreys, 1972 und 1976). Ich habe während des ersten Ewing-Symposiums im März 1976, nach dem sehr formellen festlichen Abendessen in der berühmten „Rotunda“ der Low-Bibliothek der Columbia-Universität in New York, die Gelegenheit gehabt, Sir Edward C. Bullard zu fragen, warum Sir Harold die Plattentektonik nicht akzeptieren konnte. Lächelnd hat Sir Teddy geantwortet: „Ach, wissen Sie, er gehört einer älteren Generation an. Er glaubte zu wissen was ein Festkörper ist und natürlich wußte er es nicht!“ Nach einigen Schritten gegen den auf uns wartenden Autobus zu, drehte er sich um, als ob er noch etwas hinzufügen wollte: „Sir Harold hat mir einmal gesagt, es gäbe zwei Arten von Menschen: diejenigen, die lesen und diejenigen, die schreiben. Er zieht vor zu schreiben.“ Das war eine sehr höfliche und elegante Weise zu sagen, daß Sir Harold die nötige Fachliteratur nicht beherrschte.

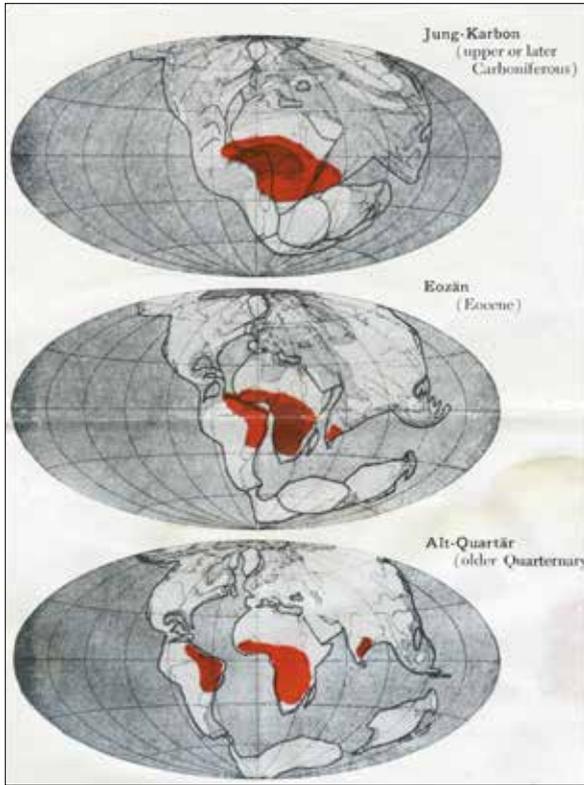


Abb. 21: Paul H. Herzens Karten (aus HERZEN 1945), die die Gebiete der mittelkretazischen Diamantvorkommen auf der Basis von Wegeners Pangäa zeigen. Herzen glaubte, daß die Verteilung der diamantführenden Gebiete eine wichtige Unterstützung für Wegeners Theorie bedeutete.

des heutigen Alpen-Himalaya Systems (Abb. 23) fand er annehmbar, weil, sagte er, seine Studien der Oroklinalen in Australasien ihn davon überzeugt hatten, daß, Asien und Australien immer zusammengehört hatten. Um dies zu ermöglichen schien ihm die einzige Möglichkeit, Wegeners Pangäa auf einer Erde mit fast nur der Hälfte des heutigen Erddurchmessers zu rekonstruieren. Dadurch kam Carey zu einer Theorie der Erdexpansion.

Die Idee einer aufblähenden Erde war auch damals nicht neu, wie ich schon oben mit meiner Erörterung der Arbeit von Halm angedeutet habe (MANTOVANI 1889, 1909; LINDEMANN 1927; HILGENBERG 1933, HALM 1935, EGYED 1956)²⁰. Die vielen Annahmen, die Carey bei seinen tektonischen Rekonstruktionen machte, hatte er von anderen übernommen, oft ohne die Quellen zu nennen (z. B. Rotation der Iberischen Halbinsel und die Schließung des Biskaya-Golfes von Wegener und Argand; Rotation der italienischen Halbinsel von Argand²¹; Rotation von Alaska und die Schließung des Alaska-

20 Carey hat immer gesagt, er sei zur Erdexpansion 1956 unabhängig von seinen Vorgängern gekommen.

21 Nach seiner Oroklinalen-Arbeit (CAREY 1955a) wissen wir, daß er Argands „La Tectonique de l'Asie“ kannte. Wie es möglich wäre, dort in mehreren Abbildungen dargestellte Rotationen von Iberien und Italien nicht gesehen zu haben, ist mir unbegreiflich.

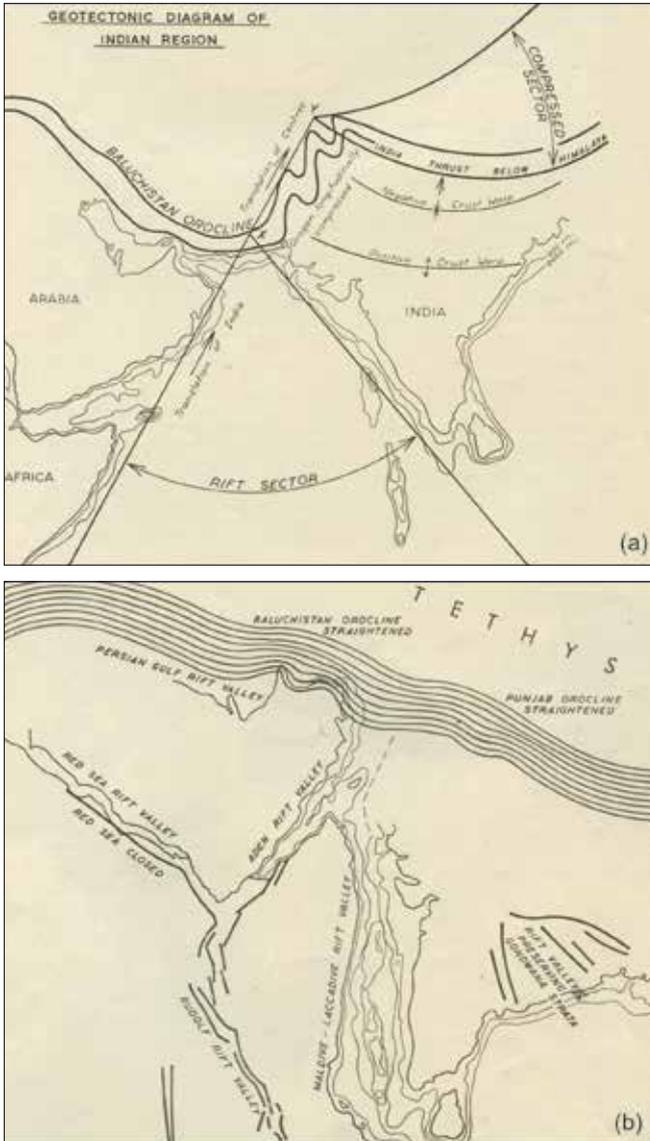


Abb. 22a: Eine der Oroklinalen Careys: die Oroklinal von Belutschistan (aus CAREY 1955a, Fig. 10).
 Abb. 22b: Die in der Abb. 122A gezeigte Oroklinal von Belutschistan rekonstruiert (aus CARY, 1955a, Fig. 12).

Beckens im arktischen Ozean von Wegener). Die meisten anderen seiner Rekonstruktionen haben so viele gut bekannte geologische Tatsachen ganz besonders im tethysischen Bereich verletzt, daß nicht viele Geologen, ganz besonders in Europa, ihn ernst nahmen (Abb. 24). Nur in Amerika hat er, während eines akademischen Jahres (1959–1960), das er als Gastprofessor in der Yale-Universität verbrachte, durch seine enthusiastischen Vorträge und Diskussionen, eine neue Welle des Begeisterung für die Verschiebungstheorie ins Leben gerufen.

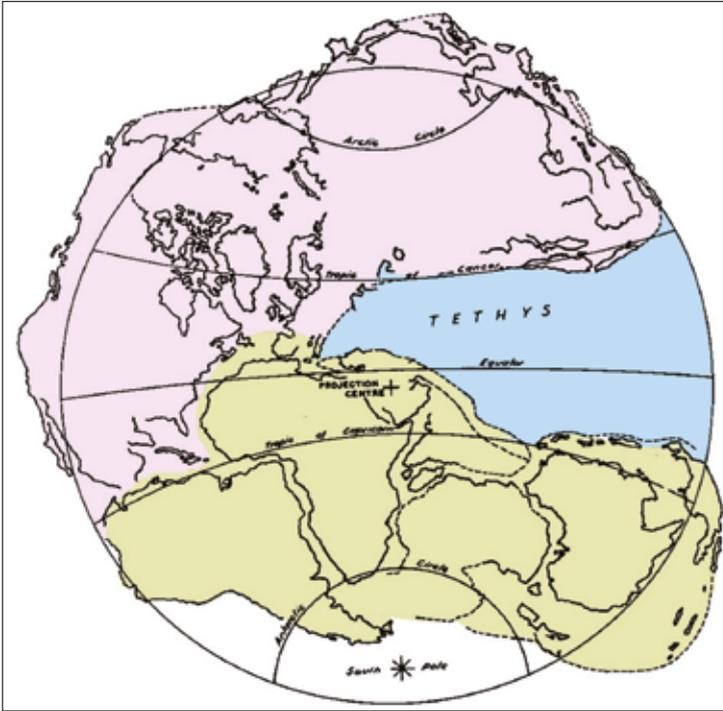


Abb. 23: Die von Carey 1956 rekonstruierte Pangäa (CAREY, 1958, Abb. 39d), die sehr modern aussieht und dennoch von ihm unannehmbar gefunden wurde. Ich habe Careys Abbildung für bessere Anschaulichkeit koloriert.

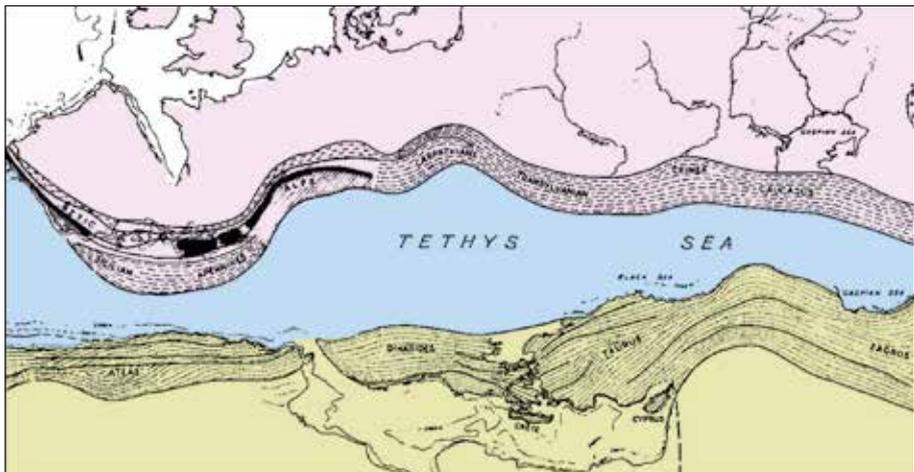


Abb. 24: Careys Rekonstruktion der Tethys. Carey wollte die Tethys als eine Geosynklinale halten (nochmals sieht man den verderbenden Einfluß der Geosynkinaltheorie). Seine Rekonstruktion enthält Elemente aus Argands viel früherer Rekonstruktion aber auch schon damals als falsch anerkannte Vorstellungen, wie z. B. die Zerreißung der Dinaridisch-Apenninischen Einheit, die, mit den Südalpen, den Vorsprung von Afrika von Argand (heutiges Apulien) ausmachen. Ich habe Careys Abbildung für bessere Anschaulichkeit koloriert.

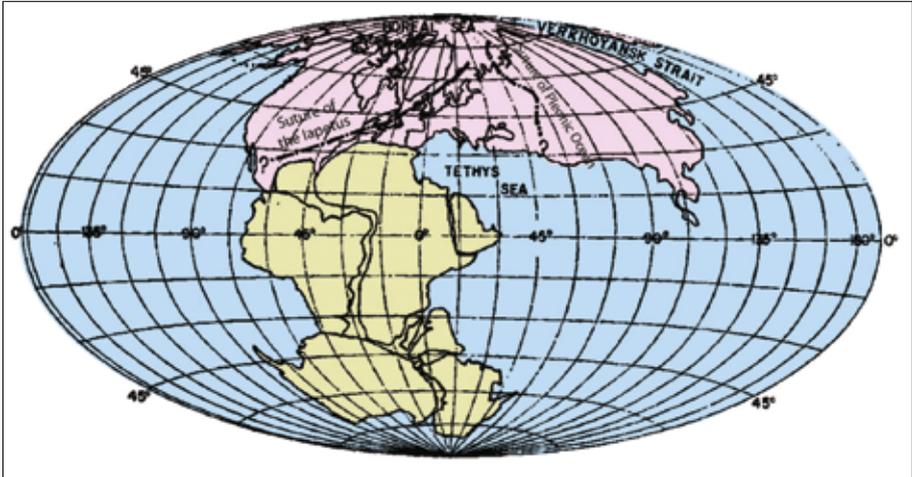


Abb. 25: J. Tuzo Wilson's Rekonstruktion der Pangäa (WILSON 1963, Abb. 6). Ich habe Wilsons Abbildung für bessere Anschaulichkeit koloriert und nur die Beschriftung für die Suturen des iapetischen und des pleonischen Ozeans hinzugefügt.

Careys Rekonstruktion wurde mit einigen nicht unwesentlichen Änderungen von J. Tuzo Wilson übernommen (Abb. 25). Wilson gehörte zu den wichtigen Persönlichkeiten unter den nordamerikanischen Fixisten und hatte in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in mehreren Veröffentlichungen eine bedeutende Synthese der irdischen Tektonik unter dem Gesichtspunkt der Kontraktionstheorie publiziert (WILSON 1950, 1954, 1957; siehe auch JACOBS et al. 1959, die Kapitel 10 bis 16). Als Fixist und Kontraktionist aber, hatte Wilson schon früher viele der maßgebenden Theorien der anderen Fixisten und Kontraktionisten aufgegeben, wie z. B. Geosynklinalen, Doppelseitigkeit orogener Gürtel, phasenhafte, weltweit gleichzeitige Orogenese, ... Durch diese Abweichungen von der allgemeinen Tendenz der meisten Fixisten des zwanzigsten Jahrhunderts, die ich seit einiger Zeit unter der Bezeichnung „Kober-Stille-Schule“ zusammenzufassen pflege (ŞENGÖR 1982a, 1982b, 1991, 1998), hatte sich Wilson sehr der Denkrichtung von Eduard Sueß genähert und deshalb habe ich ihn in der von mir „Wegener-Argand-Schule“ genannte Gruppe untergebracht, obwohl er bis 1963 ein Fixist blieb.

Plötzlich brach Wilson 1963 in eine für ihn völlig neue, eine Wegeners Kontinentaldrift in sich schließende Richtung auf mit einer kurzen aber frappanten Abhandlung, die er in der berühmten britischen Zeitschrift „Nature“ unter dem Titel „Hypothesis of earth behaviour“ (Hypothese des Erdverhaltens) publizierte. Ich habe ihn 1985 während des Vierteljahrfeiersymposium der Platen tektonik, gehalten an der Texas A&M Universität, gefragt, was ihn bewogen hatte, seine Einstellung so drastisch zu ändern. Er antwortete, daß es die Theorie der Ozeanbodenspreizung von Harry Hess (1962) gewesen war, die ihn endlich von der Richtigkeit der Kontinentaldrift überzeugt hatte (Wilson hatte diese bahnbrechende Abhandlung schon lange Zeit vor ihrer Veröffentlichung als „Preprint“ gelesen). Der einzige, wirklich unüberwindliche Einwand gegen Wegeners Theorie war die geradezu unmögliche Voraussetzung gewesen, daß das weniger widerstandsfähige Sial durch das widerstandsfähigere Sima durchtreiben sollte. Ursprünglich als Geophysiker ausgebildete Wilson glaubte, die Verschiebungstheorie komme durch diese Schwierigkeit nicht durch. Plötzlich befreite die Hypothese der Oze-

anbodenspreizung Wegeners Theorie von dieser Fessel²². Wilsons an enzyklopädische angrenzende Kenntnis der regionalen Geologie der Erde²³ und seine sowieso den Mitgliedern der Wegener-Argand-Schule nahe stehende Denkungweise in der Tektonik überzeugte ihn, daß sobald die Sialschollen nicht mehr in einem Simameer wie Flossen getrieben gedacht werden mußten, nichts mehr ihn davon abhalten konnte, Kontinentaldrift zu akzeptieren.

Der „Bullard-Fit“ vom Jahre 1965

Wie Abb. 25 zeigt war das Pangäa-Bild Wilsons keine rigoros gebaute Rekonstruktion. In den frühen sechziger Jahren machte eine anschwellende Welle von paläomagnetischen Daten Kontinentaldrift zu einer sehr ernstzunehmenden Theorie und die britische königliche Gesellschaft (The Royal Society) organisierte 1965 ein Symposium in London mit der Absicht, diese Theorie erneut zur Diskussion zu stellen. Für dieses Symposium versuchten die Cambridge Wissenschaftler, der berühmte Geophysiker Sir Edward C. Bullard, J. E. Everett und Alan G. Smith eine sehr genaue Rekonstruktion der Pangäa mit einer rigorosen Methode der Rotationen mithilfe der damals massiv ansteigende Verwendung von Rechenmaschinen zu unternehmen. Sir Edward hatte den Vorschlag gemacht, für die Rotationen den Euler'schen Satz zu verwenden und durch ein computergestütztes, iteratives Verfahren die beste Anpassung der Kontinentalränder aneinander zu finden. Die eigentlichen Berechnungen wurden von Everett und Smith unternommen (A. G. SMITH, persönliche Mitteilung) und Abb. 26 (und in einer vereinfachten Form Abb. 28A) zeigt ihr Ergebnis. Bis 1974 blieb der unter dem Namen „Bullard-Fit“ berühmt gewordene rekonstruktion die Unterlage der meisten geologischen Arbeiten.

Die rekonstruktion von Van der VOO und FRENCH (1974)

Es blieben trotz aller Mühe sehr bedenkliche Ungenauigkeiten in der Rekonstruktion von BULLARD et al. 1965. Das Hauptproblem damals war die Stellung Mexikos und die im Süden angrenzenden Kontinentalschollen wie Yukatan. Fast ein Dezennium nach der Veröffentlichung des Bullard-Fit haben der bedeutende holländische Geologe und Geophysiker Rob Van der Voo (Abb. 27) und sein Kollege Rowland B. French (1974) durch eine der dortigen Geologie besser entsprechende Neugestaltung der Kontinentalschollen um den Golf von Mexiko eine räumlich engere Rekonstruktion gemacht (Abb. 28B), die bis heute von den meisten Geologen als Unterlage für ihre Forschungen benutzt wird. Diese Rekonstruktion erfuhr eine wichtige Stütze durch die Arbeit von Gary W. White (1980), der dafür die Verteilung der jurassischen Salzablagerungen auf und um die den Golf von Mexiko umrahmenden Kontinentalschollen und die Geometrie der magmatischen Inselbögen im karibischen Meer benutzte.

22 Obwohl Variante der Hypothese der Ozeanbodenspreizung schon von MOLENGRAAF 1916 und wieder 1928 und von dem großen Innsbrucker Meister der Tektonik, dem Schöpfer des Verschlussmodells, Otto AMPFERER 1941 vorgeschlagen worden waren (vgl. FLÜGEL 1980), kannte Wilson diese Arbeiten offensichtlich nicht (ganz besonders überraschend, daß er auch MOLENGRAAFS 1928er Arbeit, die in einem in Amerika bekannten Buch publiziert worden war, nicht kannte).

23 Wilson verfügte über ein phänomenales Gedächtnis; ich war 1980 erstaunt, während eines Gesprächs in seinem Hotelzimmer in San Francisco als er Vorsitzender der American Geophysical Union war, von seiner genauen Beschreibung der Umgebung der Stadt Bursa in der Türkei, die ich gut kenne und die er 1957 während einer Exkursion gesehen hatte.

Die Geburt von „Pangäa B“

Die Pangäa-Rekonstruktion von Van der Voo und French hat einen großen Erfolg gehabt, da es schien, dass sie fast allen geologischen Ansprüchen und den bekannten paläomagnetischen Beobachtungen am besten entsprach. Dass die eigentliche Sachlage nicht so einwandfrei gewesen ist wurde zum ersten Mal von dem englischen Geologen und Geophysiker Edward A. Irving (Abb. 29), der, in Zusammenarbeit mit Kenneth M. Creer, zum ersten Mal Kontinentalverschiebung mit paläomagnetischen Methoden bewiesen hatte (siehe IRVING 1988; CREER & IRVING 2012), bemerkt, als er dabei war, ein Lehrbuch für Paläomagnetik zu schreiben (IRVING, schriftliche Mitteilung an mich 2012). Er versuchte, die vorhandenen paläomagnetischen Beobachtungen nach ihrem geologischen Alter zu gruppieren. Zu seiner Überraschung fand er, dass man die Beobachtungen aus den laurasischen Kontinenten und aus den gondwanischen Kontinenten mit gewöhnlichen Pangäa-Rekonstruktionen vom A-Typus (Abb. 25 und 28A) nicht in Einklang bringen konnte. Nach der Veröffentlichung der besseren Rekonstruktionen von BULLARD et al. 1965 (Abb. 26) und VAN DER VOO & FRENCH 1974 (Abb. 28B) versuchte es Irving noch einmal. Was immer er tat, es schien einfach nicht möglich zu sein, die paläomagnetischen Beobachtungen aus den beiden Pangäahälften für die Permzeit miteinander in Übereinstimmung zu bringen.

Dann stellte sich Irving die folgende Frage: wie wäre es, wenn die beiden Pangäahälften sich gegeneinander verschoben hätten? Er sah, dass wenn er das Gondwana-Land in Bezug auf Laurasien um 3000 km nach Osten schob, kamen die permischen paläomagnetischen Beobachtungen in eine viel befriedigendere Beziehung beieinander als bei den bisher bekannten Pangäa-Rekonstruktionen.

Im Jahre 1977 veröffentlichte Irving seine Ergebnisse in „Nature“ und behauptete, dass die Pangäa für die Permzeit nördliches Südamerika gegen den Ostrand von Nordamerika hatte und die junpaläozoischen Deformationen in Südamerika mit denjenigen der Großappalachiden (Appalachen und Ouachita-Gebirge in Oklahoma und Glass-Gebirge in Westtexas; STILLE 1940) eine Einheit bildeten (Abb. 28C). Diese Konfiguration von Pangäa nannte er „Pangäa-B“. Diese Schlußfolgerung erschien Irving auch sehr logisch angesichts der großen und ständigen Beweglichkeit der tektonischen Platten auf der Erde. Warum sollte der gewaltige Kontinent Pangäa für fast 100 Millionen Jahren unbeweglich bleiben? Im Jahre 1981 publizierte Irving mit seinem Kollegen Morel eine umfassendere Arbeit über Pangäa-B und nannte dabei die Pangäa von BULLARD et al. 1965 Pangäa-A1 und die Pangäa von Van der Voo und French Pangäa-A2.

Pangäa-C

Bei dem üblichen Konservatismus der internationalen Geologenschaft ist es nicht überraschend, daß Pangäa-B nicht sofort populär wurde und die meisten Geologen (einschließlich ich selbst) weiter die Pangäa-A2 für ihre Forschungen auch für Zeiten vor der Jungtrias verwendet haben. Nur eine kleine Gruppe von Geologen in England haben die Sache nach der Veröffentlichung von Irving (1977) erneut unter die Lupe genommen. Alan G. Smith von der Cambridge-Universität, der unter den Autoren des berühmten Bullard-Fit war, und seine Kollegen haben 1981 versucht, nicht nur die durchschnittlichen Pollagen für verschiedene Zeitintervalle als Basis der Rekonstruktionen zu nehmen (wie Irving es gemacht hatte), sondern auch die Tendenzen der scheinbaren Polwanderungskurven bei der Feststellung der Kontinentallagen miteinzubeziehen. Sie haben gefunden, dass wenn man die durchschnittlichen Lagen der Pole für bestimmte Zeitintervalle nimmt, man entweder eine Pangäa-B oder sogar eine Pangäa-C (Abb. 28D)

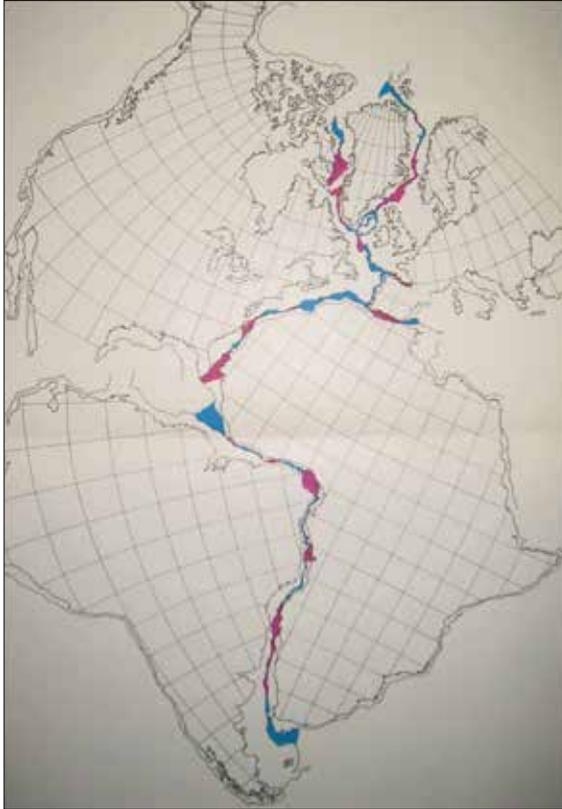


Abb. 26: Das berühmte Bullard-Fit, der später (und vielleicht auch richtigerweise) als Pangäa-A bekannt wurde (aus BULLARD et al. 1965). Man vergleiche diese Rekonstruktion mit der in den Abbildungen 12 und 13 oben illustrierten Rekonstruktion von Boris Choubert aus dem Jahre 1935.



Abb. 27: Der bedeutende holländische Geologe und Geophysiker Professor Rob Van der Voo, der die bis heute unübertroffene Pangäa-Rekonstruktion (Pangäa-A2) für die Zeiten, die unmittelbar der Öffnung des Mittelatlantiks vorangegangen waren, lieferte. Viele der zuverlässigsten paläomagnetischen Beobachtungen in vielen Gebieten der Erde hat er, mit seinen Studenten und Mitarbeitern, gesammelt und eine, unter der Bezeichnung „Van der Voo-Kriterien“ bekannte Verlässlichkeits-Norm für paläomagnetische Beobachtungen aufgestellt. (Foto: A. M. C. ŞENGÖR).

erzeugen könnte, wobei im Falle der letzteren eine Verschiebung des Gondwana-Landes um 6000 km nach Ost-Nordosten gegenüber Laurasien nötig wären. In ihrem Atlas der Kontinentallagen aus dem Jahre 1981 haben SMITH et al. Pangäa-C als eine Provokation an die Fachwelt gewählt.

Pangäa-C führte aber zu solchen Absurditäten in der Geologie, dass Smith und seine Kollegen (LIVERMORE et al. 1986) später sagten, dass die beste Lösung wäre, schon im Jungdevon eine Pangäa-A2 zu erzeugen, die sich dann bis Ende der Trias zu einer Pangäa-A transformieren würde.

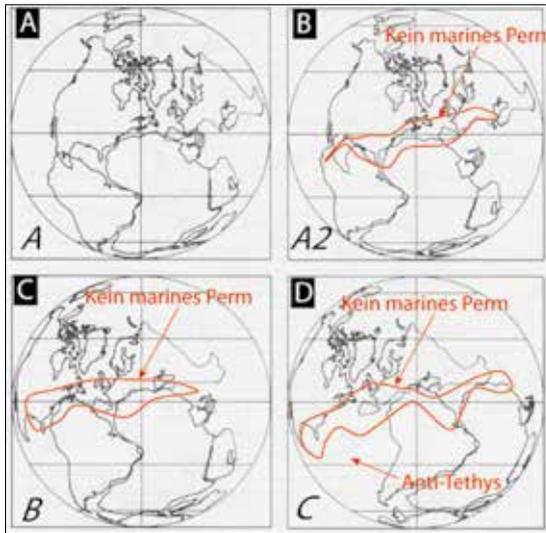


Abb. 28: Die bisher vorgeschlagenen Pangäa-Rekonstruktionen im Rahmen der Plattentektonik. A entspricht der Pangäa von BULLARD et al. 1965 und wurde von MOREL & IRVING 1981 deshalb Pangäa-A1 genannt. B ist die bisher beste Pangäa für die Zeiten unmittelbar vor der Öffnung des Zentralatlantiks, aufgestellt von VAN DER VOO & FRENCH (1974), die von Morel und Irving, wegen ihrer Ähnlichkeit zu Pangäa-A1, Pangäa-A2 genannt wurde. C ist die Pangäa-Rekonstruktion für das Jungperm von IRVING 1977, genannt Pangäa-B von Morel und Irving. D ist die Pangäa-C von SMITH et al. 1981.



Abb. 29: Der bedeutende englische Geologe und Geophysiker Edward („Ted“) A. Irving der, um das Problem der permischen, miteinander nicht übereinstimmenden laurasischen und gondwanischen paläomagnetischen Beobachtungen zu lösen, die Pangäa-B-Rekonstruktion in Vorschlag brachte. Irving ist eine hervorragende Persönlichkeit in der Geschichte der Tektonik in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Foto freundlichst von Herrn Irving zu Verfügung gestellt).

Die heutige Lage

Diese verschiedenen Lösungsversuche haben das Problem der Diskrepanz zwischen den laurasischen und gondwanischen Pollagen, die Irving zuerst in den Brennpunkt gerückt hatte, nicht beseitigt. Man hat versucht, dieses Problems mit verschiedenen Hypothesen über das Verhalten der magnetischen Pole Herr zu werden: vierpolige, ja sogar achtpolige magnetischen Felder für die Gesamterde wurden für die Permzeit angenommen (z. B. VAN DER VOO & TORSVIK 2001), aber diese Versuche sind, meines Erachtens, nichts mehr als verzweifelte Versuche geblieben, ein scheinbar unlösbares Problem mit Gewalt zu lösen.

Das Problem sind immer die Einwände der Geologen gewesen, die in der Geologie von Pangäa keine Strukturen finden konnten, die von der Pangäa-B benötigten gewaltigen Verstellungen zwischen dem Altperm und der jungen Trias zustande bringen konnten. Aber in den letzten zwei Dezennien haben die geologischen Forschungen in Deutschland und in Frankreich allmählich große, permische, rechtssinnige Blattverschiebungen entdeckt. Man hat auch herausgefunden, daß die Böhmisches Masse, die wie ein Fremdling in der Struktur der europäischen Herzyniden sitzt, sich im Perm bis zu 90° in Uhrzeigersinn gedreht hatte. Auch im Sockel der Alpen, in Korsika, in Sardinien (z. B. GUILLOT et al. 2009, ganz besonders ihre Abb. 9) und in den Pyrenäen (ŞENGÖR 2013) hat man gleichsinnige Horizontalbewegungen entdeckt (FRANKE 2000, 2011; FRANKE & ŻELAŹNIEWICZ 2000, 2002; FRANKE et al. 2011; PERINI et al. 2004, dortige Abb. 1; CORSINI & ROLLAND 2009; ŞENGÖR & ATAYMAN 2009, dortige Abb. 17; ŞENGÖR 2013). Der hochangesehene Meister der Geologie der europäischen Herzyniden, Herr Professor Wolfgang Franke aus Frankfurt am Main, hat ja oft gesagt, dass zur Permzeit eine rechtssinnige Verschiebung der südlichen (d. h. gondwanischen) Teile Europas bis zu 2000 km gegenüber Nordeuropa stattgefunden haben mußte. Meine eigene Literatursynthese in den Pyrenäen und in Nordspanien hat mir gezeigt, daß man dort mit einer zusätzlichen Verschiebung um 500 km rechnen muß. Dies erhöht den Verstellungsbetrag von Franke auf bis zu 2500 km. Mit den üblichen Ungenauigkeiten bei solchen Schätzungen ist dieser Betrag nicht allzu verschieden von den von Irving verlangten 3000 km.

Inzwischen hat Irving, angesichts der neueren Erwägungen der paläomagnetischen Daten (z. B. MUTTONI et al. 2003) seine eigene Zeitfestlegung der relativen Bewegung von Gondwana-Land gegenüber Laurasien von Perm-Jungtrias zum Altperm-Jungperm revidiert (IRVING 2004). Mit dieser Revision kommen die sehr problematischen permischen paläomagnetischen Daten endlich zu einer bisher besten Übereinstimmung mit den geologischen Beobachtungen.

Schlußfolgerungen

Ist dies das Ende des Problems der Pangäa? Gewiss nicht, denn es bleibt in den Apalachen und in den Gebirgen in Südosteuropa und um das Schwarze Meer die Strukturen noch zu finden, die mit den in Zentraleuropa entdeckten Strukturen einst zusammehängt haben müssen. NATALIN & ŞENGÖR 2005 haben einen ersten Versuch veröffentlicht, die jungpaläozoische Tektonik der nordtethysischen Bereiche zwischen dem Pamir und Moesien zu klären. Auch hier hat man sehr bedeutende, rechtssinnige Blattverschiebungen jungpaläozoischen Alters festgestellt. In Amerika hat man schon längst vermutet, dass der sog. Carolina-Superterrane oder Carolina sich während der herzynischen Orogenese von einer Lage neben Neufundland im Norden zu seiner heutigen Lage bewegt hatte (HATCHER 2010 und persönliche Mitteilung, 2012). Wie hat

diese Bewegung stattgefunden? Entlang welcher Strukturen? Selbst in Europa ist die Verteilung der gewaltigen Scherbewegung unter den vielen voneinander getrennt kartierten und durch die heutigen Aufschlußverhältnisse miteinander schwer zu verbindenden Strukturen noch aufzudecken. Die Paläontologen sind untereinander noch keiner einheitlichen Meinung über die Zahl der Ozeane oder Ozeanteile, die während der herzynischen Orogenese in Europa geschlossen waren. Wie beeinflusst diese Sachlage die relativen Bewegungen von Laurasien in Bezug auf Gondwana-Land?

Aus einem rein theoretischen Gesichtspunkt muss man aber Eines gestehen: für eine Zeitspanne, die länger ist als das ganze Känozoikum, ja fast zweimal so lang, scheint es kaum plausibel zu sein, den gewaltigen Kontinent von Pangäa, der ein Drittel der Erdoberfläche einnahm, ohne interne Bewegung stehen zu lassen, wie schon Du Toit seinerzeit betonte. Der Wärmeverlust des Planeten könnte eine solche Asymmetrie der Wärmeausfuhr kaum so lange tolerieren. Dass eine solche Toleranz nicht da war wissen wir aus der Beobachtung, dass sich Pangäa im Karbon kaum zusammengeballt hatte, als sie entlang der Südostküste der Paläo-Tethys auseinander zu fallen begann (GÖRÜR & ŞENGÖR 1992; ŞENGÖR & NATALIN 1996). Auch in Zentral- und Nordasien sind sehr große (bis zu 2000 km) Horizontalbewegungen im Perm entlang solcher gewaltigen Scherstrukturen wie der Gornostaev Scherzone (ŞENGÖR et al. 1993; ŞENGÖR & NATALIN 1996) bekannt, die mit den europäischen Blattverschiebungssystemen zusammengehängt zu haben scheinen (NATALIN & ŞENGÖR 2005).

Auch über Wissenschaftshistorie möchte ich im Rahmen der hier erzählten Geschichte bemerken, daß ich sehr erstaunt bin, wie früh sehr viele der Ideen entstanden waren, die später unter dem Schirm von Plattentektonik eine einheitliche Theorie ausmachten, und wie völlig diese frühen Vorschläge in Vergessenheit geraten waren. Gute Ideen sind in der Wissenschaft wichtig, aber sie können nur dann zu einem bleibenden Gut der Wissenschaft werden, wenn viele und gute und vor allem von vielen Wissenschaftlern akzeptierte Beobachtungen von Ihnen erklärt werden. Aber dennoch ist der Fortschritt der Wissenschaft kein soziales Ereignis: gute Ideen stammen von einzelnen Wissenschaftlern und sie bereichern die Wissenschaft, auch wenn sie nicht sofort von der Fachwelt angenommen werden. Gute Ideen sind wie ein Kapital, das in eine Bank gelegt wird. Man kann es zu jeder Zeit ausgeben, wenn man bemerkt, daß man es braucht! Wegeners Theorie, Ampferers Ideen sind Schulbeispiele dafür.

Nachdem Alfred Wegener vor einem Jahrhundert unsere Augen geöffnet hatte, die Beweglichkeit der Oberfläche unseres Planeten zu sehen, wurden wir durch den Fortschritt in der geologischen Wissenschaft dazugebracht, Bewegungsbeträge und Bewegungssysteme zu erkennen, die selbst Wegener und seine ersten Anhänger nicht einmal ahnen konnten.

Ich beende meine Worte mit einem, Wegeners Lebensarbeit vielleicht am besten charakterisierenden Zitat aus Schillers neuntem Brief über die ästhetische Erziehung des Menschen (1793):

„... der Künstler ... blicke aufwärts nach seiner Würde und dem Gesetz, nicht niederwärts nach dem Glück und nach dem Bedürfnis. Gleich frei von der eitlen Geschäftigkeit, die in den flüchtigen Augenblick gern ihre Spur drücken möchte, und von dem ungeduldigen Schwärmergeist, der auf die dürftige Geburt der Zeit den Maßstab des Unbedingten anwendet, überlasse er dem Verstande, der hier einheimisch ist, die Sphäre des Wirklichen; er aber strebe, aus dem Bunde des Möglichen mit dem Notwendigen das Ideal zu erzeugen. Dieses präge er aus in Täuschung und Wahrheit, präge es in die Spiele seiner Einbildungskraft und in den Ernst seiner Taten, präge es aus in allen sinnlichen und geistigen Formen und werfe es schweigend in die unendliche Zeit.“

Danksagung

Wie ich in der Einleitung sagte bin ich meinem lieben Freund und Kollegen Kurt Stüwe für die Einladung zum Wegener-Symposium sehr dankbar. Auf seine Bitte kam auch diese Abhandlung zustande. Meine Doktorandin Frau Mag. Nalan LOM hat für die Herstellung des Manuskriptes viel Zeit aufgeopfert. Viel Zeit habe ich auch von dem sowieso kurzen Urlaub meiner lieben Frau Oya gestohlen. Ihnen beiden sei herzlichst gedankt. Ich danke auch meinen Kollegen und Freunden Herren Helmut W. FLÜGEL, Chris HARRIS, Ted IRVING, Jörg THIEDE, Rob van der VOO, Maarten de WITT und Wolfgang FRANKE für Ihre vielseitige Unterstützung meiner Pangäa-Studien. Ich habe über die Entwicklung der Ideen über die Plattentektonik bei wenigen, aber für mich sehr leuchtenden, Gesprächen mit Tuzo WILSON vieles gelernt. Ich gedenke dieses hervorragenden aber auch lebenswürdigen Genius der Erdwissenschaften mit viel Dankbarkeit. Herr Anton DRESCHER hat freundlicherweise mein Manuskript durchgelesen und viele Korrekturen und Verbesserungen vorgeschlagen.

Zitierte Literatur

- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (Hrsg.) 2005. Alfred WEGENER Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Nachdruck der 1. Auflage mit handschriftlichen Bemerkungen von Alfred Wegener, Notizen und Briefen sowie neu erstelltem Index. – Nachdruck der 4. umgearbeiteten Auflage 1929 mit neu erstelltem Index. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 481 pp.
- AMPFERER O. 1941. Gedanken über das Bewegungsbild des atlantischen Raumes. – Sitzungsberichte der österreichischen Akademie der Wissenschaften, math.-naturwiss. Klasse 150: 19–35.
- ARGAND E. 1916a. Sur l'arc des Alpes occidentales. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 14: 145–191.
- ARGAND E. 1916b. [Anzeiger des Vortrages von Argand über die Verschiebungstheorie von Wegener]. – *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles* 42: 115.
- ARGAND E. 1924. La tectonique de l'Asie: Congrès Géologiques International. *Comptes Rendus de la XIII^{me} session, Premier Fascicule, H.* – Vaillant-Carmanne, Liège, 171–372.
- BERTRAND M. 1887. La chaîne des Alpes et la formation du continent européen. – *Bulletin de la Société Géologique de France, série 3*, 15: 423–447.
- von BUCH L. 1824 [1877]. Ueber die geognostischen Systeme von Deutschland – Ein Schreiben an den Geheimrath v. Leonhard. – v. Leonhards Mineralogisches Taschenbuch für das Jahr 1824, 501506 (réimprimé dans EWALD J., ROTH J. and DAMES W. (Hrsg.), *Leopold von Buch's Gesammelte Schriften, Bd. III.* – G. Reimer, Berlin, 218–221).
- BULLARD E., EVERETT J. E. & SMITH A. G. 1965. The fit of the continents around the Atlantic: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 258, n. 1088, A Symposium on Continental Drift, 41–51.
- BURKE K. & DEWEY J. F. 1974. Two plates in Africa during the Cretaceous? – *Nature* 249: 313–316.
- CAREY S. W. 1955a. The Orocline Concept in Geotectonics, Part I. – *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania*, 89: 255–288 (Alles erschienen).
- CAREY S. W. 1955b. Wegener's South America-Africa assembly, fit or misfit? – *Geological Magazine* 92: 196–200.
- CAREY S. W. 1958. The tectonic approach to continental drift. – In CAREY S. W., convener, *Continental Drift A Symposium*, Geology Department, University of Tasmania, Hobart, 177–358.
- CAROZZI A. 1970a. New historical data on the origin of the theory of continental drift. – *Geological society of America Bulletin* 81: 283–286.
- CAROZZI A. 1970b. A propos de l'origine de la théorie des dérives continentales: Francis Bacon (1620), François Placet (1668), A. v. Humboldt (1801) et A. Snider (1858). – *Compte Rendu des Séances de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, nouvelle série* 4: 171–179.
- CHIAPPE L. M. & DINGUS L. 2001. Walking on Eggs: the Astonishing Discovery of Thousands of Dinosaur Eggs in the Badlands of Patagonia. – Scribner, New York, 219 pp. + 8 Tafelseiten.
- CHOUBERT B. 1935. Recherches sur la genèse des chaînes paléozoïques et antécambriennes. – *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique* 8: 5–50 + 1 Faltafel.

- CISNEROS J. C., ABDALA F., ATAYMAN-GÜVEN S., RÜBIDGE B. S., ŞENGÖR A. M. C. & SCHULTZ C. L. 2012. Carnivorous dinocephalian from the Middle Permian of Brazil and tetrapod dispersal in Pangaea. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109: 1584–1588.
- CORSINI M. & ROLLAND Y. 2009. Late evolution of the southern European Variscan belt: Exhumation of the lower crust in a context of oblique convergence. – *Comptes Rendus Geoscience* 341: 214–223.
- CREER K. M. & IRVING E. 2012. Testing continental drift: constructing the first palaeomagnetic path of polar wander (1954). – *Earth Sciences History* 31: 111–145.
- DICKMAN S. R. & WILLIAMS D. R. 1981. Viscoelastic membrane tectonics. – *Geophysical Research Letters* 8: 199–202.
- DIENER C. 1916: Die marinen Reiche der Triasperiode. – *Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, math.-naturwiss. Klasse* 92: 405–549 + Karte.
- DRAKE E. T. 1976. Alfred Wegener's reconstruction of Pangea. – *Geology* 4: 41–44.
- DU TOIT A. L. 1925/26. Comparative study of late Palaeozoic and early Mesozoic formations of South America, south Africa, Australia and India. – *Carnegie Institution Year book*, No. 25, 402–403.
- DU TOIT A. L. 1927. A geological Comparison of South America with South Africa, with a palaeontological contribution by F. R. Cowper Reed. – *Carnegie Institution of Washington*, Publication no. 381, Washington, D. C. V + 158 pp. + 1 Faltkarte + 1 Faltafel. (Für eine mit zusätzlichen Notizen auch von dem Autor selbst bereicherte portugiesische Übersetzung dieses Buches, siehe: DU TOIT A. L. 1952. *Comparação Geológica Entre a América do Sul e a África do Sul*. Reedição revista e anotada de dois trabalhos. Tradução de Kenneth E. Caster e Josué Camargo Mendes. Com notas do autor, dos tradutores e do Joaquim Frenguelli – Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, XVII + 179 pp. + 1 Faltkarte).
- DU TOIT A. L. 1937. Our Wandering Continents – An Hypothesis of Continental Drifting. – Oliver and Boyd, Edinburgh, London, XIII + 366 pp.
- DULLO W.-C. (Hrsg.) 2003. Milestones in Geosciences – Selected Benchmark Papers Published in the *Journal Geologische Rundschau*. – Springer-Verlag, Berlin, 149 pp.
- EGYED L. 1956. The change of the Earth's dimensions determined from palaeo-geographical data. – *Geofisica Pura e Applicata* 33: 42–48.
- FLÜGEL H. 1980. Wegener – Ampferer – Schwinner. Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie in Österreich. – *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* 73: 237–254.
- FRANKE W. 2000. The mid-European segment of the Variscides: tectono-stratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. – *Geological Society (London) Special Publications* 179: 35–61.
- FRANKE W. 2011. Major strike-slip faults in the Variscides: kinematics and thermal effects: Fragile Earth: Geological Processes from Global to Local Scales and Associated Hazards, Geological Society of America, Geologische Vereinigung and the deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften Joint Meeting, Munich, Abstracts and Programmes, S. A19.
- FRANKE W., DOUBLIER M. P., KLAMA K., POTEI S. & WEMMER K. 2011. Hot metamorphic core complex in a cold foreland. – *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 100: 753–785.
- FRANKE W. & ŻELAŹNIEWICZ A. 2000. The eastern termination of the Variscides: terrane correlation and kinematic evolution. – *Geological Society (London) Special Publications* 179: 63–86.
- FRANKE W. & ŻELAŹNIEWICZ A. 2002. Structure and evolution of the Bohemian arc. – In *Geological Society (London) Special Publications* 201: 279–293.
- GÖRÜR N. & ŞENGÖR A. M. C. 1992. Paleogeography and tectonic evolution the eastern Tethysides: implications for the northwest Australian margin breakup history. – In: von RAD U. & HAQ B. et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 122: 83–106.
- GUILLOT S., DI PAOLA S., MÉNOT R-P., LEDRU P., SPALLA M. I., GOSSO G. & SCHWARTZ S. 2009. Suture zones and importance of strike-slip faulting for Variscan geodynamic reconstructions of the External Crystalline Massifs of the western Alps. – *Bulletin de la Société Géologique de France* 180: 483–500.
- GÜNTHER S. 1906. Varenius. – In: BRIEGER-WASSERVOGEL L. (Hrsg.), *Klassiker der Naturwissenschaften*, Bd. IV, Theod. Thomas, Leipzig, [II] + 218 pp.
- HALM J. K. E. 1935. An astronomical aspect of the evolution of the earth (Presidential Address, session 1934–1935). – *Journal of the Astronomical Society of South Africa* 4: 1–28.
- HATCHER R. D. Jr. 2010. The Appalachian Orogen: a brief summary. – In: TOLLO R. P., BARTHOLOMEW

- M. J., HIBBARD J. P. & KARABINOS P. M. (eds.), Pangea: The Lithotectonic Record of the Appalachian Region. – Geological Society of America Memoir 206: 1–19.
- HAUG É. 1907. *Traité de Géologie*, Bd. 1 (Les Phénomènes géologiques). – Librairie Armand Colin, Paris, 538 pp.
- HAUG É. 1908/1911. *Traité de Géologie*, Bd. 2 [in 3 Bänden] (Les Périodes Géologiques). – Librairie Armand Colin, Paris, 539–2024 pp. + 64 Tafeln.
- HELBIG K. 1974. Alfred WEGENER (1880–1930). – In: BIRETT H., HELBIG K., KERTZ W. & SCHMUCKER U. (Hrsg.), *Zur Geschichte der Geophysik – Festschrift zur 50jährigen Wiederkehr der Gründung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*. Springer Verlag, Berlin, XI–XIII.
- HESS H. H. 1962. History of ocean basins. – In: ENGEL A. E. J., JAMES H. L. & LEONARD B. F. (eds.), *Petrologic Studies – A Volume in Honor of A. F. Buddington*. – Geological society of America, 599–629.
- HILGENBERG O. C. 1933. *Vom Wachsenden Erdball*. – Selbstverlag des Verfassers, Berlin, 56 pp.
- HUMBOLDT A. [F. W. H., Freiherr von] 1845. *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. – J. G. Cotta'scher Verlag, Stuttgart und Tübingen, XVI + 493 + 1 pp.
- HUMBOLDT A. [F. W. H., Freiherr von] 1859. Alexander von Humboldt's Reise in die Äquinoctial-Gegenden des Neuen Continents. In deutscher Bearbeitung von Hermann Hauff, Erster Band. – J. G. Cotta'scher Verlag, Stuttgart, XIII + 403 pp.
- HUMBOLDT A. [F. W. H., Freiherr von] 1991. Alexander von Humboldt Reise in die Äquinoctial-Gegenden des Neuen Kontinents. Herausgegeben von Ottmar Ette. Mit Anmerkungen zum Text, einem Nachwort und zahlreichen zeitgenössischen Abbildungen sowie einem farbigen bildteil. erster Band. – Insel Verlag, 701 pp. + 8 farbige Bildtafeln.
- IRVING E. 1977. Drift of the major continental blocks since the Devonian. – *Nature* 270: 304–309.
- IRVING E. 1988. The paleomagnetic confirmation of continental drift. – *EOS* 69(44): 996–997, 999, 1001–1002, 1005–1006, 1008–1009, 1011, 1013–1014.
- IRVING E. 2004. The case for Pangea B, and the Intra-Pangean megashear. – In: CHANNELL J. E. T., KENT D. V., LOWRIE W. & MEERT J. G. (eds.), *Timescales of the Paleomagnetic Field* (Opdyke volume), Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union, v. 145, edited pp. 13–27.
- JACOBS J. A., RUSSEL R. D. & WILSON J. T. 1959. *Physics and Geology*. – McGraw-Hill, New York, XII + 424 pp.
- JEFFREYS H. 1972. Developments in geophysics. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 1: 1–14.
- JEFFREYS H. 1976. *The Earth – its Origin, History and Physical Constitution*, 6th ed. – Cambridge University Press, Cambridge, XII + 574 pp., 2 Faltseiten, 10 Tafeln.
- KNOPF A. 1952. Charles Schuchert 1858–1942. A Biographical Memoir. – in *Biographical Memoir*, National Academy of Sciences, Washington DC., 363–389.
- KÖPPEN W. & WEGENER A. 1924. *Die Klimate der Geologischen Vorzeit*. – Gebrüder Borntraeger, Berlin, IV + 256 pp., 1 Tafel.
- KÖPPEN W. 1940. *Die Klimate der geologischen Vorzeit: Ergänzungen und Berichtigungen*. – Gebrüder Borntraeger, Berlin-Zehlendorf, 38 pp.
- KOSSMAT F. 1916. *Paläogeographie* (Geologische Geschichte der Meere und Festländer), 2. neubearbeitete Auflage. – Sammlung Göschen, G. J. Göschen'sche Verlagshandlung G. m. b. H., Berlin und Leipzig, 142 + 1 pp, 1 Faltafel.
- KRAUSE R. & THIEDE J. (Hrsg.) 2005. Alfred Wegener. *Kontinental Verschiebungen Originalnotizen und Literaturauszüge/Continental Drift. The Original notes and Quotations*. – *Berichte zur Polar- und Meeressforschung*, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeressforschung, Bremerhaven 516, 421 pp.
- LINDEMANN B. 1927. *Kettengebirge – Kontinentale Zerspaltung und Erdexpansion*. – Gustav Fischer, Jena, IV + 186 pp.
- LIVERMORE R. A. SMITH A. G. & VINE F. J. 1986. Late Palaeozoic to early Mesozoic evolution of Pangea. – *Nature* 322: 162165.
- MANTOVANI R. 1889. Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace. – *Bulletin de la Société de Sciences et Arts de l'Île de la Réunion*, 41–53.
- MANTOVANI R. 1909. L'Antarctide: Je m'instruis. – *La science pour tous* 38 (19. September), 595–597.
- MOLINGRAAF G. A. F. 1916. The coral reef problem and isostasy. – *Proceedings of the Royal Academy Amsterdam* 19: 610–627.
- MOLINGRAAF G. A. F. 1928. Wegener's continental drift. – In: WATERSCHOOT VAN DER GRACHT W. A. J. M. van et al., *Theory of Continental Drift – Symposium on the Origin and Movement of Land*

- Masses both Inter-Continental and Intra-Continental, as proposed by Alfred Wegener. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 90–92.
- MOREL P. & IRVING E. 1981. Paleomagnetism and the evolution of Pangea. – *Journal of Geophysical Research* 86: 1858–1872.
- MUTTONI G., KENT D. V., GARZANTI E., BRACK P., ABRAHAMSEN N. & GAETANI M. 2003. Early Permian Pangea 'B' to Late Permian Pangea 'A'. – *Earth and Planetary Science Letters* 215: 379–394.
- NATAL'IN B. A. & ŞENGÖR A. M. C. 2005. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms; the pre-history of the Palaeo-Tethyan closure. – *Tectonophysics* 404: 175–202.
- NEWMAN R. P. 1995. American intransigence the rejection of continental drift in the great debates of the 1920s. – In: KRIPS H., MCGUIRE J. R. & MELIA T. (Hrsg.), *Science, Reason and Rhetoric*. – University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 181–210.
- OWEN R. 1857. Key to the Geology of the Globe: An Essay, designed to show that the present geographical, hydrographical, and geological structures, observed on the Earth's crust, were the result of forces acting according to fixed, demonstrable laws, analogous to those governing the development of organic bodies. – Gould and Lincoln, Boston, 256 pp. + 1 farbige Faltkarte + 6 Faltdiagramme.
- OXBURGH E. R. & TURCOTTE D. L. 1974. Membrane tectonics and the East African Rift. – *Earth and Planetary Science Letters* 22: 133–140.
- PERINI G., CEBRIA C. B., LOPEZ-RUIZ J. & DOBLAS M. 2004. Carboniferous-Permian mafic magmatism in the Variscan belt of Spain and France: implications for mantle sources. – In: WILSON M., NEUMANN E.-R., DAVIES G. R., TIMMERMAN M. J., HEEREMANS M. & LARSEN B. T. (Hrsg.), *Permo-Carboniferous Magmatism and Rifting in Europe*. – Geological Society (London) Special Publications 223: 415–438.
- SCHUCHERT C. 1928a. The continental displacement hypothesis as viewed by Du Toit. – *American Journal of Science, Serie 5*, 17: 266–274.
- SCHUCHERT C. 1928b. The hypothesis of continental displacement. – In: WATERSCHOOT VAN DER GRACHT W.A. J. M. van et al., *Theory of Continental Drift – A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses both Inter-Continental and Intra-Continental, as proposed by Alfred Wegener*. – The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 104–144.
- SCHUCHERT C. 1928c. The hypothesis of continental displacement. – *Smithsonian Report for 1928, Publication 2988*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 249–282.
- ŞENGÖR A. M. C. 1982a. The classical theories of orogenesis. – In: MIYASHIRO A., AKI K. & ŞENGÖR A. M. C., *Orogeny*. – John Wiley & Sons, Chichester, 148. (Deutsche Übersetzung: ŞENGÖR A. M. C. 1985. *Klassische Gebirgsbildungstheorien*. – In: MIYASHIRO A., AKI K. & ŞENGÖR A. M. C., *Orogenese – Grundzüge der Gebirgsbildung*. – Deuticke, Wien, 11–50).
- ŞENGÖR A. M. C. 1982b. Eduard Suess' relations to the pre-1950 schools of thought in global tectonics. – *Geologische Rundschau* 71: 381–420.
- ŞENGÖR A. M. C. 1991. Timing of orogenic events: a persistent geological controversy. – In: MÜLLER D.W., MCKENZIE J. A. & H. WEISSERT (Hrsg.), *Modern Controversies in Geology* (K. J. Hsü Festschrift). – Academic Press, London, 405–473.
- ŞENGÖR A. M. C. 1998. Die Tethys: vor hundert Jahren und heute. – *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft* 89: 5–176.
- ŞENGÖR A. M. C. 2013. The Pyrenean Hercynian Keirogen and the Cantabrian Orocline as genetically coupled structures. – *Journal of Geodynamics* 65 (Koçyiğit volume): 3–21.
- ŞENGÖR A. M. C. & ATAYMAN, S. 2009. The Permian Extinction and the Tethys: An Exercise in Global Geology. – *Geological Society of America Special Paper*, 448, X + 96 pp.
- ŞENGÖR A. M. C. NATAL'IN, B. A. & BURTMAN V. S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. – *Nature* 364: 299–307.
- ŞENGÖR A. M. C. & NATAL'IN B. A. 1996. Palaeotectonics of Asia: Fragments of a Synthesis. – In: YIN A. and HARRISON M. (Hrsg.), *The Tectonic Evolution of Asia*. Rubey Colloquium, Cambridge University Press, Cambridge, 486–640.
- ŞENGÖR A. M. C. & OKUROĞULLARI A. H. 1991. The rôle of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics. – *Eclogae Geologicae Helvetiae* 84: 535–597.
- SMITH A. G., HURLEY A. M. & BRIDEN J. C. 1981. *Phanerozoic Paleogeographic World Maps*. – Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 102 pp.
- SNIDER A. 1858. *Le Création et ses Mystères Dévoilés – Ouvrage où l'on expose clairement la Nature de tous les Etres les Eléments dont ils sont composés et leurs rapports avec le globe et les astres la Nature et la Situation du Feu du Soleil l'Origine de l'Amérique et des ses Habitants primitifs*

- la Formation Forcée de nouvelles Planètes l'Origine des Langues et les Causes de la Variété des Physiognomies le Compte Courant de l'Homme avec la Terre, etc. – A. Franck und E. Dentu, Paris, 487 pp.
- SOLOMON S. C. 1987. Secular cooling of the Earth as a source of intraplate stress. – *Earth and Planetary Science Letters* 83: 153–158.
- SPENCER JONES H. 1945. Jacob Karl Ernst Halm. – *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 105: 92–93.
- STAUB R. 1928. Der Bewegungsmechanismus der Erde – dargelegt am Bau der irdischen Gebirgssysteme. – Gebrüder Borntraeger, Berlin, VIII + 270 pp. + 1 Faltafel (dieses wichtige Buch wurde nach zehn Jahren auch ins Russische übersetzt: STAUB R. 1938. Mekhanizm Dvidzhenii Zemnoi Kori: Glavnaya redakchia Geologo-Razvedochnoi i Geodezicheskoi Literaturi, Leningrad-Moskva, 371 pp + 1 Faltafel).
- STILLE H. 1910. Senkungs-, Sedimentations- und Faltungsräume. – *Compte Rendu du XI:e Congrès Géologique International*, Stockholm, 819–836.
- STILLE H. 1913. Die kimmerische (vorcretacische) Phase der saxonischen Faltung des deutschen Bodens. – *Geologische Rundschau* 4: 362–383.
- STILLE H. 1924 Grundfragen der Vergleichenden Tektonik. – Gebrüder Borntraeger Berlin, VIII + 443 pp.
- STILLE H. 1927. Die sogenannte Rückfaltung des Apennin. – *Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, Jg. 1927: 292–312.
- STILLE H. 1937. Geotektonische Probleme im atlantischen Raume. – In: Bericht über den Verlauf der 250. Wiederkehr des Tages der Erhebung der am 1. Jan. 1652 Gegründeten Academia Naturae Curiosorum zur „Sacri Romani Imperii Academia Caesareo-Leopoldina Naturae Curiosorum“ durch Leopold I. 28. bis 30. Mai 1937, Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutsche Akademie der Naturforscher, Halle, 129–139.
- STILLE H. 1940. Einführung in den Bau Amerikas. – Gebrüder Borntraeger, Berlin, XX + 717 pp.
- SUESS E. 1883. Das Antlitz der Erde. Bd. Ia (Erste Abtheilung). – F. Tempsky, Prag und G. Freytag, Leipzig, 310 pp.
- SUESS E. 1885. Das Antlitz der Erde, Bd. Ib. – F. Tempsky, Prag und G. Freytag, Leipzig, IV + 311–778 + [I] pp.
- SUESS E. 1886. Über unterbrochene Gebirgsfaltung. – *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, math.-naturwiss. Klasse* 94(I): 111–117.
- SUESS E. 1888. Das Antlitz der Erde, Bd. II. – F. Tempsky, Prag/Wien und G. Freytag, Leipzig, IV + 704 pp.
- SUESS E. 1895. Note sur l'histoire des oceans. – *Comptes Rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences (Paris)* 121: 1113–1116.
- SUESS E. 1901. Das Antlitz der Erde, Bd. III/1 (Dritter Band, 1. Hälfte): F. Tempsky, Prag/Wien und G. Freytag, Leipzig, IV + 508 pp.
- SUESS E. 1909. Das Antlitz der Erde, Bd. III/2 (Dritter Band, 2. Hälfte. Schluss des Gesamtwerkes): F. Tempsky, Wien and G. Freytag, Leipzig, IV + 789 pp.
- TURCOTTE D. L. 1974. Membrane Tectonics. – *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 36: 33–42.
- VAN DER VOO R. & FRENCH R. B. 1974. Apparent polar wander for the Atlantic-bordering continents: Late Carboniferous to Eocene. – *Earth Science Reviews* 10: 99–119.
- VAN DER VOO R. AND TORSVIK T. 2001. Evidence for late Paleozoic and Mesozoic non-dipole fields provides an explanation for the Pangea reconstruction problems. *Earth and Planetary Science Letters* 187: 71–81.
- VARENIUS B. 1664. *Geographia Generalis in qua Affectiones Generales Telluris Explicantur.* – Ex Oficina Elzeviriana, Amstelodami, [XXXVIII] + 748 pp.
- VOGEL A. (Hrsg.) 1980. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane – Nachdruck der 1. und der 4. Auflage. – Friedrich Vieweg, Braunschweig, 381 pp. + Frontispiz.
- WATERSCHOOT VAN DER GRACHT W.A. J. M. van 1928. Remarks regarding the papers offered by the other contributors to the Symposium. – In: VAN WATERSCHOOT VAN DER GRACHT et al., *Theory of continental Drift A Symposium on the Origin and Movement of Land Masses Both Inter-Continental and Intra-Continental, as Proposed by Alfred Wegener.* – The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 197–226.
- WEGENER A. 1912a. Die Entstehung der Kontinente. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* 58(1): 185–195, 253–256, 305–309, Tafel 36.
- WEGENER A. 1912b, Die Entstehung der Kontinente. – *Geologische Rundschau* 3: 276–292.

- WEGENER A. 1915. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. – Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, V + 94 pp.
- WEGENER A. 1920. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, zweite gänzlich umgearbeitete Auflage. – Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, VIII + 135 pp.
- WEGENER A. 1922. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, dritte gänzlich umgearbeitete Auflage. – Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, VIII + 144 pp.
- WEGENER A. 1929. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, vierte umgearbeitete Auflage. – Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, X + 231 pp.
- WHITE G. W. 1980. Permian-Triassic continental reconstruction of the Gulf of Mexico-Caribbean area. – *Nature* 283: 823–826.
- WILSON J. T. 1950. An analysis of the pattern and possible cause of young mountain ranges and island arcs. – *Proceedings of the Geological Association of Canada* 3: 141–166.
- WILSON J. T. 1954. The development and structure of the crust. – In: KUIPER G. P. (Hrsg.), *The Earth as a Planet*. – University of Chicago Press, Chicago, 138–214.
- WILSON J. T. 1957. The crust. – In: BATES D. R. (Hrsg.), *The Planet Earth*. – Pergamon Press, New York, 48–73.
- WILSON J. T. 1963. Hypothesis of Earth's behavior. – *Nature* 198: 925–929.
- WUTZKE U. 1988. Der Forscher von der Friedrichsgracht – Leben und Leistung Alfred Wegeners. – *Brockhaus-Biographien*, VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig, 272 pp.
- YOUNT L. 2009. Alfred Wegener – Creator of the Continental Drift Theory. – *Makers of Modern Science*, Chelsea House, Infobase Publishing, XVI + 160 pp.