

## Mitteilungen

# Die Polfluchtkraft: Der LELY-Versuch – Vergessene Begriffe der Geologiegeschichte –

von Reinhard A. Krause<sup>1</sup>

### EINFÜHRUNG

Die Polfluchtkraft (contra-polar driving force, auch Eötvös Force vgl. Marvin 1973: S. 71) spielt in den Schriften Alfred Wegeners (1880-1930) zu dessen Vorstellung, dass in geologischen Zeiträumen erhebliche laterale Kontinentalbewegungen<sup>1</sup> stattgefunden haben, eine wesentliche Rolle. Ausführlicher als Wegener selbst, hat sich Wladimir Koeppen (1846-1940) mit diesem Phänomen auseinandergesetzt (Köppen 1921). Der Niederländer U.P.H. Lely hat 1927 einen Versuch angegeben, der diese Kraft äquivalent demonstrieren soll (Lely 1927). Anlässlich des 2. Internationalen Alfred-Wegener-Symposiums im November 2005 in Bremerhaven wurde dieser Versuch mehrfach vorgeführt. Die Reaktionen der fachkundigen Zuschauer pendelten zwischen Staunen und Begeisterung – Grund den Versuch und seinen fachlichen und geschichtlichen Kontext in Erinnerung zu rufen.

### ZUR REZEPTION DER WEGENERSCHEN VERSCHIEBUNGSTHEORIE

Für Wegener war die Kontinentverschiebung eine Tatsache. Im Zuge der Stützung und Beweisführung seiner These traten allerdings Widersprüche sowohl zur geophysikalischen als auch zur geologischen Lehrmeinung auf. Der zentrale Punkt war die Frage, welche Kräfte den Verschiebungen zugrunde lägen. Wegener hoffte, dass der Newton der Verschiebungstheorie eines Tages kommen würde (WEGENER 1929: S. 172)<sup>2</sup>. So ist es nicht gekommen. Die „Theorie“ wurde in einem langen Prozess schrittweise gestützt und modifiziert. Zunächst wurde sie jedoch überwiegend in Frage gestellt. Im Frühjahr 1921 erschienen mehrere ablehnende Artikel in der deutschen Fachpresse. Nach einer speziellen Konferenz der British Association for the Advancement of Science am 11. September 1922 in Hull und einer Konferenz im November 1926 in New York, wurde die Verschiebungstheorie auch international, wenn nicht geächtet, so doch ablehnend und gelegentlich geringschätzig behandelt (WRIGHT 1923, WATERSCHOOT 1928, MARVIN 1973: S. 82, ANDERSON 1974: S. 40, MCCOY 2006: S. 33). Das hieß allerdings nicht, dass die Theorie keine Anhänger gehabt hätte. In allen Fachbereichen – von der Geophysik bis zur Paläobotanik – gab es eine schweigende Mehrheit (KERTZ 1981: S. 26), die der Wegenerschen Vorstellung zugeneigt war.<sup>3</sup>

Wie vorhersehbar, konnte die Verschiebungstheorie nicht auf ein fundamentales Gesetz zurückgeführt werden, wie etwa Wegeners Ausspruch, Newton betreffend, suggerieren könnte.<sup>4</sup> Aber ab Ende der 1950er Jahre begannen sich Forschungsergebnisse zu häufen, die wenig Spielraum in der Deutung zuließen, außer eine Dynamik der Kontinente und Ozeane zu akzeptieren<sup>5</sup>. Speziell aus geomagnetischen Daten ließ sich folgern, dass sich Teile der Erdkruste relativ zueinander bewegt hatten (Inkonsistenz der Polwanderungskurven, RUNCORN 196: S. 1). Der Durchbruch der Theorie kam, als eindeutige Altersbestimmungen der ozeanischen Kruste – des Simas – möglich wurden, für die ein maximales Alter von 200 Mio Jahren erkannt wurde. Damit wurde die Abgrenzung zur Kontinentkruste – von Wegener als Sial bezeichnet – mit einem Alter von bis zu 3,5 Milliarden Jahren gerade zu plakativ<sup>6</sup>. Als man dann ein Streifenmuster magnetischer Anomalien parallel zum Mittelatlantischen Rücken feststellte<sup>7</sup> (LE GRAND 1988: S. 177), konnte man auf eine permanente Neubildung des Meeresbodens folgern. Die mittelozeanischen Rücken wurden als Spreizungszentren und verschiedene Küsten als Subduktionszonen erkannt. Die Kombination dieser Ergebnisse mit dem Wissen um die mehrfach vollzogene Umpolung des geomagnetischen Feldes (entdeckt durch Bernhard Brunhes 1906), dessen Perioden abgeschätzt werden konnten, ermöglichte auch erstmals eine direkte Abschätzung der Spreizungsraten und Driftgeschwindigkeiten. Damit musste ein neues Element zur Wegenerschen Theorie hinzugefügt werden – *sea-floor spreading* und *subduction*. Mit dieser, im Wesentlichen von Harry H. Hess (1906-1969) ausgearbeiteten Vorstellung, die in die heutige Lehrmeinung der Plattentektonik mündete, ließen sich auch die Kontinentbewegungen erklären. Die Kontinente werden danach als Teil einer Platte mitgeführt, wodurch relative Verschiebungen gegeneinander möglich werden und selbst Kollisionen der Kontinente eine Erklärung finden (Hess 1962).<sup>8</sup>

### GRUNDLAGEN DER VERSCHIEBUNGSTHEORIE

Wegener hatte zunächst ein Treiben der Kontinente im basaltischen Sima postuliert. D.h. die heutige Erde wird nach seiner Vorstellung von einer Simahülle umgeben, in der die Kontinente, aus spezifisch leichterem Material (Sial), wie Eisberge im Ozean, in einem hydrostatischen Gleichgewichtszustand – in Isostasie – schwimmen<sup>9</sup>. Welche Kräfte aber die Bewegungen der Kontinente relativ zueinander hervorrufen sollten, darüber bestand keine Klarheit. Wegener gibt in der ersten Auflage seines Buches (WEGENER 1915) insgesamt sieben

<sup>1</sup> Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Postfach 12 01 61, 27515 Bremerhaven; <Reinhard.Krause@awi.de>

Kräfte oder Kraftkomponenten an.<sup>10</sup> Die siebte Kraft ist die Polflucht. (WEGENER 1915: S. 55/56). Wörtlich heißt es dazu: *Unbewiesen ist vorläufig auch die schon vorher erwähnte Vorstellung einer Polflucht des Landes, d.h. eines geringen Drängens der Kontinente zum Äquator.* Über die Vorstellung liest man etwas auf S. 8 des Buches. Danach wurde der Begriff bereits in einem Artikel des Amerikaners Frank B. Taylor (1860-1939) verwendet. Eine physikalische Begründung der Polflucht wird hier nicht gegeben. In Wegener 1915/29-2005: S. 117 findet man jedoch eine handschriftliche Eintragung – *Polflucht: Eötvös in Verhandlungen der 17. allgemeinen Konferenz der Erdmessung I. Teil 1913, S. III. „Er erinnert daran, dass die Richtung der Vertikale in der Meridianebene gekrümmt ist, die konkave Seite dem Pol zugewendet, und dass der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers höher liegt als der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmasse...“*<sup>11</sup>

In der zweiten Auflage (WEGENER 1920) wird einleitend wieder ein Bezug zu Taylor hergestellt: *Er sieht in der „Polflucht“ des Landes das gestaltende Prinzip für die Anordnung der großen Gebirgsketten auf der Erde und begegnet sich dabei mit Kreichgauer* (WEGENER 1920: S. 12; Kreichgauer wurde auf S. 11 eingeführt).<sup>12</sup> Die eigentliche Diskussion der Kräfte findet unter der Kapitelüberschrift: *System, Ursachen und Wirkungen der Kontinentalverschiebungen* statt. Wegener stellt zunächst sein System vor: Die Kontinente bewegen sich äquatorwärts und westwärts. Die Polflucht sei *wohl ganz allgemein zu erkennen*, so Wegener. Es folgen einige Beispiele, die nicht immer sofort zu verstehen sind, da Wegener die Äquatorlagen variiert. So stieß Vorderindien gegen Eurasien, aber zu einem Zeitpunkt, als sich das ganze Landgebilde südlich des Äquators befand.<sup>13</sup>

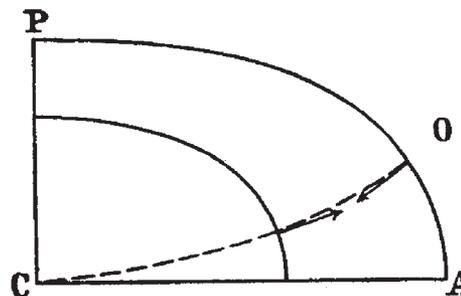
Nach Wegener erschließt sich die zweite große Bewegung, die Westwanderung der Kontinente, unmittelbar aus einer Analyse der Erdtopographie. Dazu gibt er wiederum eine Reihe von Beispielen (WEGENER 1920: S. 120). Beachtlich ist allerdings, dass er sich nicht zur Ursache der Westwanderung festlegt. Er will eine Gezeitenreibung mit Wirkung auf den Erdmantel nicht ausschließen, obwohl Untersuchungen lediglich eine rein elastische Deformation des Erdkörpers nahe legen. Da es aber keine rein elastische Schwingung geben kann, denn diese würde ja ein Perpetuum Mobile zweiter Art voraussetzen, ist seine zögerliche Diskussion nicht stichhaltig.<sup>14</sup> Neu ist die Einführung einer Coriolis-Komponente als mögliche Ursache für die Westdrift.<sup>15</sup>

## ZUR URSACHE DER POLFLUCHT-KRAFT

Die Polflucht wird bezüglich ihrer Ursachen erstmals in WEGENER 1920 ausführlich diskutiert. Wegener führt zu Recht aus, dass Kreichgauer in unkorrekter Weise die Zentrifugalkraft als Ursache bezeichnet hat. Zur Klarstellung sei darauf hingewiesen, dass das Besondere ja gerade darin besteht, die Erde als langsam rotierende zähflüssige Sphäre unter Eigengravitation zu betrachten, wodurch sich die Erdoberfläche so verformt, dass sie zu einer Null-Potentialfläche werden muss. Kreichgauer hingegen hat für seine Erklärung eine starre Kugel vorausgesetzt. (KREICHGAUER 1902: S. 81, 243). Für die hydrostatisch ausbalancierte Idealerde treten eben keine Horizontalkräfte, Kräfte in der „Ebene“ der Erdoberfläche, auf. Die Rotation der Erde wäre durch ein statisches Experiment

nicht nachweisbar. Dieses wäre nur möglich mit der Hilfe eines dynamischen Experiments. In Frage kämen nur Experimente, die die Drehimpulserhaltung verwenden – freie kardansche Kreisel, lange Pendel – oder solche, bei der sich die Lage eines Probegegenstandes mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  relativ zur Erdoberfläche verändert. Dann misst man die Corioliskraft, die proportional zu  $\vec{v} \times \vec{\omega}$  ist, wobei  $\vec{\omega}$  die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation symbolisiert (vgl. <sup>18</sup>).

Nachdem Wegener die Erklärung von Kreichgauer zurückgewiesen hat, bezieht er sich auf eine noch nicht erschienene Arbeit von Wladimir Köppen (KÖPPEN 1921).<sup>16</sup> Die in diesem Artikel gelieferte Erklärung, die ohne eine mathematische Behandlung präsentiert wird, trifft den richtigen Sachverhalt. Durch die Abplattung des Erdkörpers werden Äquipotentialflächen erzeugt, die, nahe dem Zentrum des Erdkörpers, sich einem Kreise nähern. An den Polen und am Äquator liegen diese Flächen stets parallel. Im Allgemeinen müssen aber die äußeren Äquipotentialflächen stärker gekrümmt sein als die inneren. D.h. die Kraft, die hier auf den Massenschwerpunkt eines schwimmenden Probekörpers wirken würde, wäre nicht mehr parallel zu der weiter im Erdinneren liegenden Auftriebskraft, die senkrecht auf der dort vorhandenen Äquipotentialfläche steht. Da nun, wie Wegener kalkuliert, sich der Schwerpunkt einer im Sima schwimmenden Kontinentplatte 2,4 km über dem Schwerpunkt der Auftriebskräfte befindet<sup>17</sup>, ergibt sich eine meridionale Kraft, die ihren größten Betrag etwa auf dem 45. Breitengrad hat und an den Polen und am Äquator gegen null geht (Abb. 1). Diese Kraft, schlicht als Polflucht bezeichnet, ist nach Wegener und Köppen die wichtigste Ursache für eine Drift der Kontinente (EPSTEIN 1921).<sup>18</sup>



**Abb. 1:** Zeichnung zur Veranschaulichung der Polflucht aus WEGENER (1922, Abb. 44; 1929 Abb. 45). Textzitat aus KÖPPEN (1921) ... *Die Abplattung der Niveauflächen nimmt also mit der Tiefe ab; sie sind einander nicht parallel, sondern ein wenig gegeneinander geneigt, außer am Äquator und an den Polen, wo sie alle rechtwinklig zum Erdradius sind. Die Fig. 44 (Abb. 44) zeigt dies an einem Meridianschnitt zwischen Pol (P) und Äquator (A) Die gestrichelte, nach dem Pol zu konkave Linie ist die Kraftlinie der Schwerkraft bzw. Lotlinie des Ortes O. C ist der Erdmittelpunkt.*

Da der Vorgang der Kontinentdrift weitgehend unter Isostasie abläuft, ändert sich zwar nicht die Massenverteilung des Erdkörpers – vom Mittelpunkt der Erde gesehen, befindet sich in jedem Raumwinkel zu jedem Zeitpunkt die gleiche Masse – aber doch dessen Trägheitsmoment  $J$  ( $J = \int r^2 dm$ ), da die Schwerpunkte der Kontinentschollen weiter außen liegen, d.h. der Abstand  $r$  des Massenelements  $dm$  variiert. Eine allgemeine Änderung des Trägheitsmomentes ist aber im Fall der rotierenden Kugel gleichbedeutend mit einer Verlagerung der Hauptträgheitsachse, der die Achse einer freien Rotation folgen will.<sup>19</sup> Aus diesem Effekt, zu der neben der Kontinentverschiebung als endogene Ursache auch exogene und quasi exogene thermische Einflüsse beitragen können<sup>20</sup>, erfolgt eine

Polwanderung/Polverlagerung. Dieser Verlagerung des Rotationspols folgt die Umformung der Wassersphäre der Erde unmittelbar. Eine Umbildung des Erdellipsoides ist hingegen viel träger und läuft in anderen Zeitskalen ab, womit sich Transgressionen und Regressionen (Überschwemmung und Trockenfallen von Kontinentbereichen) nach Wegeners Ansicht gut erklären lassen.

## BEDEUTUNG DER POLFLUCHT FÜR DIE VERSCHIEBUNGSTHEORIE

In der dritten Auflage (WEGENER 1922)<sup>21</sup> wiederholt Wegener im Kapitel *Die verschiebenden Kräfte* zunächst weite Teile aus der zweiten Auflage. Der letzte Satz dieses Abschnitts ist aber signifikant geändert. Hieß es in WEGENER 1920: S. 121 zu Polflucht und Westdrift noch sehr selbstbewusst: ... *Die Hauptbewegungen – auch für die Vorzeit – werden aber anscheinend durch sie vollständig dargestellt*, so ist die Einschätzung zwei Jahre später zurückhaltender: *Die Hauptbewegungen werden aber anscheinend durch sie leidlich gut dargestellt* (WEGENER 1922: S. 131; Sperrung durch Verf.).

Bei der Erläuterung zur Polflucht stützt Wegener sich überwiegend auf KÖPPEN (1921). Erstmals findet sich auch eine analytische Darstellung der Kraft als Funktion der geographischen Breite  $\varphi$ , die Paul. S. Epstein geliefert hatte:

$$F\varphi = 3/2 m d \omega^2 \sin 2\varphi.$$

( $F$  = Kraft,  $m$  = Masse des Probekörpers,  $d$  = Distanz zwischen Auftriebs- und Schwerpunkt der Scholle,  $w$  = Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation).

Eine weitere mathematische Formulierung soll von Walter D. Lambert stammen – im wesentlichen mit dem gleichen Ergebnis wie bei Epstein.<sup>22</sup>

Wegener kann im Weiteren die Ergebnisse erster Berechnungen zur Polflucht vorstellen und weitere Kräfte hinterfragen. Von W. Schweydar (1877-1959) stammt eine Betrachtung zur Präzession, aus der eine Westwanderung der Kontinente resultieren könnte (WEGENER 1922: S. 137). Im Anschluss an die von F. Helmert (1843-1917) behaupteten Abweichungen der Erdgestalt von der eines Rotationsellipsoides werden auch Fließbewegungen im Sima diskutiert (WEGENER 1922 S. 137).

In der vierten Auflage (Wegener 1929) behält Wegener die Überschrift *Die verschiebenden Kräfte* bei (jetzt Kapitel 9 statt 13). Ganz neu ist das Kapitel 8: *Grundsätzliches über Kontinentverschiebungen und Polwanderungen*.<sup>23</sup> Bereits in Wegener 1922: S. 109 hatte Wegener eine Karte der Schwereanomalien von Mitteleuropa eingefügt. Während er hier folgert: *Gebirgsbildung ist Zusammenschub unter Wahrung der Isostasie*, betont er auf der Basis derselben Karte in Wegener 1928: S. 159: ... *daß das Schweredefizit systematisch nach Nordosten verschoben ist* und weiter heißt es hier: *Dies deutet aber mit Bestimmtheit auf eine Bewegung der europäischen Kontinentalscholle relativ zu dem darunter liegenden Sima nach Südwesten. .... es ist dies, wie es scheint, die einzige direkte Methode, die Krustenwanderung festzustellen.*

Die Polwanderung betreffend diskutiert Wegener, ob sich diese ausschließlich als eine relative erweist, was heißen soll, die Rotationsachse der Erde behält ihre Richtung im Raum bei, aber Kontinente, oder die Kruste als Ganzes, oder Teile der Kruste verlagern sich relativ zum Pol, oder ob sich auch die Lage der Rotationsachse im Raum bzw. sich ihr Winkel zur Ekliptik (Umlaufbahnebene) ändert. Im letzteren Falle werden, selbstverständlich völlig unabhängig von der Lage der Kontinente relativ zu den Polen, die Jahreszeiten getriggert. Für Wegener ist der Fall ohne Jahreszeiten – die Rotationsachse der Erde steht senkrecht auf der Ekliptik – der, bei der die stärkste Vereisung der Polargebiete stattfindet (WEGENER 1928: S. 170). Die Frage, in welchem Umfang die Annahme von Polverlagerungen damals zur geologischen Lehrmeinung gehörte, wurde nicht abschließend geklärt. Tendenziell lässt sich eine breite Zustimmung konstatieren.

Das Kapitel *Die verschiebenden Kräfte* präsentiert eine neue Berechnung der Polfluchtkraft von R. Wavre und R. Berner. Es wird ein Maximalwert angegeben. Er soll  $1/800\ 000$  des Gewichts der Schollen betragen (WEGENER 1929: S. 177). Nach einem kurzen historischen Rückblick in dem jetzt Kreichgauer als der erste Entdecker der Polfluchtkraft bezeichnet wird<sup>24</sup>, erwähnt er M. Möller, der bereits 1920 eine Ableitung der Polfluchtkraft gefunden haben soll.

Für Wegener ist 1929 die Polfluchtkraft noch ein wichtiger Faktor bei der Betrachtung der verschiebenden Kräfte.<sup>25</sup> Sie hat aber nicht mehr die Bedeutung wie 1922. Hoffnung setzt er auf die Vorstellung seiner österreichischen Kollegen Robert Schwiner (1878-1953) und Gerhard Kirsch (1890-1956)<sup>26</sup>, die Konvektionsströmungen (*Zirkulationsströmungen*) im Sima als eine die Kontinentalblöcke zerbrechende Ursache annehmen. Nachdem er zunächst darauf hingewiesen hat, dass Fachleute an der dazu notwendigerweise gehörenden Leichtflüssigkeit des Sima zweifeln, sagt er: *Bei der Betrachtung der Erdoberfläche lässt sich aber nicht verkennen, dass die Aufspaltung von Gondwanaland und auch die der ehemaligen nordamerikanisch-europäisch-asiatischen Kontinentalscholle sich als Wirkung einer solchen Zirkulation des Simas auffassen läßt. Auch bietet sie anscheinend eine gute Erklärung für die Öffnung des Atlantischen Ozeans* (WEGENER 1929: S. 184, KRAUSE & THIEDE 2006: S. 308).

## DER LELY-VERSUCH

### Erläuterungen

Nach derzeitiger Lehrmeinung sind „sea-floor spreading“ und „subduction“ die Vorgänge, auf die sich die Kontinentverschiebungen ausschließlich zurückführen lassen. Niemand spricht heute mehr von der Polfluchtkraft.<sup>27</sup> Der Begriff ist unbekannt. Man könnte beinahe annehmen, die Polfluchtkraft, die schließlich prinzipiell auf jedes Schiff und auf jeden Eisberg wirken muss, die aber nie gemessen wurde, sei ein Phantasiegebilde.

Wegener war allerdings nicht dieser Meinung. In Wegener 1929: S. 178 heißt es: *Lely hat vor kurzem einen interessanten Versuch zur Demonstration der Polfluchtkraft gemacht. Ich habe ihn gemeinsam mit J. Letzmann wiederholt, und wir fanden, daß er sich auszeichnet als Vorlesungsversuch*

eignet. U.P.H. Lely hat eine Erklärung dieses Versuches geliefert, die in der Originalpublikation ohne quantitative Angaben sehr verwickelt präsentiert wird (LELY 1927)<sup>28</sup>. Interessant ist allerdings die Wegenersche Interpretation, die durch ihre Klarheit besticht (WEGENER 1929: S. 179). Sie wird im Folgenden wiedergeben, da sie gleichzeitig die an dieser Stelle notwendige Beschreibung des Versuches liefert (Abb. 2):

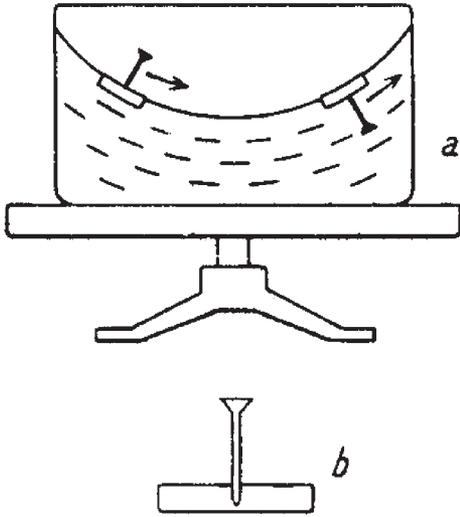


Abb. 2: Lelys Versuch zur Erläuterung der Polfluchtkraft (aus WEGENER 1929, S.178)

... Auf einem Rotationsschemel wird, recht genau zentriert, ein zylindrisches Wassergefäß gebracht, dessen Spiegel, wenn das Wasser gleichmäßig mitrotiert eine paraboloidische Krümmung zeigt (Abb. 45a). Nun wird ein Schwimmkörper auf diese Wasseroberfläche gesetzt, der aus einem flachen Kork mit in der Mitte eingestecktem Nagel besteht (Abb. 45b). Der Nagel muß möglichst lang sein, doch soll der Kork mit nach oben gestelltem Nagel, ohne umzufallen, noch schwimmen können. Weist der Nagel nach oben, so sieht man den Schwimmer bald zur Mitte wandern; dagegen wandert er zum Rande, wenn der Nagel nach unten gerichtet ist. Wenn man den Schwimmer mehrmals nacheinander in umgedrehter Stellung auf das Wasser setzt, wobei er jedesmal seine Bewegungsrichtung ändert, so wirkt der Versuch sehr überzeugend.

Die grundsätzliche Erklärung dieses Versuches ist sehr einfach, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Schwerpunkt des Schwimmers nicht mit dem Schwerpunkt des von ihm verdrängten Wassers zusammenfällt, sondern bei aufrechtem Nagel oberhalb, bei abwärts gerichtetem unterhalb desselben liegt. Im Wasser herrscht, wie seine gekrümmte Oberfläche zeigt, ein radiales Druckgefälle, das durch die Zentrifugalkraft gerade kompensiert wird. Würde der Schwerpunkt des Schwimmers gerade mit dem des verdrängten Wassers zusammenfallen, so träte keine verschiebende Kraft auf, da sich dann auch für den Schwimmer der Druckunterschied auf der äußeren und inneren Seitenfläche gerade mit der Zentrifugalkraft kompensieren würde. Liegt sein Schwerpunkt aber, bei aufrechtem Nagel, nach oben und zwar senkrecht zum Wasserspiegel verschoben, so wird er dadurch zugleich der Achse genähert, die Zentrifugalkraft wird kleiner und der Überschuss des Druckgradienten treibt den Schwimmer zur Mitte. Umgekehrt muß der Schwimmer bei abwärts gerichtetem Nagel zum Rande wandern, weil sein

Schwerpunkt weiter von der Achse entfernt ist als der des verdrängten Wassers und jetzt also die Zentrifugalkraft über den Druckgradienten überwiegt.

Auf den ersten Blick scheint dieser Versuch gerade das Gegenteil der Polfluchtkraft zu liefern, weil die Kontinente mit ihrem höher gelegenen Schwerpunkt dem Schwimmer mit aufrechtem Nagel entsprechen. Man sieht aber leicht, dass diese Umkehrung des Effektes lediglich eine Folge der entgegengesetzten Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche ist. Der Schwerpunkt der Kontinente liegt eben infolge der konvexen Krümmung der Erdoberfläche weiter von der Achse entfernt als der des verdrängten Simas, während im Versuch sein Achsenabstand verringert ist.

Der Wegenerschen Erklärung des Versuches ist nichts hinzuzufügen. Die Argumentation über den Druckunterschied laufen zu lassen, ist physikalisch sinnvoll. Schließlich ist der Schwerpunkt des durch den Schwimmkörper verdrängten Wassers nichts anderes als der Punkt, in dem man sich die Summe aller Druckkräfte auf diesen Körper vereinigt denken kann.<sup>29</sup>

Der letzte Absatz – dass dürfte Wegener nicht anders gesehen haben – ist durchaus kein Beweis für die Äquivalenz des Versuches, den er eingangs auch eine *Demonstration der Polfluchtkraft* nennt. Der Sinn physikalischer Versuche besteht jedoch darin, die Verknüpfung physikalischer Größen zu demonstrieren und zu hinterfragen. Liegt eine „Gesetzmäßigkeit“ vor, müssen die Versuchsergebnisse im Rahmen der speziellen Voraussetzungen reproduzierbar sein. Im vorliegenden Fall trifft diese Definition nicht zu, denn weder Wegener noch Lely haben angegeben, welche physikalischen Größen hier wie miteinander verknüpft und variiert werden sollen bzw. welche Gesetzmäßigkeit wie demonstriert werden soll. Tatsächlich liegt diesem Mangel natürlich ein ganz spezieller Umstand zu Grunde. Es ist schlicht unmöglich im irdischen Gravitationsfeld unter Eigengravitation ein kugelförmiges Massenkonglomerat herzustellen, geschweige denn dieses in Eigenrotation zu versetzen. Anders ausgedrückt, man kann auf der Erde kein Modell der Erde herstellen, was ja die Voraussetzung für einen äquivalenten Versuch wäre. Der Lely-Versuch kann also kein zur Polflucht äquivalenter, sondern bestenfalls ein dazu analoger Versuch sein.

#### Zur praktischen Durchführung des Lely-Versuchs

Zusammen mit dem zitierten Text präsentierte Wegener die obige Abbildung (WEGENER 1929: S. 178), was den Verfasser zur Überprüfung des Versuches herausforderte. Der Drehschemel wurde durch einen Plattenspieler ersetzt, bei dem ein Reibrad zwischen der Unterseite des Drehtellers und der konischen Antriebsachse so hin und her bewegt werden kann, dass sich eine kontinuierliche Verstellung der Drehzahl des Tellers in den Frequenzbereichen 0,25-1,33 Hz (15-80 Umdrehungen pro Minute) bewerkstelligen lässt. Als Versuchsgefäß diente eine stabile Plastikschüssel mit senkrechten Wänden von 0,28 m Innendurchmesser. Die Versuche wurden mit einem rund  $3,5 \cdot 10^{-3}$  kg schweren „Kontinent“ begonnen. Sein Massenschwerpunkt lag ca.  $1,6 \cdot 10^{-2}$  m über dem Schwerpunkt der Auftriebskräfte<sup>30</sup> (Abb. 3).

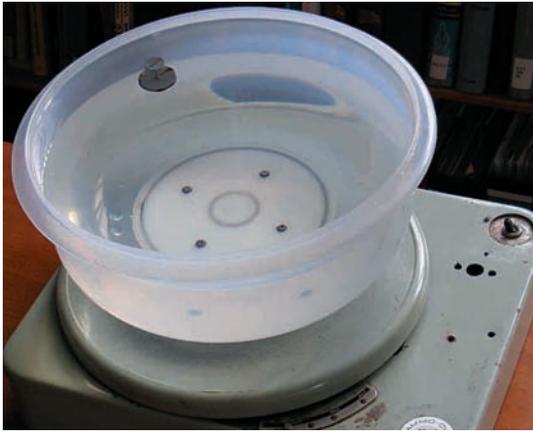


Abb. 3: Die Anordnung für den Lely-Versuch – simple Elemente, überraschende Wirkung.

Die Vermutung einer besonderen Störempfindlichkeit des Versuchs erwies sich als unbegründet. Bei Frequenzen um 0,3 Hz und dem oben erwähnten „Kontinent“ zeigte er eine erstaunliche Robustheit gegen Anfangswerte und Randbedingungen. Weder schlechtes Einsetzen des Probekörpers in das Wasser im Randbereich des Gefäßes noch grobes Umstoßen desselben im Zentrum konnten den Erfolg des Versuches verhindern. Allerdings war das Gefäß sehr genau zentriert.<sup>31</sup>

Eine eindrucksvolle Variante zu dem Einsetzen per Hand in das sich schon mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierende Wasser ist das Hochfahren der Drehzahl aus der Ruhe. Zunächst verharrt der „Kontinent“ an der Wand des Gefäßes, um dann, nachdem sich die Wassermasse in den der Rotation entsprechenden Gleichgewichtszustand begeben hat, dem Zentrum zuzustreben, wenn der Schwerpunkt des Körpers oberhalb des Auftriebspunktes lag. Natürlich lässt sich auch zeigen, dass der „Kontinent“ an der Gefäßwand liegen bleibt, wenn er hier mit dem Schwerpunkt nach unten eingesetzt wurde.<sup>32</sup>

Auf einen Punkt darf an dieser Stelle hingewiesen werden: Es war nicht einfach, z.B. die Wanderungsgeschwindigkeit des „Kontinents“ sauber zu messen. Dazu erwiesen sich über das Gefäß gespannte Messhilfen als nützlich.

## SCHLUSSBEMERKUNG

Das Deutsche Schifffahrtsmuseum mit seiner großen Ausstellung zur Geschichte der Meeres- und Polarforschung oder ein Museum zur Geschichte der Geowissenschaften böten einen geeigneten Ort zur Demonstration des Versuches, der dazu allerdings automatisiert werden müsste.<sup>33</sup>

Auch wenn die Polflucht-Kraft und die damit möglicherweise verbundenen Phänomene in den aktuellen Geowissenschaften keine Rolle mehr spielen, ist es der Lely-Versuch allemal wert, vorgeführt zu werden. Es ist auch nicht zu erwarten, dass z.B. Studenten bei der genaueren Analyse des Versuches und bei der Diskussion seines Analogons unterfordert werden.

Ein anderer Gesichtspunkt darf hier noch angeführt werden. Selbst wenn in der Vergangenheit die Polflucht als nicht hinreichend „ausgesondert“ wurde, könnte die Beschäftigung

damit möglicherweise neue Aspekte kreieren.

„Global Change“ ist seit 15 Jahren ein beherrschendes Thema. Aber es ist in einem permanenten Wandel begriffen, was sich darin dokumentiert, dass sich die Schwerpunkte der Argumentationen verschieben. Dieses zeigte sich beispielhaft an der übrigens ebenfalls von Wegener bzw. Köppen propagierten, von Milutin Milankovitsch (1879-1958) ausgearbeiteten Theorie von der Variation der Erdbahnparameter und den daraus resultierenden Schwankungen des Strahlungshaushalts sowie den davon abgeleiteten Einflüssen auf das globale Klima.

## ENDNOTEN

<sup>1</sup> Wegener benutzte die Begriffe Kontinentalverschiebung und Kontinentverschiebung (ab WEGENER 1929) und nennt seine Idee Verschiebungstheorie. Er gebraucht diesen Begriff analog zu dem damals unter Geologen verwendeten Begriff Kontraktionstheorie, mit der ein hypothetisches Schrumpfen der Erdkugel bezeichnet wurde. Der Begriff Theorie wird hier sehr frei verwendet, denn es handelt sich nicht um ein Gebilde wie z.B. Maxwells Theorie, die, zwar eingeschränkt durch eine Serie von Randbedingungen, dann aber innerhalb dieses Rahmens beobachterunabhängig reproduzierbare Ergebnisse liefert. Auch bei einer freieren Interpretation des Begriffes Theorie müsste man von einer solchen erwarten, dass sie ein in sich geschlossenes Erklärungsmuster liefert, was für Wegeners Verschiebungstheorie aber nicht zutrifft. Verschiebungshypothese wäre jedenfalls ein besserer Ausdruck gewesen. Wenn im Folgenden der Begriff Verschiebungstheorie verwendet wird, geschieht dieses im Sinne der Wegenerschen Publikationen. Der Ausdruck, der in BASCHIN (1927: S. 223) gebraucht wird – ein harmonisches Lehrgebäude – ist verklärend und sachlich nicht zutreffend.

In FRISCH & MESCHÉDE (2007) findet man auf S. 10 den Satz: *Statt Wegeners nicht ganz korrektem Begriff „Kontinentalverschiebung“ verwenden wir die Bezeichnung „Kontinentverschiebung“.* Wegener betreffend ist die Aussage nicht richtig. In der 4. Auflage von *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (WEGENER 1929), die bis 1962 unverändert nachgedruckt wurde, hat Wegener den Begriff Kontinentalverschiebung systematisch ausgemerzt! Er taucht hier nur noch zweimal im Text als fremdes Zitat auf und im Literaturverzeichnis in fremdem Titeln.

Vielleicht ist dieses auch der richtige Ort, um darauf hinzuweisen, dass der oft zitierte, Wegener zugeschriebene Begriff *Pangäa* nicht in Wegener (1915 und 1929) benutzt wird. *Pangäa* findet man nur in Wegener (1920 und 1922; S. 120, 131).

<sup>2</sup> Das AWI hat 2005 einen zusammengebundenen Nachdruck von WEGENER (1915, 1929) herausgegeben, der gesondert als WEGENER 1915/29 zitiert wird. Zu den Besonderheiten dieser Ausgabe s. unter Literatur.

<sup>3</sup> Eine Bestätigung dieser Ansicht kann man in der detaillierten Buchbesprechung BASCHIN (1929) vermuten.

<sup>4</sup> Wegener hat selbstverständlich gewusst, dass die Drift nie und nimmer durch ein bisher unbekanntes elementares

- physikalisches Gesetz zu beschreiben sein würde, sondern er vermutete mehrere Ursachen und hat auch in WEGENER (1929: S. 60, 184) schon von *Konvektionsströmungen im Sima* gesprochen.
- <sup>5</sup> Messprogramme, die im Rahmen des „3. IPY“ – des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGY) – durchgeführt wurden, haben hierzu erheblich beigetragen.
- <sup>6</sup> Wegener hat die generelle Unterscheidung zwischen Kontinent und Meeresboden zunächst auf der Basis der von Otto Krümmel (1854-1912) verbreiteten Hypsometrischen Kurven getroffen. Da man aber das Sima nicht systematisch direkt beproben konnte, blieb dieses Konzept strittig – vgl. die ausführliche Diskussion in SCHULZ (1921: S. 241-246), wo auch schon die magnetischen Eigenschaften des Simas eine Rolle spielen!
- <sup>7</sup> Auf dem Rücken wurden zudem erhöhte geothermische Flussraten gemessen.
- <sup>8</sup> „Sea-floor spreading“ (Meeresboden-Spreizung) und „subduction“ (Subduktion) bedeutet, dass permanent neue ozeanische Kruste gebildet wird und entsprechend Kruste wieder verschwindet. Der Zusammenhang dieses Vorganges mit der relativen Bewegung der Kontinente zueinander, soll im folgenden nicht diskutiert werden. Allein aus der Subduktion folgt die prinzipielle Richtigkeit der Wegenerschen Vorstellung. Die Sialschollen treiben auf dem Sima. Genau das hat Wegener postuliert. Die Spreizungslinien bzw. Plattengrenzen kannte er allerdings nicht. Er benennt in WEGENER (1915: S. 43) zwei Arten der Fortbewegung der Scholle. Erstens – die Scholle fährt über das Sima, d.h. auf sie wirkt eine Kraft, die nicht auf das Sima wirkt und sie durch das Sima treibt oder zweitens – die Scholle treibt passiv mit bzw. in einer Simaströmung. Letzteres ist im Prinzip die Sicht der Plattentektonik. Dass es sich bei der Simaströmung um räumlich und zeitlich variable Strömungen handelt, z.B. um Ausgleichsströmungen, wird von Wegener an mehreren Stellen zum Ausdruck gebracht (WEGENER 1915/29-2005).
- <sup>9</sup> Ursprünglich, so Wegeners Vorstellung, hatte das leichtere Sial-Material den gesamten Globus eingehüllt. Diese Hülle war dann aufgerissen, Bruchstücke hatten sich durch Zusammenschub verdichtet, wodurch die darunter liegende Sima-Schicht teilweise entblößt wurde. Daher mussten nach Wegeners Vorstellung die Kontinente im Sima schwimmen. Eine der heutigen Lehrmeinung entsprechende Mantelschicht (lithosphärischer Mantel), auf der sowohl die kontinentale als auch die ozeanische Kruste auflagen, hat er nicht postuliert (zum prinzipiellen Krustenaufbau im Sinne der Plattentektonik vergleiche z.B. die Darstellungen in FRISCH & MESCHÉDE 2007: S. 14).  
Sieht man einmal davon ab, dass Wegener den Punkt der verschiebenden Ursachen nicht klären konnte, besteht eine weitere Abgrenzung seiner These gegenüber der modernen Plattentektonik darin, dass er annahm, die Kontinentblöcke würden alleine über den Untergrund driften oder in einer Strömung treiben. Platten, die sowohl ozeanische als auch kontinentale Kruste enthielten, kannte er nicht. Daher geriet er natürlich auch im Zusammenhang mit der Deutung der damals nicht mehr wegzuleugnenden ozeanischen Rücken in massive Probleme.
- <sup>10</sup> (1) Der Widerstand interplanetarischer Gase etc. – *kosmische Kräfte*.  
(2) *Flutkräfte* auf Grund von Wechselwirkungen mit anderen Körpern im Weltraum (Gezeitenströmungen).  
(3) Exogene thermische Einflüsse – Wind, Meeresströmungen usw.  
(4) Magnetische Verschiebungskräfte, die sich aus den unterschiedlichen Lagen des Rotationspols und des Magnetpols ergeben.  
(5) Umorientierung der Abplattung der Erde (klimatische Ursachen?!).  
(6) Horizontale Gravitationskomponenten.  
(7) *Polflucht des Landes*.
- <sup>11</sup> Lóránd Eötvös (1848-1919)
- <sup>12</sup> Damian Kreichgauer (geb. 1859), Pater, Geologe und Physiker – promovierte mit einer Arbeit zur Messung von Trägheitsmomenten. K. soll als erster eine äußere Kugelschale postuliert haben, die sich als Ganzes über den Globus verschiebt, (KOEPPEN 1921: S. 145; vgl. auch KAYSER 1912: S. 12, Fußnote 2, wonach Evans der Urheber dieser Idee sein soll). Dieser Gedanke ist von verschiedenen Forschern aufgenommen worden, speziell auch von Wegener, der diesen z.B. in WEGENER (1929, Kapitel 8) breit diskutiert. Mit dieser Idee hat erneut C. Hapgood für Furore gesorgt (HAPGOOD 1958). Sein Buch erschien mit einem Vorwort von Albert Einstein.
- <sup>13</sup> Wegener weiß, dass die Faltung des Himalaya rezent ist. Daher muss derzeit Eurasien gegen das im Sima Widerstand findende Vorderindien drängen. Das scheint allerdings, freundlich formuliert, ein eher improvisiertes Argument zu sein.
- <sup>14</sup> Diese Diskussion übernimmt er auch in die dritte Auflage (WEGENER 1922). Erst in WEGENER (1929: S. 181) äußert er sich bestimmter.
- <sup>15</sup> Das liest sich in WEGENER (1920: S. 122) wie folgt: ... *die Westwanderung kann meines Erachtens durch die ablenkende Kraft der Erdrotation zwangsläufig mit der Polflucht verknüpft sein, so dass die Bewegung der Kontinental-schollen - auch ursächlich - Ähnlichkeit mit der der Passatwinde bekäme*.
- <sup>16</sup> Diese Arbeit, die schon eingangs erwähnt wurde, gibt nicht nur eine Erläuterung zu der Polflucht/Polfluchtkraft, auf die R.v. Eötvös bereits 1912 auf der 17. allgemeinen Konferenz der internationalen Gradmessung in Hamburg ... hingewiesen hatte (WEGENER 1915/29-2005, S. 117). Sie beschäftigt sich auch sehr ausführlich mit der Polverlagerung (Polwanderung). Die hier gegebene, aus elf Punkten bestehende Zusammenfassung, liest sich wie ein Programm der Kontinentalverschiebungstheorie.
- <sup>17</sup> Gleichbedeutend: über dem Schwerpunkt der verdrängten Sima-Masse.
- <sup>18</sup> Ergänzend darf daran erinnert werden, dass die Erdoberfläche als Äquipotentialfläche zu betrachten, nicht bedeutet, dass der Betrag der Erdbeschleunigung  $g$  auf ihr überall gleich ist. Zwar steht der Vektor  $g$  an jeder Stelle senkrecht

auf der Äquipotentialfläche aber der Betrag von  $g$  variiert als Funktion der Breite  $\varphi$ : In einfachster Näherung gilt  $g = g_{\text{Äquator}} (1 + \alpha \sin^2 \varphi)$ , wobei  $\alpha$  eine Konstante symbolisiert (vgl. Kertz 1969, S. 94). Eine Äquipotentialfläche kennzeichnet die Fläche gleicher potentieller Energie pro Masseneinheit  $\Phi$ . Für die Beschleunigung, Vektor  $\mathbf{g}$ , gilt aber: Vektor  $\mathbf{g} = -\text{grad } \Phi$ . Mit einem vorgegebenen Energiebetrag, mit dem man z.B. einen Probekörper aus dem Erdinneren in der Rotationsachse genau bis zur Oberfläche schieben könnte, käme man längs eines Radius in der Äquatorebene rund 22 km weiter. Man beachte, dass die oben gegebene Formulierung für  $g(j)$  analytischen Ursprungs ist. Die empirische Bestätigung dieses Gesetzes mittels Gravimeter könnte man als ein statisches Experiment zur Bestätigung der Erdrotation interpretieren.

Dass Gravitationsanomalien auch mit Waageexperimenten nachgewiesen werden können, hat Lorand v. Eötvös (1848-1919) im übrigen eindrucksvoll nachgewiesen.

Wie man erkennt, leitet sich die Polfluchtkraft aus der Inhomogenität des Feldes über die Vertikalausdehnung eines in der Äquipotentialfläche schwimmenden Körpers z.B. eines Kontinents ab. Dass aber für diesen Fall der Massenschwerpunkt des betrachteten Körpers nicht mehr mit dem Angriffspunkt externer Kräfte zusammenfällt, ist nach dem Verständnis des Verfassers bei der Ableitung der Polflucht nie berücksichtigt worden. Natürlich ist auch der Auftriebspunkt nicht mehr mit dem geometrischen Mittelpunkt der eingetauchten Körpers identisch, wenn dieser in einem Untergrund von inhomogener Beschaffenheit (räumlich variiertes spezifisches Gewicht) schwimmt.

<sup>19</sup> Für eine Kugel mit homogener oder sphärisch homogener Massenverteilung kann es zunächst keine ausgezeichnete Hauptträgheitsachse geben. Jede Achse, die durch den Kugelmittelpunkt geht, kann eine freie Rotationsachse werden. Bei der plastisch verformbaren, frei rotierenden Erdkugel muss sich, der Rotationsfrequenz entsprechend, ein „Äquatorwulst“ ausbilden. D.h. die einmal angenommene Rotationsachse generiert eine Hauptträgheitsachse. Wie stabil diese gegen Störungen ist, wird nicht diskutiert (dazu vgl. KIRSCH 1938: S. 79-102)

<sup>20</sup> Z.B. Variation der Abstrahlung der Sonne, Variation der Erdbahnparameter, Variation der Atmosphärenzusammensetzung und der Albedo des Erdkörpers u.ä. Folgen sind u.a. Variation der globalen Vereisungen, Meeresströmungen, Vegetation usw.

<sup>21</sup> WEGENER (1922) ist nach Ansicht des Verfassers die wissenschaftlich ambitionierteste der vier Auflagen. Das könnte damit zusammenhängen, dass erst nach dem Erscheinen der zweiten Auflage die Diskussion um Wegeners „Theorie“ richtig entbrannte. Wegener hat sich bei Vorträgen am 19. und 21. Februar 1921 in Berlin und auf dem XX. Deutschen Geographentag in Leipzig (16.-19. Mai 1921 – *der erste seit Kriegsbeginn*) öffentlich der einschlägigen Wissenschaftsprominenz gestellt (Schulz 1921b). Man beachte, dass *Die Klimate der Geologischen Vorzeit* (KÖPPEN & WEGENER 1924) noch nicht erschienen war. Wegener dürfte aus diesen Diskussionen im Jahre 1921 viel gelernt haben, was dann in WEGENER (1922) seinen Niederschlag gefunden hat. WEGENER (1922) wurde zweimal ins Russische (1923, 1924), ins Englische (1924), Französische (1924), Spanische

(1924) und Schwedische (1926) übersetzt. Die internationale Debatte setzte allerdings speziell in England schon Ende 1922 ein (WRIGHT 1923 cum lit.) d.h. zwei Jahre bevor die dritte Auflage im großen Maßstab als Übersetzung auf den Markt kam.

Interessant ist, dass Wegener schon 1921 konstatieren konnte, dass einige Wissenschaftler seine Theorie systemkonform diskutieren, d.h. diese bereits grundsätzlich angenommen hatten. In einem kleinen Artikel, der sich mit einem Vortrag Wegeners beschäftigt (Schulz 1921b, S. 529), liest man: *A. Wegener legte kurz die Hauptgedanken seiner Theorie der Kontinentalverschiebung dar. Die Diskussion, an der sich Koßmat, v. Drygalski, Kohlschütter, Klute, Brückner, Sapper beteiligten, zeigte deutlich, daß durchschlagende Gründe gegen die so überaus bedeutungsvolle Hypothese bislang nicht vorhanden sind, sie vielmehr durch die Neubearbeitung des Wegenerschen Buches wesentlich an Boden gewonnen hat.*

<sup>22</sup> Vgl. auch KRAUSE & THIEDE (2005: S. 396). Die einzige bekannte neuere Bewertung der Ableitung von Epstein s. KERTZ (1981: S. 25).

<sup>23</sup> Den Begriff Polwanderungen (Polverschiebungen) diskutiert Wegener bereits in WEGENER (1915: S. 87). Er deutet ihre Geschichte an und benennt die derzeitigen Protagonisten der Theorie (Neumayr, Nathorst, Kreichgauer, Jacobitti, Reibisch, Simroth). Wegener erwähnt, dass die Verschiebungstheorie eher eine physikalische Ursache für die Polwanderung liefern kann als etwa geologische Ursachen. Dass Polwanderungen und Kontinentverschiebungen sich gegenseitig bedingen, hat erstmals Wladimir Köppen ganz deutlich in seiner Rezension zu WEGENER 1920 herausgestellt (KOEPPEN 1920). Offensichtlich ist, dass die These von mehr oder weniger ausgeprägten Polwanderungen unter Geologen in den 1920er Jahren allgemein anerkannt war, was man allerdings nicht von der Drifttheorie behaupten kann.

Man hätte die Driftthese noch prinzipieller entscheiden können, lässt man Isostasie zu, muss man auch Kontinentdrift für möglich halten. Allein die Hebung der skandinavischen Länder benötigt Simavolumina in der Größenordnung 10-30 km<sup>3</sup> pro Jahr zur Kompensation des Austauschvorganges (1 m pro Jahrhundert).

<sup>24</sup> Der offensichtliche Widerspruch zu älteren Äußerungen erklärt sich dadurch, dass inzwischen eine zweite Auflage zu KREICHGAUER (1902) erschienen war (KREICHGAUER 1926). In dieser Auflage druckt Kreichgauer auf S. 41 einen Artikel aus dem Jahre 1900 ab (erschienen in der Zeitschrift *Natur und Offenbarung?*), den Wegener als sachlich richtige Erklärung akzeptiert.

<sup>25</sup> In WEGENER (1929) wird die Polflucht tendenziell zurückhaltender als in WEGENER (1922) diskutiert. Beibehalten wird der Abschnitt über die Westwanderung mit den Überlegungen Schweyders, dass Fließbewegungen im Sina existieren könnten. Diese Überlegungen baut Wegener aus (WEGENER 1922: S. 138; 1929: S. 183). Er sieht hier Kräfte, die zu einer Abweichung der Erdgestalt von der hydrostatischen Gleichgewichtsfigur führen können. Dadurch lassen sich nicht nur Trans- und Regressionen erklären, sondern es würden auch *Gefälle* auftreten, die wesentlich größer sind

als die mit der Polflucht im Zusammenhang stehenden. Sie wären hinreichend, um Gebirgsfaltungen zu erzeugen, die, sofern man nur die Polfluchtkraft berücksichtigt, schwer dazustellen wären.

<sup>26</sup> KIRSCH (1938) ist Alfred Wegener gewidmet.

<sup>27</sup> Der Begriff „Polwanderung“ ist allerdings noch lebendig.

<sup>28</sup> Lelys „Ableitung“ des Versuches dürfte heute nur wenigen Personen zugänglich sein.

<sup>29</sup> Eine alternative Argumentation wäre: Die den „Kontinent“ im Schwimmgleichgewicht stützenden Kräfte kann man sich im Auftriebspunkt vereint denken, die auf ihn wirkenden Massenkräfte in seinem Schwerpunkt. Bei der im Laborsystem rotierender Wasserfläche wird diese zu einem Paraboloid. Der Kontinent wird gekippt, wodurch ein oberhalb des Auftriebspunktes liegender Schwerpunkt näher an die Rotationsachse rückt. Die Zentrifugalkräfte sind nun zu klein, um das Abgleiten des Kontinents von der „schrägen“ Wasserebene zu kompensieren; er treibt zum Zentrum. Umgekehrt – wenn der Schwerpunkt unterhalb des Auftriebspunktes liegt – ist dieser weiter vom Zentrum entfernt als der Auftriebspunkt. Die Zentrifugalkräfte sind hier größer als am Auftriebspunkt und damit größer als die Kraftkomponente, die durch die „schräge“ Ebene erzeugt wird. Der Kontinent wandert nach außen, bis er am Rand der Schale relativ zu dieser zur Ruhe kommt. Ein „Schwimmkörper“ kann auf einer rotierenden Wasserfläche nur dann zur Ruhe kommen, wenn die Differenz des spezifischen Gewichtes der Tragflüssigkeit und der des Körpers gegen null geht. Auf der Basis vorstehender qualitativer Betrachtung hat Herr Dipl. Phys. Klaus Ohm, Bremerhaven, den Versuch analytisch beschrieben.

<sup>30</sup> Herrn Dipl. Phys. Klaus Ohm sei für die Herstellung mehrerer „Kontinente“ herzlich gedankt.

<sup>31</sup> Der Werkstatt des AWI sei für ihre sorgfältige Arbeit ausdrücklich gedankt.

<sup>32</sup> An dieser Stelle muss eine Bemerkung eingefügt werden. Nach längeren Spielereien mit verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten, Probekörpern usw. geschah es, dass der aufrecht schwimmende „Kontinent“ an der Gefäßwand hängen blieb. Erst, nachdem ein Papierblatt zwischen ihn und die Wand gebracht worden war, begann er seine Drift. Natürlich war dieses kein Problem der Oberflächenspannung des Wassers, denn dann wäre das Phänomen sicher schon zuvor beobachtet worden. Wir gehen bis jetzt davon aus, dass es sich um einen elektrostatischen Effekt gehandelt hat. Wir konnten das Phänomen bei späteren Versuchen nicht reproduzieren.

<sup>33</sup> In diesem Zusammenhang ist uns ein kleiner Coup gelungen, der aber nicht zuletzt wegen des leicht dubiosen Ablaufes, in eine Endnote verbannt werden muss: Wir haben dem Kontinent eine winzige Unwucht gegeben. Im Zentrum angekommen – wenn er sich nur noch um seine Hochachse dreht – beginnt er dann nach einigen Sekunden zunehmend zu taumeln, um dann, auf Grund seiner schlechten Stabilität, bald zu kentern. Wie von Geisterhand geführt, nimmt er

dann seinen Marsch zum Gefäßrand auf. Selbstverständlich dreht sich der „Kontinent“ von Beginn des Versuches an mit der Frequenz des Drehtellers. Offenbar wird das Taumeln zunächst aber durch die Fliehkräfte der Bahnbewegung gedämpft.

#### Literatur

- Anderson, A.H. (1974): Die Drift der Kontinente.- Brockhaus, Wiesbaden, 1-191.
- Baschin, O. (1927): Die geographische Bedeutung der Polflucht.- *Petermanns Geograph. Mitteil.* 1927: 223-224.
- Baschin, O. (1929): Besprechungen: Wegener, Alfred, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.- *Die Naturwissenschaft* 17(17): 275-278.
- Demhardt, I.F. (2005): Alfred Wegener: The Theory on continental drift and its discussion in "Petermanns Geographische Mitteilungen" (1912-1942).- *Polarforschung* 75: 21-27.
- Epstein, P.S. (1921): Ueber die Polflucht der Kontinente.- *Die Naturwissenschaften* 9 (25): 499-502.
- Frisch, W. & Meschede, M. (2007): Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung- Primus-Verlag, Darmstadt, 1-196.
- Hess, H.H. (1962): History of ocean basins.- In: A.E. Engel et al. (Hrsg), *Petrologic Studies - A volume to honor A.F. Buddington*, Geol. Soc. Amer., 599-620, (hier deutsche Übersetzung in Reinhard Schönerberg (Hrsg), *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane in heutiger Sicht*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 30-54.
- Kertz, W. (1969): Einführung in die Geophysik.- Bd. 1, BI Mannheim, 1-232.
- Kertz, W. (1981): Wegeners "Kontinentalverschiebungen" zu seiner Zeit und heute.- *Geol. Rundschau* 70: 15-32.
- Kirsch, G. (1938): Geomechanik - Entwurf zu einer Physik der Erdgeschichte.- Barth Leipzig, 1-151.
- Köppen, W. (1920): Über Polwanderungen, Kontinentverschiebungen und Klimageschichte.- *Meteorol. Zeitschrift* 37: 347.
- Köppen, W. (1921): Ursachen und Wirkungen der Kontinentverschiebungen und Polwanderungen.- *Petermanns Geograph. Mitteilungen* 67: 145-149, 191-194.
- Köppen, W. & Wegener, A. (1924): Die Klimate der geologischen Vorzeit.- Borntraeger Berlin, 1-255.
- Krause, R. & Thiede, J. (Hrsg) (2005): Kontinental-Verschiebungen, Originalnotizen und Literaturauszüge, Alfred Wegener.- *Ber. Polarforsch. Meeresforsch.* 516: 1-419.
- Krause, R. & Thiede, J. (2006): Alfred Wegener, Geowissenschaftler aus Leidenschaft.- *Deutsches Schiffsarchiv* 28: 299-326.
- Kreichgauer, P.M. (1902): Die Äquatorfrage in der Geologie.- *Missionsdruckerei in Steyl*, 1-394.
- Kreichgauer, D. (1926): Die Äquatorfrage in der Geologie.- *Missionsdruckerei Steyl*, 1-301. Zweite umgearbeitete Auflage.
- LeGrand, H.E. (1988): *Shifting continents and shifting theories*.- Cambridge, 1-313.
- Lely, U.P.H. (1927): Een Proef, die de Krachten demonstreert, welke de Continentendrift kann veroorzaken.- *Physica*, Amsterdam, 278-281.
- Marvin, U.B. (1973): *Continental drift - the evolution of a concept*.- Smithsonian Inst. Press, Washington, 1-239.
- McCoy, R.M. (2006): *Ending in Ice*.- Oxford, 1-193.
- Runcorn, S.K. (1962): *Continental drift*.- New York, 1-338.
- Schulz, B. (1921a): Die Wegenersche Theorie der Entstehung der Kontinente und Ozeane.- *Die Naturwissenschaften* 9 (15): 241-250.
- Schulz, B. (1921b): Geographische Mitteilungen. Der XX. Deutsche Geographentag in Leipzig vom 16.–19. Mai 1921.- *Die Naturwissenschaften* 9 (27): 529-530.
- Waterschoot, W.A.J.M. van der Gracht (1928): *Theory of continental drift - a symposium on the origin and movement of landmasses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred Wegener*.- Tulsa, London, 1-240.
- Wegener, A. (1915): *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.- Vieweg Verlag, Braunschweig, 1-94.
- Wegener, A. (1920): *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.- Vieweg Verlag, Braunschweig, 1-135.
- Wegener, A. (1922): *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.- Vieweg Verlag, Braunschweig, 1-144.
- Wegener, A. (1929): *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.- Vieweg Verlag, Braunschweig, 1-231.
- Wegener, A. 1915/29 (2005): Alfred Wegener, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Nachdruck der 1. und 4. Auflage; Hrsg. AWI), Gebr. Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 1-481.
- Wright, W.B. (1923): The Wegener hypothesis.- *Nature* 111: 30-31.
- ZGEB Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, (1921): 89-143.