

## Werk

**Jahr:** 1939

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:15

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0015

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0015](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015)

**LOG Id:** LOG\_0072

**LOG Titel:** Die Bewegung der Kontinente und die Köppen-Wegenersche Polkurve

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

Die oben gewonnenen mittleren Atomgewichte  $\mu = 2.2$  für den Gasball und  $\mu = 8.5$  für das Kerngas der Erde deuten einen starken Gehalt an Protonen bzw. Neutronen, d. h. Wasserstoffkernen an, der aber bei der Verdichtung unter Bildung schwerer Atomkerne sich vermindert hat. Dabei geht sicher auch die Homogenität des Erdgases verloren, so daß man nicht mehr über den ganzen Halbmesser mit derselben spezifischen Wärme von  $0.575$  rechnen kann, die mit dem mittleren Energieinhalt der Erdkugel von  $7720 \text{ cal g}^{-1}$  auf eine mittlere Temperatur von rund  $13500^{\circ}$ , also etwa der Hälfte der Zentraltemperatur, führen würde. Jedenfalls aber ist die vielfach verbreitete Annahme eines mehr oder weniger festen Nickel-Eisenkerns der Erde mit dem obigen Atomgewicht unvereinbar. Die aus Erdbebenwellen erschlossene Elastizität und Starrheit der Erde erklärt sich einfach aus der nach Versuchen von Bridgman festgestellten enormen Zunahme der Zähigkeit mit dem Druck und der Temperatur, die einen festen, wenn auch nicht kristallinen Zustand vortäuscht.

## Die Bewegung der Kontinente und die Köppen-Wegenersche Polkurve

Von **Ludwig Becker**, Prof. em. d. Astronomie, z. Z. Meran. — (Mit 10 Abbildungen)

Es wird gezeigt, daß die Köppen-Wegenersche Polkurve sich lückenlos beschreiben läßt, wenn man zur Zentrifugalkraft die Tatsache hinzunimmt, daß „Widerstandszentren“ die Bewegung der Kontinentalschollen hemmen. Die Ablösung der jetzt selbständigen Kontinente ergibt sich dann zwangsläufig zu den von Wegener angegebenen Zeitpunkten.

Eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit ist bereits in der Geologischen Rundschau\*) erschienen, wo auch die für den Geologen wichtigen Ergebnisse herausgestellt wurden. Hier wird nun der Gang der Rechnungen im einzelnen gezeigt und der Weg vorgeführt, auf dem man zu den bereits veröffentlichten Ergebnissen gelangt.

Ausgangspunkt ist die Köppen-Wegenersche Polkurve\*\*), deren Sinn sich hier auf Grund möglichst primitiver Voraussetzungen ergibt.

§ 1. *Voraussetzungen.* 1. Die relative Lagenänderung von Pol und dem Kontinentalblock, Afrika-Europa, rührt nach Wegener her von der Lagenänderung der Kontinente auf dem zum Pol ruhenden Sima-Sphäroid.

2. Die Lagenänderung der Kontinente wird veranlaßt durch die Wirkung der Zentrifugalkraft, auf Grund des Dichteunterschiedes zwischen Sima und Sial.

\*) Geologische Rundschau **30**, 304 (1939).

\*\*) Köppen-Wegener: Die Klimate der geologischen Vorzeit. S. 154, 227. Berlin 1924.

3. Beim frühesten Polpunkt (Karbon) bilden die Kontinente eine zusammenhängende Schale und haben die von Wegener angegebene Lage. (Selbst Fehler von  $10^\circ$  beeinflussen die Resultate nicht.)

§ 2. Die Grundgedanken der Rechnung. In dieser Arbeit wird nur festgestellt, ob die resultierenden Kräfte die richtige Richtung haben, *nicht ob sie zu einer Bewegung ausreichen*. Da die Zentrifugalkraft eine Bewegung des Schwerpunktes nur in der Meridianrichtung hervorrufen kann, müssen Widerstandszentren eingeführt werden, die die Bewegung des Kontinents hindern und ihn zum Drehen um diese Angelpunkte zwingen. Ohne Widerstandszentren ist eine Poländerung im Wegenerschen Sinne ausgeschlossen! Der Ort eines Widerstandszentrums folgt allein aus der Polkurve und liegt auf dem rechtwinklig zur Polkurve gezogenen jeweiligen Meridian. Zwei Drittel sämtlicher Widerstandszentren-Meridiane gehen durch Westasien, was immerhin bemerkenswert ist.

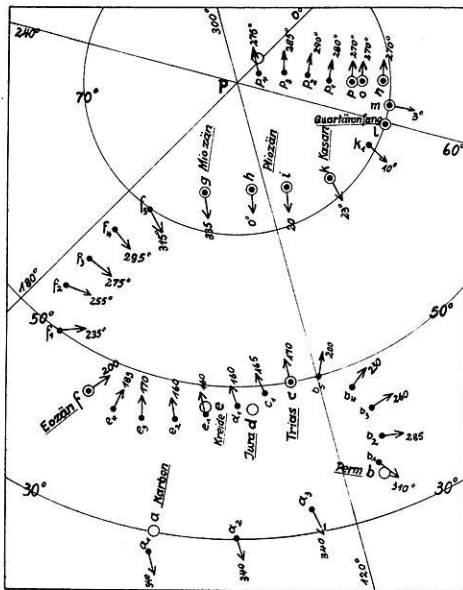


Fig. 1. Die Polkurve

Nun berechnet man auf Grund der Zentrifugalkraft die Drehmomente des Bezugsblockes Afrika-Europa-Westasien und von etwa fest damit verbundenen Kontinenten um das Widerstandszentrum. Der resultierende Drehsinn ist unabhängig von der jeweiligen Breite des Widerstandszentrums. Da ja der Drehsinn durch die Köppen-Wegenersche Polkurve bereits festgelegt ist, würde ein verkehrter Drehsinn einen Widerspruch bedeuten.

Der Drehsinn des Bezugsblockes kann beeinflusst werden durch zu lose Verbindung oder gar Ablösung eines Kontinents von dem Bezugsblock, da jener zum Drehmoment dann nicht mehr beiträgt. Es bietet sich damit ein Mittel, zu entscheiden, welche Kontinente mit dem Bezugsblock fest zusammenhängen müssen.

Im Laufe der Rechnungen zeigte sich, daß, etwa vom Eozän ab, der richtige Drehsinn nicht mehr darzustellen ist, es sei denn, daß die Voraussetzung (2) eine Erweiterung erfährt. Der Drehsinn kann nur umgekehrt werden, wenn man nun zuläßt, daß Teile der Kontinente *unter* dem hydrostatischen Gleichgewicht schwimmen. Wegener hat, auf Grund eines Experiments von U. P. Lely, bereits darauf hingewiesen, daß aus der Polflucht durch Verlagerung des Schwer-

punkts eine Äquatorflucht entstehen kann. Da verschiedene Ursachen für diese Gleichgewichtsstörung möglich sind, wurden drei verschiedene Fälle durchgerechnet.

Fall I: Da die Drehgeschwindigkeit und somit die Exzentrizität des Sima-Sphäroids fortlaufend abgenommen haben, kann die Exzentrizität des festen Sials etwas größer geblieben sein. Die Folge wäre, daß die Kontinente zwischen  $\pm 35^\circ$  Breite über dem Gleichgewicht und sonst unter dem Gleichgewicht schwimmen würden. Bei Fall I sei der Einfachheit halber die Abweichung vom Gleichgewicht überall gleich, zwischen  $\pm 35^\circ$  positiv, sonst negativ.

Fall II: Hier gilt dasselbe wie bei I, nur ist die Abweichung vom Gleichgewicht eine Funktion der Breite, eben wegen des Exzentrizitätsunterschiedes.

Fall III: Das Abtauen einer Eiskappe kann die gewünschte Störung hervorgerufen haben. Zwischen  $\pm 45^\circ$  Breite sei also keine Abweichung vom Gleichgewicht. Außerhalb  $\pm 45^\circ$  sollen die Kontinente um einen konstanten Betrag unter dem Gleichgewicht schwimmen. Die Grenze  $45^\circ$  kann ohne weiteres nach höheren Breiten verschoben werden, ohne das Gesamtergebnis zu beeinflussen.

§ 3. Die Polkurve. Köppen und Wegener haben die geographischen Längen und Breiten,  $\lambda^0$  und  $\Phi^0$ , von 16 Polpunkten angegeben, die sich auf das jetzige Gradnetz und auf Afrika und Europa, den Bezugsblock, beziehen, und somit die relative Lage vom Pol und diesen Kontinenten bestimmen. Die Genauigkeit der Polorte ist auf  $\pm 2^\circ$  geschätzt bei einem größten Fehler von  $5^\circ$ . Außer diesen Punkten,  $a, b, \dots q$ , werden zur Vervollständigung der Kurve noch 23 Zwischenpunkte eingeführt, die den obigen Bedingungen am besten genügen (Fig. 1).

Das Widerstandszentrum  $T$  (§ 2) ist durch den Bogen  $PP'$  bestimmt (Fig. 2), wo  $P$  den jeweiligen Pol und  $P'$  den nächstfolgenden Pol im jetzigen Gradnetz relativ zum Bezugsblock bedeuten. Die Längen ( $\lambda^0, \lambda^0$ ) im jetzigen System werden von Greenwich und die Längen ( $\lambda$ ) im jeweiligen System vom Meridian von  $P$  aus gezählt, so daß die jeweilige Länge von  $P^0$   $180^\circ$  beträgt. Die jeweilige Länge ( $\lambda'$ ) des Pols  $P'$  wird aus den Koordinaten,  $\lambda^0, \Phi^0$  von  $P$  und  $P'$  berechnet, womit die jeweilige Länge des Widerstandszentrums sich zu  $\lambda_T = \lambda' + 90^\circ$  berechnet. Die Pfeile in Fig. 1 zeigen die Richtungen der Widerstandszentren an. Die dazugehörigen Zahlen bedeuten die Werte von  $\lambda_T$ .

Durch negative Drehung von  $P$  um die Achse  $CT$  (Fig. 2) wird  $P$  in  $P'$  übergeführt. Daher ist eine positive Drehung des Bezugsblocks um  $CT$  erforderlich, damit dieser seine nächste Lage auf dem Sima-Sphäroid einnimmt. In Fig. 3 sind die Meridiane der Widerstandszentren im Laufe der Zeit eingezeichnet, und

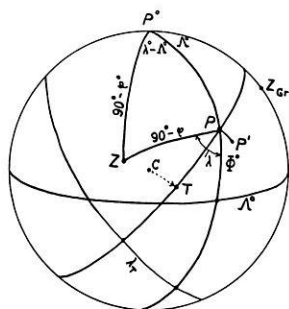


Fig. 2. Zur Berechnung der Widerstandszentren

zwar nur die Teile, die einen Kontinent zu der betreffenden Zeit schneiden. Je Meridian wurden 5 Punkte ( $\varphi = 0, \pm 30^\circ, \pm 60^\circ$ ) berechnet, die der Einfachheit halber mit Geraden verbunden wurden.

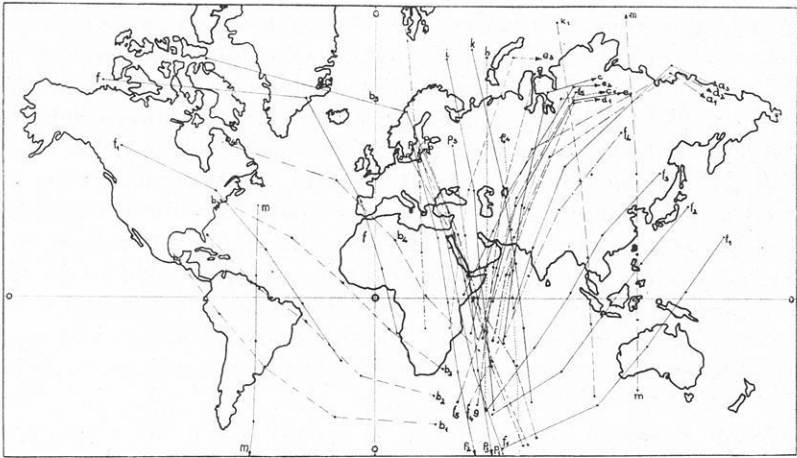


Fig. 3. Die Meridiane der Widerstandszentren

§ 4. *Die Kontinente.* Zwecks Berechnung der Zentrifugalkraft wurden die Kontinente durch 16 kreisförmige Kontinente ersetzt, nämlich der Bezugsblock

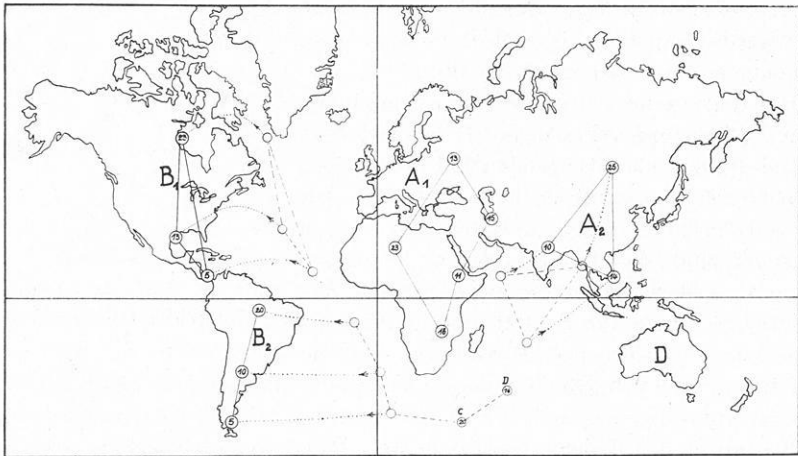


Fig. 4. Die Stellung der Kreiskontinente

(Afrika-Europa-Westasien)  $A_1$  durch fünf, der übrige Teil von Asien  $A_2$ , Nordamerika  $B_1$  und Südamerika  $B_2$  durch je drei, und die Antarktis  $C$  und Australien  $D$  durch je einen.

Fig. 4 zeigt die Mittelpunkte der Kreiskontinente im jetzigen Gradnetz, und zwar ihre Anfangsstellung und die in der Jetztzeit. Die Zahlen geben die Radien dieser Kontinente in Grad an. Fig. 5 gibt die Änderung der Breiten der Kreiskontinente im Laufe der Zeit wieder.

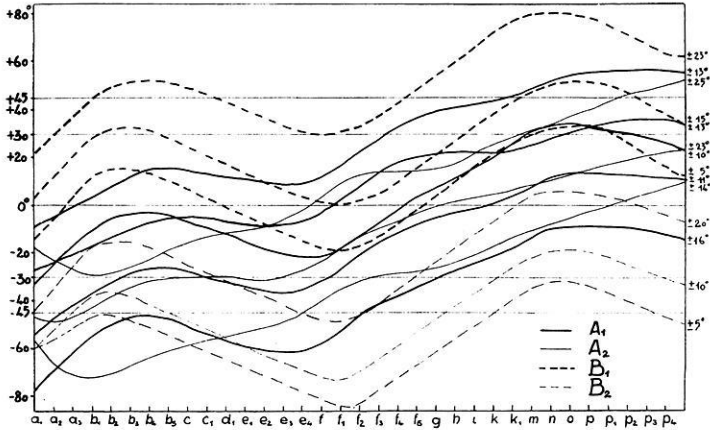


Fig. 5. Die Breitenänderung der Kreiskontinente

§ 5a. *Drehmoment eines Kontinentelements.* Fig. 6 zeigt im Meridianschnitt das Element  $dm_c$  eines Kontinents, der sich *unterhalb* des hydrostatischen Gleichgewichts befindet. Das Sima-Sphäroid wird von der Meridianebene in der Ellipse  $L'$  geschnitten, während für hydrostatisches Gleichgewicht die Ellipse durch  $L$  dargestellt würde. Die Differenz  $L - L'$  sei  $k$ .  $dm_c$  hat die Basisfläche  $dF$ , die Dicke  $H$  und die Dichte  $\rho_c$ . Der Schwerpunkt sei  $G_c$ . Das verdrängte Simaelement  $dm_s$  hat den Schwerpunkt  $G_s$  und die Dichte  $\rho_s$ . Beim hydrostatischen Gleichgewicht ragt der Kontinent um  $h$  über das Sima hinaus. Ferner bezeichnen  $\varphi_1$  und  $\varphi'_1$  die geographische bzw. die geozentrische Breite von  $dm_c$  und  $\lambda_1$  die geographische Länge. Dann ist  $G_s G_c = (h - k)/2$ . Die horizontalen Komponenten der Beschleunigung von  $G_s$  und  $G_c$  im jeweiligen Meridian sind:

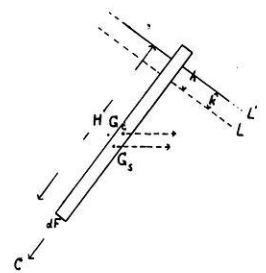


Fig. 6. Zur Berechnung der Zentrifugalkraft

$$r \cos \varphi'_1 \sin \varphi_1 w^2$$

und

$$(r + (h - k)/2) \cos \varphi'_1 \sin \varphi_1 w^2,$$

wo  $w$  und  $r$  Winkelgeschwindigkeit und Radius der Erde bedeuten. Da das Sima-Sphäroid sich im rotierenden Gleichgewicht befindet, so wirkt auf  $dm_c$  ein Drehmoment ( $dQ$ ) um eine Achse  $CQ$  (Fig. 7) im jeweiligen Äquator und in  $(\lambda_1 + 90^\circ)$

Länge. Drehmomente seien positiv gezählt, die gegen den Uhrzeiger, also hier nach wachsenden positiven Breiten, drehen. Es gilt dann:

$$(dQ) = - \left[ r + \frac{h-k}{2} \right]^2 \cos \varphi_1 \sin \varphi_1 \omega^2 d m_c + r^2 \cos \varphi_1 \sin \varphi_1 \omega^2 d m_s$$

und

$$d m_c = \rho_c H dF = \rho_s (H - h) dF,$$

$$d m_s = \rho_s (H - h + k) dF = \rho_c H \left( 1 + \frac{k}{H-h} \right) dF,$$

womit unter Vernachlässigung kleiner Größen:

$$(dQ) = - c (1 - \eta) \frac{\cos \varphi_1 \sin \varphi_1}{r^2 \pi} dF,$$

wo

$$c = \pi \rho_c H r^3 h \omega^2 \quad \text{und} \quad \eta = \frac{k \cdot r}{h(H-h)} \approx \frac{k}{30 \text{ m}}.$$

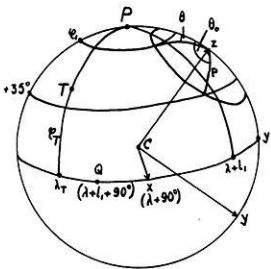


Fig. 7. Zur Berechnung der Drehmomente

Zur Berechnung von  $\eta$  wurden  $H = 5 \cdot 10^4$  m und  $h = 5 \cdot 10^3$  m angenommen.

Für Fall I und III (§ 2) gilt  $k = \text{const.}$  Bei Fall II ist  $k$  eine Funktion der Breite. Hier sei  $\delta a$  der Wert von  $k$  am Äquator. Wegen der Konstanz des Volumens des Sima-Sphäroids gilt nun bei Fall II:

$$k = \delta a (1 - 3 \cdot \sin^2 \varphi).$$

§ 5 b. *Drehmoment eines kreisförmigen Kontinents mit dem sphärischen Radius  $p$ .* Die  $z$ -Achse des rechtwinkligen Koordinatensystems sei auf den Mittelpunkt des Kontinents gerichtet, dessen jeweilige Länge  $\lambda$  und Breite  $\varphi$  ist (Fig. 7). Die  $x$ -Achse liege im jeweiligen Äquator bei  $(\lambda + 90^\circ)$  Länge. Der Meridian von  $z$  schneide den Äquator in  $y'$ . Die Länge von  $d m_c$  sei  $(\lambda + l_1)$ . Das zugehörige Drehmoment  $(dQ)$  hat also die Länge  $(\lambda + l_1 + 90^\circ)$ . Folglich sind die beiden Komponenten der gewünschten Drehmomente um die  $x$ -Achse und die  $y'$ -Achse:

$$(x) = \int \cos l_1 (dQ) \quad (y') = - \int \sin l_1 (dQ) = 0,$$

wo

$$dF/r^2 = \cos \varphi_1 d \varphi_1 d l_1$$

einzusetzen ist. Die Integration über die Fläche gibt dann für die Fälle I und III:

$$(x) = c (1 \mp \eta) f \cdot F(\theta),$$

wo

$$f = \sin^2 p \cos p \sin \varphi \cos \varphi$$

und

$$F(\theta) = \frac{1}{\pi} \left( \theta - \frac{1}{2} \sin 2 \theta + \frac{2}{3} \text{tg } p \cot \varphi \sin^3 \theta \right).$$

Der Sinn von  $\theta$  ergibt sich aus Fig. 7.

Fall I: Es gilt das negative Zeichen für den Teil des Kontinents, der zwischen den Polen und  $\pm 35^\circ$  liegt, das positive Zeichen zwischen  $\pm 35^\circ$ .

Es gibt nun drei Möglichkeiten:

$\alpha$ ) Die Parallelkreise  $\pm 35^\circ$  schneiden den Kontinent:

$$(x)/c = (1 - \eta) f \cdot [F(0) - F(\theta_0)] + (1 + \eta) f \cdot [F(\theta_0) - F(\pi)] \\ = f \cdot [\eta (2 F(\theta_0) - 1) - 1].$$

$\beta$ ) Der Kontinent liegt außerhalb  $\pm 35^\circ$ :

$$(x)/c = f \cdot (-1 + \eta).$$

$\gamma$ ) Der Kontinent liegt innerhalb  $\pm 35^\circ$ :

$$(x)/c = f \cdot (-1 - \eta).$$

Fall III: Es gilt das negative Zeichen für den Teil des Kontinents, der zwischen den Polen und  $\pm 45^\circ$  liegt, und für den übrigen Teil ist  $k$  gleich 0. Die drei Möglichkeiten, ähnlich wie oben, sind:

$$\alpha) (x)/c = (1 - \eta) f [F(0) - F(\theta_0)] + f [F(\theta_0) - F(\pi)] = f [\eta F(\theta_0) - 1]$$

$$\beta) (x)/c = (-1 + \eta) f.$$

$$\gamma) (x)/c = -f.$$

Für den Fall II, in der  $k$  eine Funktion der Breite ist, ergibt die Integration:

$$(x)/c = f(-1 + \eta F),$$

wo

$$F = 1 - 3 \cos^2 p \sin^2 \varphi - \frac{9}{4} \sin^2 p \cos^2 \varphi \quad \text{und} \quad \eta \approx \frac{\delta a}{30 \text{ m}}.$$

§ 5c. *Drehmoment eines kreisförmigen Kontinents um eine feste Achse CT.* Das Widerstandszentrum  $T$  habe die jeweiligen Koordinaten  $\lambda_T$  und  $\varphi_T$ . Das Drehmoment um  $CT$  ist:

$$(T) = (x) \sin(\lambda_T - \lambda) \cdot \cos \varphi_T.$$

Das Drehmoment eines aus mehreren, fest verbundenen, kreisförmigen Teilen bestehenden Kontinents ergibt sich somit zu:

$$(T) = \cos \varphi_T \sum_n (x)_n \sin(\lambda_T - \lambda_n).$$

Nach § 2 wird die Polkurve richtig wiedergegeben, wenn  $(T)$  stets positiv ist. Es muß also immer gelten:

$$\frac{1}{c} \sum_n (x)_n \sin(\lambda_T - \lambda_n) > 0.$$

§ 6. *Ergebnisse.* Die Fig. 8, 9 und 10 enthalten für die 34 Epochen  $a_1 \dots p_4$  als Ordinaten die Werte von  $(T) 10^3/c \cdot \cos \varphi_T$  für den Bezugsblock  $A_1$  allein, und in fester Verbindung mit anderen Kontinenten. Da nach § 2 und 4 der Dreh-



sinn positiv sein muß, um im Einklang mit der Polkurve zu sein, so zeigen positive Ordinaten an, welche Kontinente in fester Verbindung mit dem Bezugsblock sein können oder sein müssen. Wenn z. B. die Ordinate für Kontinent  $A$  ( $A = A_1 + A_2$ ) negativ und für  $A + B$  positiv ist, so muß  $B$  mit  $A$  fest verbunden sein, um im Einklang mit der Polkurve zu sein; wenn andererseits sowohl die Ordinaten für  $A$  als auch für  $A + B$  positiv sind, so ist die Möglichkeit der Verbindung vorhanden.

In Fig. 8 sind als Ordinaten die Drehmomente in den Epochen  $a_1$  bis  $f_2$  für  $A_1$ ,  $A$  ( $A_1 + A_2$ ),  $A + B$  ( $= A_1 + A_2 + B_1 + B_2$ ),  $A + B + C + D$  und  $A + B_1$  dargestellt. Die Ordinaten sind positiv im ersten und letzten Drittel, aber negativ in den mittleren Epochen mit Ausnahme der Ordinaten für  $A + B_1$ . Während also zuerst und zuletzt irgendeine der obigen Verbindungen der Kontinente die Wegenersche Polkurve erzeugen würde, ist es notwendig, daß von Epoche  $b_4$

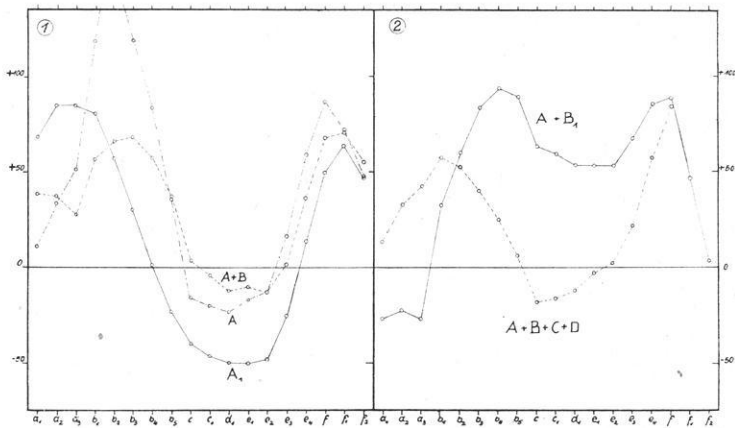


Fig. 8. Die Drehmomente der Epochen  $a_1$  bis  $f_2$

bis  $e_3$ , die auf die Kontinente  $B_2$ ,  $C$  und  $D$  (Südamerika, Antarktis und Australien) wirkenden Kräfte keinen Einfluß auf die Bewegung des Bezugsblocks hatten. Dagegen muß  $B_1$  (Nordamerika) mit dem Bezugsblock und Ostasien einen Block gebildet haben.

In den Epochen  $b_2$  und  $b_3$  gehen die jeweiligen Meridiane der Widerstandszentren durch Südamerika, und verschieben sich dann nach Osten und liegen während der Epoche  $c$  und  $e_2$  in Westasien; danach bewegen sich die Meridiane wieder zurück nach Westen (Fig. 3). In den Epochen  $c$  bis  $e_2$  ist auch ein Bestreben, von Süd- und Ostasien sich um die Widerstandszentren in Westasien von Ostafrika wegzudrehen.

Als Ergebnis sei also folgendes festgestellt: Von Epoche  $a$  bis  $b_3$  (Karbon bis Trias) waren sämtliche Kontinente fest mit dem Bezugsblock ( $A_1$ ) verbunden; von  $b_4$  bis  $e_3$  (Trias bis Eozän) hatten Südamerika ( $B_2$ ) mit der Antarktis ( $C$ ) und Australien ( $D$ ) keinen Einfluß auf die Drehung von  $A_1$ , was durch keine oder eine

zu lose Verbindung zwischen Nord- und Südamerika zu erklären wäre. In dieser letzten Periode würde sich auch Südamerika von Afrika entfernt haben. Vor Epoche  $f_2$ , vielleicht schon nach  $e_3$ , mußte die Verbindung von Süd- und Nordamerika oder von Südamerika mit dem Bezugsblock sich wieder befestigt haben (s.  $A + B_1$  und  $A + B$  bei  $f_2$ ).

In der Epoche  $f_2$  befand sich der Mittelpunkt der Antarktis auf dem Südpol. Da wegen der Polflucht Südamerika nach der einen und Australien nach der anderen Seite zog, konnten beide abreißen und nach Norden wandern. Südamerika erhielt somit wieder Anschluß an Nordamerika. Die Antarktis blieb liegen, da die Zentrifugalkräfte sich nun in ihr kompensierten. So werden in den späteren Epochen die Antarktis und Australien als von Südamerika und dem Bezugsblock abgelöst betrachtet.

Fig. 9 zeigt in den Feldern 3 bis 6 für  $A_1$ ,  $A_1 + B_1$ ,  $A_1 + B$ ,  $A + B$  getrennt die Drehmomente in den Epochen  $f_2$  bis  $k_1$ . Für  $\eta = 0$  (stark ausgezogene Linie)

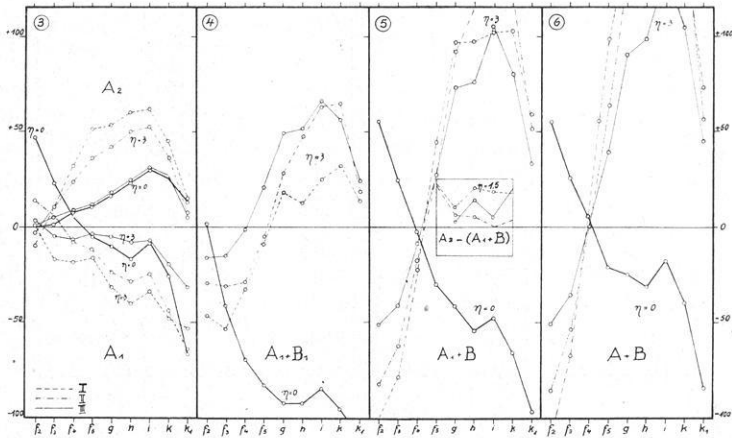


Fig. 9. Die Drehmomente der Epochen  $f_2$  bis  $k_1$

sind die Ordinaten in den meisten Epochen negativ, d. h. die Polkurve kann für diese Epochen nicht erklärt werden, wenn die Kontinente im hydrostatischen Gleichgewicht schwimmen. Fig. 9 gibt außerdem die Drehmomente für das Schwimmen unter dem Gleichgewicht, und zwar für  $\eta = 3$  in den drei oben durchgerechneten Fällen (I, II, III). Für Zwischenwerte von  $\eta$  ( $0 < \eta < 3$ ) kann man in jedem der behandelten Fälle zwischen den Grenzkurven linear interpolieren.

Nach Fig. 9/3 sind für alle  $\eta$  und während des größten Zeitraums die Drehmomente von  $A_1$  und  $A_1 + A_2$  negativ. Für  $A_1 + B_1$  und  $A_1 + B$  sind die Drehmomente in einem kleinen Bereich auch stets negativ. So fallen auch diese Kombinationen aus. Nur  $A + B$  kann stets positiv erhalten werden. So müssen Süd- und Nordamerika zum Drehmoment des Bezugsblocks beigetragen

haben, und zwar zunächst bis  $f_4$  mit  $\eta = 0$  und später mit wachsendem  $\eta$  (bis  $\eta \sim 4$ ) (Fig. 10). Dabei ist anzunehmen, daß Süd- mit Nordamerika und erst Nordamerika mit dem Bezugsblock verbunden waren. Man kann zeigen, daß zwischen den Epochen  $f_5$  und  $i$   $A_2$  (Ostasien) die Tendenz hatte, sich von Afrika wegzudrehen: Die zu  $A_2$  gehörigen Ordinaten (Fig. 9/3) sind positiv und für  $\eta = 1,5$  größer als die zu  $(A_1 + B)$  gehörigen positiven Ordinaten (Fig. 9/5). Zu gleicher Zeit liegen die Meridiane der Widerstandszentren zwischen  $A_1$  und  $A_2$  (Fig. 3), so daß  $A_2$  sich um den Drehpunkt drehen kann, ohne notwendigerweise die Drehung von  $(A_1 + B)$  zu beeinflussen. Damit waren die Verhältnisse günstig für eine Lagenänderung von Ost- und Südasiens relativ zum Bezugsblock, wodurch sie ihre jetzige Lage erreichen konnte.

In dem in Fig. 9 behandelten Zeitraum bewegten sich die Widerstandszentren von Ostasien nach Zentralasien.

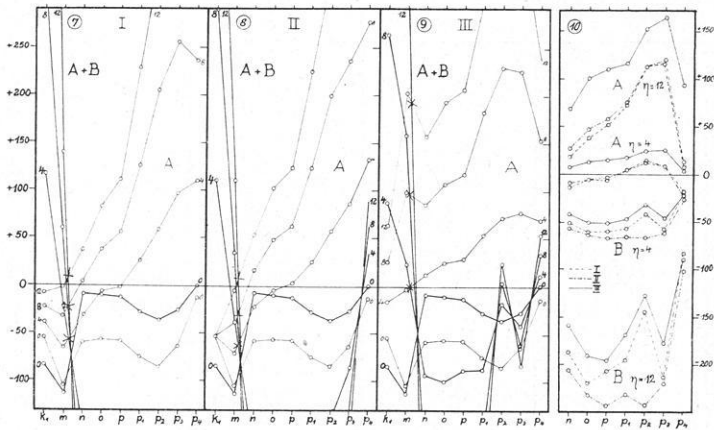


Fig. 10. Die Drehmomente der Epochen  $k_1$  bis  $p_4$

Die Ergebnisse für die letzten Epochen ( $k_1$  bis  $p_4$ ) sind aus Fig. 10 zu entnehmen, wo die auf  $A$  und  $(A + B)$  wirkenden Drehmomente dargestellt sind: und zwar für den Fall I in (7), für Fall II in (8) und für Fall III in (9). Da für  $(A + B)$  in jedem der drei Fälle der Schnittpunkt der  $\eta$ -Kurven auf der negativen Seite liegt (zwischen Epochen  $m$  und  $n$ ), so sind nach der  $n$ -Epoche für alle Werte von  $\eta$  die auf  $(A + B)$  wirkenden Drehmomente negativ. Amerika löste sich also zwischen den Epochen  $m$  und  $n$  ab. Andererseits sind die für  $A$  als Ordinaten gezeigten Drehmomente für große Werte von  $\eta$  positiv, d. h. der Bezugsblock mit Süd- und Ostasien, aber ohne Amerika, hatte die zur Erzeugung der Wegener'schen Polkurve richtige Drehrichtung. Für die Fälle I und II liegen die Schnittpunkte der zu  $(A + B)$  und  $A$  gehörigen Kurven nur für  $\eta > 12$  ( $k$  und  $\delta a > 360$  m), auf der positiven Seite, während für den Fall III die Schnittpunkte schon für  $\eta \sim 4$  ( $k > 120$  m) auf der positiven Seite liegen.

Das Ergebnis lautet: Fälle I und II --- Epochen  $k_1$  bis  $m$ : ( $A + B$ ) schwimmt mit einem Werte von  $\eta$ , der von 4 bis 12 wächst, und dreht sich um Widerstandszentren, die sich in Asien von Länge 270° West nach 240° West (jetziges System) bewegen. Bald nach der  $m$ -Epoche trennt sich Amerika ab.  $A$  dreht sich um Widerstandszentren, die auf den vom Roten Meer nach der Ostsee laufenden jeweiligen Meridianen liegen, während  $\eta$  möglicherweise bis fast Null in der letzten Epoche  $p_4$  abnimmt.

Fall III: Die Bedingungen sind insofern günstiger, als  $\eta$  den Wert 4 nicht zu überschreiten braucht, und bei der Abtrennung von Amerika für gleiche Werte von  $\eta$  die Drehmomente bedeutend größer sind. Für  $\eta \geq 4$  findet die Abtrennung von Amerika in der  $k_1$ -Epoche statt.

Die Polkurve, die sich ja auf den Bezugsblock bezieht, gibt keinen Aufschluß über die Bewegung von Amerika nach seiner Trennung von dem Bezugsblock. Zur Zeit der Trennung lag die Achse des auf Amerika wirkenden Drehmoments in geographischer Länge 146° West und Breite + 4° im jetzigen System. Die Winkelentfernung der Achse ist weniger als 90° von Alaska und mehr als 90° von Grönland. Damit sich Amerika von Europa hätte entfernen können, hätte es sich um ein Widerstandszentrum auf der nördlichen Halbkugel in negativer Richtung drehen müssen. Ein Widerstandszentrum in der Nähe von Grönland würde, da der Kosinus des Entfernungsbogens negativ ist, die Bewegung erklären, aber nicht eines in der Nähe von Alaska. Unter Annahme von Grönland ergeben sich die Drehmomente von Amerika  $B$ , die in Fig. 10 (Nr. 10) für die Werte 4 und 12 von  $\eta$  eingetragen sind. Sie sind wie gefordert negativ.

Daß die Entfernung Europa—Amerika wachsen konnte, zeigt die gleiche Fig. 10 (Nr. 10). Dort ist die Komponente des Drehmoments von  $A$  in Richtung Grönland für  $\eta = 4$  und 12 eingetragen. Da sie im Gegensatz zu  $B$  positiv ist, entfernen sich beide Kontinente voneinander. Für Fall I und II muß  $\eta > 7$ , für Fall III  $\eta > 3$  sein. Da ja  $\eta$  wahrscheinlich bis zur Gegenwart stetig auf Null abgenommen hat, ist eine Relativbewegung beider Kontinente heute nicht unbedingt zu erwarten. Da auch hier der Fall III mit kleinem  $\eta$  auskommt, scheint er am wahrscheinlichsten zu sein.

Es läßt sich mit Hilfe von Fig. 3 leicht zeigen, daß bei allen behandelten Ablösungen an der Bruchstelle stets Zugkräfte auftraten, was ja ebenfalls eine notwendige Bedingung ist. Ebenso kann man die Gegenden aufsuchen, die starke Druckkräfte aufnehmen mußten und mit dem Verlauf der Gebirge vergleichen, was sehr interessante Perspektiven eröffnet. Solche Betrachtungen würden aber im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen.

§ 7. *Zusammenfassung.* Auf Grund möglichst primitiver Voraussetzungen wird gezeigt, daß sowohl die Köppen-Wegenersche Polkurve, sowie die Bewegung der Kontinente eine Folge der Zentrifugalkraft sind.

Durch Einführung von Widerstandszentren wird die Polkurve genau beschrieben. Die berechneten Drehmomente lassen nach ihren Vorzeichen ent-

scheiden, welche Kontinente mit Europa und Afrika fest verbunden waren. Bemerkenswert sind die sich ergebenden Zeitpunkte der Ablösung einzelner Kontinentteile in weitgehender Übereinstimmung mit Wegener.

In den letzten Epochen muß angenommen werden, daß die Kontinente nicht im hydrostatischen Gleichgewicht geschwommen haben. Gründe dafür werden diskutiert.

Diese Arbeit gibt nur die Bewegungsrichtung der Kontinente wieder, nicht ihre Bewegungsgeschwindigkeit, da uns Werte für die innere Reibung im Sima gänzlich fehlen.

Herrn Professor Dr. K. v. Bülow danke ich für die freundliche Vermittlung bei der Veröffentlichung in der Geologischen Rundschau.

## Die Laufgeschwindigkeit $c$ der Longitudinalwellen als Funktion der Temperatur

Von **Kurt Wegener**, Graz. — (Mit 2 Abbildungen)

Die Bedeutung von Temperaturdifferenzen in der Seismik wird an Beispielen gezeigt.

Über diese Beziehung wissen wir recht wenig. Das Tabellenwerk von Landolt-Börnstein liefert uns für einige Metalle den Elastizitätskoeffizienten  $E$  für Temperaturen von 0 bis 15° und für 200°. Ziehen wir die Wurzel aus  $E$ , so erhalten wir für das Verhältnis  $c_0/c_{200}$  der Geschwindigkeit bei 0 bis 15° zur Geschwindigkeit bei 200° C folgende Liste:

	$c_0/c_{200}$
Kupfer . . . . .	1.2
Platin . . . . .	1.2
Gußstahl . . . . .	1.1
Eisen . . . . .	1.2
Gold . . . . .	1.1

Bei einer Temperatur von 1000°, die wir stellenweise schon in geringer Tiefe vorfinden, wäre also das Verhältnis  $c_0/c_{1000}$  linear extrapoliert, 1.5 bis 2.

Für das Eis ergeben die Messungen auf Alpengletschern von 0° C  $c_0 = 3600$  m/sec; die Messungen Wölkens \*) für -6° C  $c_{-6} = 3720$ , die Rechnung Brockamps \*\*) für -16° C  $c_{-16} = 4000$ . Also eine Steigerung der Geschwindigkeit um 10 % bei einer Temperaturerniedrigung um nur 16°. Ein Vielfaches der obigen Zahlen.

\*) Siehe Bd. II der Wiss. Ergebn. d. Deutsch. Grönland-Exped. Alfred Wegener.

\*\*) Bd. III, ebenda.