

ABHANDLUNGEN  
DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN PRAG  
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

7. HEFT

DIE URSACHE  
TEKTONISCHER ERDBEBEN

VON

RUDOLF SPITALER

ORDENTLICHES MITGLIED

PRAG 1942

---

VERLAG DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN PRAG  
IM BUCHHANDEL: SUDETENDEUTSCHER VERLAG FRANZ KRAUS IN REICHENBERG

Vorgelegt in der Sitzung  
der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse  
vom 6. Mai 1942

49

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Gedruckt bei Rudolf M. Rohrer in Brünn.

Daß die Rotationsachse im Erdkörper keine feste Lage hat, sondern periodische Schwankungen um eine Mittellage ausführt, darüber ist kein Zweifel, weil die internationalen Beobachtungen der Polhöhen von 1890—1923 dies offensichtlich erwiesen haben. Leider aber wurden sie infolge des damaligen Weltkrieges nicht mehr regelmäßig fortgesetzt und dann abgebrochen.

Über die infolge dieser Achsenschwankungen im Erdkörper auftretenden Kräfte wurde schon bei einer anderen Gelegenheit eingehend berichtet, so daß hier nur das Wichtigste daraus wiederholt zu werden braucht\*).

Wenn der Rotationspol der Erde  $P$  sich nach  $P'$  verlegt (Fig. 1), so vergrößert sich die geographische Breite ( $\varphi$ ) eines Erdortes um  $\Delta\varphi$ , während in dem Meridian, aus welchem er wegwandert, die geographische Breite sich um  $\Delta\varphi$  verkleinert. Ersterer Meridian wird als positiver, letzterer als negativer kritischer Meridian bezeichnet. In  $90^\circ$  davon entfernt sind die beiden indifferenten Meridiane.

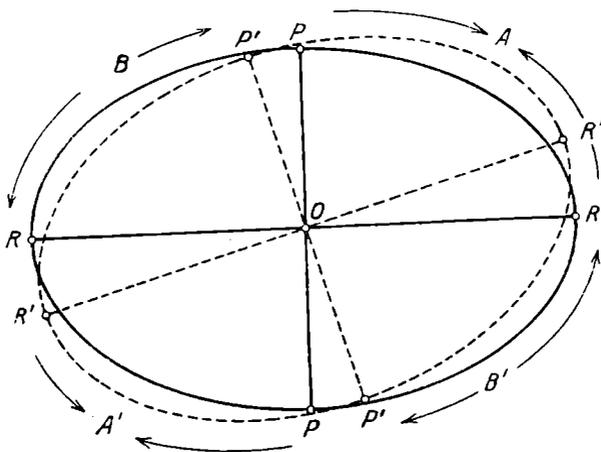


Fig. 1.

Mit dieser Änderung der geographischen Breite ändern sich auch auf der Erdoberfläche die Flugkräfte, welche seinerzeit die Erde abgeplattet haben, und sie sind nun bestrebt, die der neuen Achse entsprechende Umänderung der Abplattung herbeizuführen, wie es durch die punktierte Linie in der Figur angedeutet ist.

\*) R. Spitaler, Die Hauptkraft der geologischen Erdgestaltung. Sudetendeutscher Verlag Franz Kraus, Reichenberg 1937.

Für die feste Erde aber können sich diese Umformungen der Oberfläche wegen ihrer Starrheit im allgemeinen nicht vollziehen, wohl aber kann es zu Spannungen in der Erdkruste und gelegentlicher Auslösung derselben durch Erdbeben kommen.

Die folgenden Darlegungen können der Einfachheit halber für eine kugelförmige Erde durchgeführt werden.

Die Beschleunigung der Flugkraft im Orte B (Fig. 2) ist

$$f = \omega^2 a \cos \varphi$$

(Winkelgeschwindigkeit  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0.00007292$ ,  $a = 6370283$  cm).

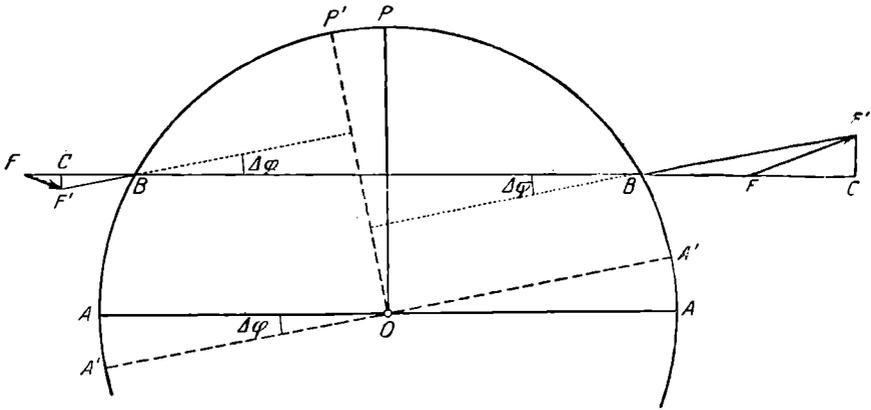


Fig. 2.

Ändert sich nun  $\varphi$  um  $\Delta\varphi$ , so ändert sich damit auch die Größe und Richtung der neuen Flugkraft und die nach der Umlagerung der Achse in Erscheinung tretende wirksame störende Kraft ist die Differenz der Zentrifugalkräfte, bezogen auf die alte und neue Rotationsachse.

Die Komponente dieser störenden Kraft  $FF'$  parallel zur Mittellinie des Meridians der Polverschiebung mit der Äquatorebene ist  $FC$  oder  $K_1$ , daher, weil  $\Delta\varphi$  sehr klein ist,

$$K_1 = -\omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi.$$

Das negative Vorzeichen besagt nur, daß bei  $+\Delta\varphi$  die Richtung der Flugkraftsänderung entgegen der ursprünglichen Flugkraft, also gegen das Innere der Erde gerichtet ist. Bei  $-\Delta\varphi$  ergibt sich das Vorzeichen positiv, d. h. die Richtung der Flugkraftsänderung ist im selben Sinne wie die ursprüngliche Flugkraft, also von der Erde weg gerichtet.

Die zweite Komponente  $CF'$  steht auf der ersten senkrecht und ergibt sich zu

$$K_2 = \omega^2 a \Delta\varphi \cos \varphi.$$

Es ist daher die totale Flugkraftsänderung

$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2} = \omega^2 a \Delta\varphi.$$

Infolge des Umstandes, daß in der Zeichnung  $\Delta\varphi$  viel zu groß angenommen werden mußte, erscheinen bei  $+$  und  $-$   $\Delta\varphi$  die störenden Kräfte  $K$  ungleich groß, während sie bei sehr kleinem  $\Delta\varphi$  fast gleich sind.

Die Beschleunigung dieser störenden Kraft ist zwar sehr klein, nämlich auf der Erdoberfläche

$$K = 0.00001642 \text{ cm sec}^{-2} \text{ pro } \Delta\varphi = 1'',$$

aber es erhält dieselbe jeder Massenpunkt in und auf der Erde dem Abstände desselben  $a'$  vom Mittelpunkt entsprechend, sie nimmt daher proportional  $a'$  vom Mittelpunkte bis zur Oberfläche zu, wo sie dann am größten ist. Es erlangt daher ein Massenzylinder von  $1 \text{ cm}^2$  Querschnitt, der vom Mittelpunkte bis zum Abstände  $a'$  von demselben reicht, eine mittlere Beschleunigung von  $\frac{1}{2} \omega^2 a' \Delta\varphi$ , daher einen Druck an der Stirnweite von

$$D = \frac{1}{2} \omega^2 a' \Delta\varphi \times a' \delta g \text{ Dyn},$$

wenn  $\delta$  die mittlere Dichte desselben ist.

Da sich aber der Massenzylinder gegen den Mittelpunkt zu bis zu einer Spitze verzüngt, also daraus ein Kegel wird, ist die Masse desselben nur ein Drittel von der des Zylinders, daher der Druck

$$D = \frac{1}{6} \omega^2 a' \Delta\varphi \times a' \delta g \text{ Dyn} = \frac{1}{6} \omega^2 a'^2 \delta \Delta\varphi g \text{ Dyn}^*).$$

Auf der Erdoberfläche ist daher dieser Druck, wenn man die mittlere Dichte der Erde zu  $\delta = 5.6$  und den mittleren Erdradius zu  $a = 6370283$  m annimmt:

$$D = 9764 \text{ g Dyn} = 9.7 \text{ Kraftkilogramm pro } \Delta\varphi = 1'' \text{ und cm}^2.$$

Diese Druckkräfte stellen potentielle Energien oder elastische Spannungen dar und können sich aufspeichern. Sie setzen sich dann dort in kinetische Energien um, wo durch die Lagerung der Erdschichten Spannungen vorhanden sind, die noch nicht im Gleichgewicht sind oder wo das Gleichgewicht durch isostatische Unterschiede gestört ist oder allmählich gestört wird.

\*) In der oben genannten Abhandlung wurde irrtümlich statt ein Drittel die Hälfte gesetzt. Nimmt man dort aber die Dichte  $\delta = 8.4$  an, so bleiben die weiteren Folgerungen unberührt.

In seiner „Geologischen Einführung in die Geophysik“ sagt A. Sieberg: „Allem Anschein nach bilden horizontale Schubspannungen in der Erdrinde die für sämtliche Dislokationserscheinungen gemeinsame unmittelbare Ursache.“

Für die beim großen kalifornischen Erdbeben am 18. April 1906 aufgespeichert gewesene potentielle Energie nahm H. F. Raid als wirksame elastische Kraft  $10^9$  Dyn = 100 Kraftkilogramm für  $1 \text{ cm}^2$  Querschnitt an. Der oben genannte Druck entspricht darnach schon Kraftäußerungen, wie sie bei schwächeren Erdbeben eintreten.

Zum besseren Einblick in die Auswirkung dieser Kräfte auf der Erdoberfläche werden die beiden Komponenten  $K_1$  und  $K_2$  der Beschleunigung in ihre zur Erdoberfläche tangentielle und vertikale Komponente zerlegt (Fig. 3).

$$K_1 \begin{cases} \text{horizontal} = \omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi \cos (90 + \varphi) = -\omega^2 a \Delta\varphi \sin^2 \varphi \\ \text{vertikal} = \omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi \sin (90 + \varphi) = \omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi \cos \varphi \end{cases}$$

$$K_2 \begin{cases} \text{horizontal} = \omega^2 a \Delta\varphi \cos \varphi \cos \varphi = \omega^2 a \Delta\varphi \cos^2 \varphi \\ \text{vertikal} = \omega^2 a \Delta\varphi \cos \varphi \sin \varphi = \omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi \cos \varphi. \end{cases}$$

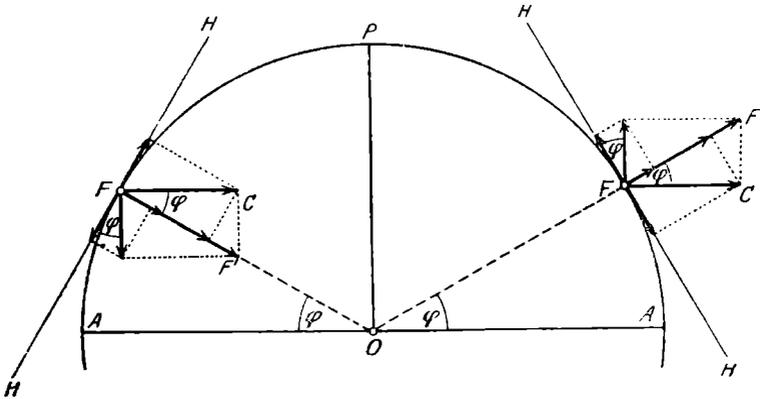


Fig. 3.

Die beiden horizontalen Komponenten sind, wie das Vorzeichen besagt, entgegengesetzt gerichtet. Ihre Summe ist:

Horizontal  $K_1 + K_2 = \omega^2 a \Delta\varphi (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) = \omega^2 a \Delta\varphi \cos 2\varphi$ , daher am Pole  $-\omega^2 a \Delta\varphi$ , am Äquator  $+\omega^2 a \Delta\varphi$  und in  $45^\circ$  Breite gleich Null.

Die Summe der beiden vertikalen Komponenten beträgt:

Vertikal  $K_1 + K_2 = 2 \omega^2 a \Delta\varphi \sin \varphi \cos \varphi = \omega^2 a \Delta\varphi \sin 2\varphi$ , daher am Pole und Äquator gleich Null und in  $45^\circ$  Breite  $\omega^2 a \Delta\varphi$ .

Ergibt sich für ein bestimmtes  $\varphi$  die horizontale Komponente positiv, so ist die Kraft nach Süden, wenn negativ, dem nach Norden gerichtet. Bei der vertikalen Komponente bedeutet das positive Vorzeichen die Richtung

gegen den Erdmittelpunkt, das negative aber vom Erdmittelpunkt weg. Bei  $-\Delta\varphi$  ist in den Formeln einfach das Vorzeichen zu ändern, die Zeichenregel für die Richtung der Kraft bleibt dann dieselbe.

Die Richtungen dieser Kräfte sind in Fig. 4 dargestellt. Der Winkel, um welchen die Richtung über oder unter der Horizontalen liegt, ist

$$\text{tang } \alpha = \frac{V}{H} = \frac{\sin 2\varphi}{\cos 2\varphi} = \text{tang } 2\varphi,$$

daher  $\alpha = 2\varphi$ .

Die zwischen  $45^\circ$  Breite und dem Pole auftretenden Kräfte suchen im Meridian der positiven Breitenänderung, um die neue Abplattung herbeizuführen, die Erdmassen polwärts, die zwischen  $45^\circ$  Breite und dem Äquator auftretenden aber dieselben äquatorwärts zu verschieben, und zwar mit von  $45^\circ$  Breite gegen den Pol und dem Äquator zunehmender Stärke. Im Meridian mit negativer Breitenänderung suchen die störenden Kräfte die Massen vom Pol und Äquator weg gegen  $45^\circ$  Breite zu drängen. Somit drängen die

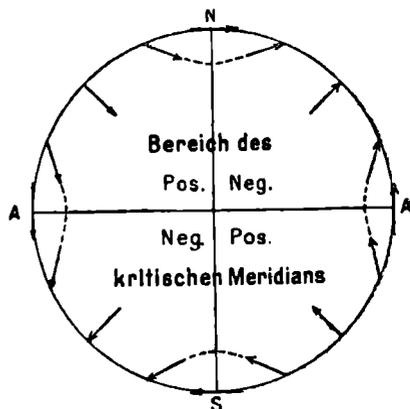


Fig. 4.

wachgerufenen Flugkräfte die Massen von  $45^\circ$  Breite im Meridian der positiven Breitenänderung über den Pol hinweg in den Meridian der negativen Breitenänderung. Und andererseits schieben sich die Massen von  $45^\circ$  Breite über den Äquator gegen  $45^\circ$  s. Br. und von  $45^\circ$  s. Br. über den Äquator nach  $45^\circ$  n. Br. (siehe Fig. 1). Es streben also die Flugkräfte zwischen Pol und Äquator (Mitte in B und B') einerseits ein Wegschieben der Massen, andererseits (Mitte in A und A') ein Zusammendrängen derselben an, um die neue Form der Abplattung herbeizuführen.

Die vertikale Komponente wiederum sucht die Massen zu heben oder zu senken und hat ihr Maximum in der Breite von  $45^\circ$ , während sie am Äquator und Pol gleich Null ist.

Bei der großen geophysikalischen Bedeutung der Achsenschwankungen der Erde und der Breitenänderung der Erdorte ist es erforderlich, darauf näher einzugehen.

Bei der abgeplatteten Erde hat man zwischen der Rotationsachse und der Hauptachse (Hauptträgheitsachse) zu unterscheiden. Letztere ist durch die Erdpole bestimmt, deren Lage von der Massenverteilung in und auf der Erde abhängig ist. Für den Fall, daß die beiden Achsen zeitweilig nicht zusammenfallen, hat schon im Jahre 1760 der berühmte Mathematiker L. Euler unter der Annahme, daß die Erde vollständig starr sei, nachgewiesen, daß die Rotationsachse um die Hauptachse eine kegelförmige Be-

wegung ausführen müsse, deren Periode (Eulersche Periode) sich aus der Abplattung der Erde zu 305 mittleren Tagen ergab.

Über die Größe des Winkels, welchen die beiden Achsen miteinander bilden, kann aber die Theorie keinen Aufschluß geben, weil hiezu die genaue Kenntnis der Massenverteilung in und auf der Erde erforderlich ist, die man aber nicht kennt. Man versuchte vergebens die Größe dieses Winkels durch astronomische Beobachtungen zu finden. Erst im Jahre 1887 entdeckte F. Küstner in Berlin, daß die dortige Polhöhe oder geographische Breite veränderlich sei und es ergab sich aus Beobachtungen auch auf anderen europäischen Orten und dann besonders auf dem von Berlin ungefähr um  $180^\circ$  abliegenden Meridian von Honolulu, daß die Ursache davon in einer Schwankung der Rotationsachse im Erdkörper liege.

Auf das hin wurde ein internationaler Breitendienst organisiert, welcher auf demselben Breitenkreis an 5 gleichmäßig über die ganze Erde verteilten Orten zu beobachten hatte. Leider aber haben diese wertvollen Beobachtungen, die im Jahre 1890 begannen, wie schon eingangs erwähnt, infolge des damaligen Weltkrieges mit dem Jahre 1924 ihr Ende gefunden.

Schon aus den ersten Ergebnissen dieser Beobachtungen ersah Chandler, daß die Eulersche Periode nicht 305 Tage betrage, sondern infolge der nicht vollen Starrheit der Erde bedeutend länger sei und Newcomb fand dafür ungefähr 422—456 Tage. Sie wird daher als die Chandler-Newcombsche Periode bezeichnet.

Aus dem gesamten Beobachtungsmaterial von 1890—1924 ergab sich, daß sich die Beobachtungen durch eine 10/10- und 12/10jährige oder ungefähr eine 12- und eine 14monatliche Periode darstellen lassen und B. Wanach fand daraus als wahrscheinlichsten Wert der 14monatlichen Periode 433 Tage, so daß also die Polbahn innerhalb eines Zyklus von 6 Jahren spiralförmig abläuft und sich dabei ein- und aufrollt, so daß daher der jeweilige Abstand des Pols von seiner mittleren Lage periodisch veränderlich ist.

Das 14monatliche Glied ist demnach nichts anderes als die Chandler-Newcombsche Periode für die tatsächlich nicht vollständig starre Erde. Das 12monatliche oder jährliche Glied der Polbewegung wird durch die jährlichen periodischen Massenumlagerungen auf der Erde, besonders von Luft und Wasser (Eis und Schnee) verursacht. Die ersten eingehenden Untersuchungen darüber rühren von mir selbst her\*).

Während des Winters der Nordhemisphäre werden nämlich auf den beiden großen Kontinenten und den drei südlichen Meeren große Luftmassen abgelagert, welche dann im Sommer der Nordhemisphäre auf die beiden großen

\*) R. Spitaler, Die Ursache der Breitenschwankungen. Denkschriften der kais. Akademie der Wiss. in Wien, LXIV. Band, 1897 und Die periodischen Luftmassenverschiebungen und ihr Einfluß auf die Lagenänderungen der Erdachse. Ergänzungsheft Nr. 137 zu Petermanns Geogr. Mitt. 1901.

Meere derselben und die drei Kontinente der Südhemisphäre sich verschieben. Diese sich umlagernden Luftmassen kommen ungefähr dem Gewichte von  $800 \text{ km}^3$  Quecksilber gleich! Es schlägt infolge dieser Massenumlagerungen auf der Erdoberfläche die Hauptachse im Winter und Sommer nach entgegengesetzten Richtungen um ungefähr  $0.05''$  aus und es wurde nachgewiesen, daß, wenn der Trägheitspol eine Verschiebung von jährlicher Periode erfährt, der Rotationspol eine etwa dreifach vergrößerte jährliche Bewegung um denselben ausführt.

Es wandert aber der Meridian der Polverschiebung bzw. die obengenannten beiden kritischen Meridiane in beiläufig 14 Monaten um die Erde herum, auch die Größe der Polverschiebung ist veränderlich, so daß auch die Stärke und Richtung der dadurch hervorgerufenen Druckkräfte periodisch veränderlich sind, wodurch es dann möglich wird, daß schließlich durch das fortwährende Auf- und Nieder-, Hin- und Herdrücken auch eine festsitzende Scholle oder ein ganzes Gebirgsmassiv in einzelnen Teilen gelockert wird und es gelegentlich von katastrophalen Dislokationen erschüttert wird.

So äußert sich O. Ampferer\*) folgendermaßen: „Die ältesten Ablagerungen, welche wir kennen, sind überall Gneise und damit eng verschweißte Granite. Die Gneise zeigen allenthalben intensive Faltung, jedoch nicht so sehr die Anordnung zu weithin streichenden Faltungen, sondern eine vielfach wechselnde Streichrichtung, wie sie etwa einem mehrfachen Hin- und Herschieben entspricht.“

Infolge der wechselnden Stärken und Richtungen, welche die Druckkräfte im positiven und negativen kritischen Meridian annehmen können, schien es uns von Interesse zu untersuchen, ob damit nicht die Auslösung von Erdbeben verbunden ist. Es stand mir leider nur ein bescheidenes Material von Erdbeben zur Verfügung, wie es eben in verschiedenen Zeitschriften gefunden wurde. Das Ergebnis schien mir aber für eine eingehende Untersuchung vielversprechend.

Durch das gütige Entgegenkommen von Miß E. Bellamy der Universitätssternwarte in Oxford, der Sammelstelle der Erdbebenregistrierungen der ganzen Erde, bin ich in den Besitz des „International Seismological Summary“ gekommen, welches nicht nur die Zeiten, sondern auch die geographischen Koordinaten der Herde aller Beben von 1918 bis Ende 1930 enthält. Es sind darin aber auch Beben angeführt, welche auf einigen dieser Herde schon von 1912 an aufgetreten sind. Es fanden sich 6127 Beben an 2180 Herden, wobei kurz aufeinanderfolgende Beben auf demselben Herde nur einmal gezählt wurden.

Dieses umfangreiche Material wurde zunächst statistisch auf die räumliche und zeitliche Verteilung der Beben auf der Erde untersucht\*\*).

\*) Die Naturwissenschaften, 1925, S. 672.

\*\*\*) R. Spitaler, Erdbeben. Ergebnisse aus „The International Seismological Summary“. Petermanns Geogr. Mitt. 1936, Heft 9 u. 10.

Daraus sei nur hervorgehoben, daß die Bebenherde auf der Erde sehr unregelmäßig verteilt sind, wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist.

Tabelle 1. Verteilung der Beben auf der Erde.

Quadrant östl. v. Gr. °	2 u. mehr Beben je Herd			1 Beben je Herd			Insgesamt			% aller
	Nord	Süd	zus.	Nord	Süd	zus.	Nord	Süd	zus.	
0—90	267	15	282	231	28	259	498	43	541	24·8
90—180	387	155	542	274	131	405	661	286	947	43·5
180—270	92	42	134	105	49	154	197	91	288	13·2
270—360	101	81	182	121	101	222	222	182	404	18·5
zusammen	847	293	1 140	731	309	1 040	1 578	602	2 180	100·0
%	74·3	25·7	—	70·3	29·7	—	72·4	27·6	—	—

Ein sehr wichtiges Ergebnis war auch, daß auf dem Gürtel von 40—50° n. Br. die meisten Herde und Beben vorkommen. Es waren nämlich hier 375 Herde mit 850 Beben vorhanden, während auf der ganzen Erde an 2180 Herden 6127 Beben auftraten.

Der Halbmesser der Erde als Einheit genommen ist die Oberfläche des Gürtels

$$F = 2\pi (\sin 50^\circ - \sin 40^\circ) = 0.1232 \times 2\pi,$$

während die Oberfläche der ganzen Erde  $O = 4\pi$ , daher  $\frac{F}{O} = 0.0616$  ist.

Das Verhältnis der Herde am Gürtel zu dem auf der ganzen Erde aber ist 0·17 und das der Beben 0·14. Es existieren daher in der betrachteten Zeit auf dem Gürtel von 40—50° n. Br. relativ zur Oberfläche der ganzen Erde fast dreimal so viele Herde mit 2·3mal so vielen Beben als auf der ganzen Erde.

Die Verteilung der Beben in den vier Längenquadranten des Gürtels ist aber auffallend sehr ungleichmäßig, wie es die Tabelle 2 zeigt.

Tabelle 2. Anzahl der Beben am Gürtel 40—50° n. Br.

Östl. v. Gr.	0—90°	90—180°	180—270°	270—360°	Summe
Anzahl . . . . .	469	264	67	50	850
% aller . . . . .	55·2	31·0	7·9	5·9	—

Das findet darin seine Erklärung, daß der Gürtel im Quadranten von 0—90° das bebenreiche Gebiet der Alpen, Apenninen, des Balkans, Kaukasus und Tienschan durchzieht. Im Quadranten von 90—180° waren schon etwas weniger Beben, denn hier liegt nur das bebenreiche Gebiet des Chingangebirges, der nördliche Teil von Japan und die Kurilen, während im Qua-

dranten von  $180-270^\circ$  der bebenarme Pazifische Ozean und am Rande das Felsengebirge liegt. Der Quadrant von  $270-360^\circ$  geht über das bebenarme Große Seengebiet Nordamerikas, über den Atlantischen Ozean und Nordspanien.

Die jährliche Verteilung der Beben ist durchaus nicht so gleichmäßig und entgegengesetzt auf beiden Hemisphären, wie man infolge der entgegengesetzten Jahreszeiten vermuten möchte. Im Mittel aus allen Beben beider Hemisphären ergibt sich, allerdings bei einiger Unregelmäßigkeit, ein Maximum der Häufigkeit am 1. Juli und ein Minimum am 1. Januar. Über die näheren Untersuchungen und Schlußfolgerungen daraus sei auf die Originalabhandlung verwiesen, da sie hier von weniger Interesse sind.

Für die vorliegende Abhandlung aber war es viel wichtiger zu untersuchen, wie die Beben auf die Gebiete der beiden kritischen Meridiane verteilt sind, weil hier die oben angeführten Druckkräfte auf beiden entgegengesetzt gerichtet sind.

Da die nach den Breitenbeobachtungen gefundenen veränderlichen Polhöhen und ihre Abstände von der Mittellage nach Zehnteln der Jahre angegeben sind, war es notwendig, um die Zeiten der Beben mit den Polstellungen zu vergleichen, dieselben ebenfalls auf Zehntel des Jahres umzurechnen.

Es wurde daher für alle Beben von 1918—1930 ein Zettelkatalog angelegt, welcher folgende Daten enthält: Länge (L) und geographische Breite (Br) des Bebenherdes, Jahr, Monat und Tag jedes Bebens auf demselben, dann Monat und Tag auf Jahreszehntel umgerechnet.

Bezeichnet  $\lambda$  die jeweilige Länge des Pols, so ist der Abstand eines Erdortes (Bebenherd) L von demselben  $L - \lambda$ , und er liegt im Bereich des positiven kritischen Meridians, wenn  $L - \lambda = 0^\circ$  und in dem des negativen, wenn  $L - \lambda = 180^\circ$  ist. Ist  $L - \lambda = 90^\circ$  oder  $270^\circ$ , so liegt der Ort im Bereich des östlichen bzw. westlichen indifferenten Meridians.

Was nun die Polhöhe  $\lambda$  anbetrifft, so konnte ihr wahrscheinlichster Wert für die Zeit von 1918—1923 der harmonischen Analyse der Polhöhenbeobachtungen von 1890—1923 entnommen werden, wie sie sich eben am besten den beobachteten Werten anschmiegen.

Für die Ermittlung der wahrscheinlichsten Werte für die Zeit von 1923 bis 1930 mußte ein anderer Weg eingeschlagen werden.

Die harmonische Analyse der Polbeobachtungen von 1890—1923 ergab, daß die Beobachtungen durch ein 10/10- und ein 12/10jähriges Glied dargestellt werden können. Letzteres ist nichts anderes als die schon früher genannte 14monatliche Periode. Daraus konnte der zyklische Verlauf der Polbewegung ermittelt werden, wie er wahrscheinlich auch in der späteren Zeit sich vollzogen hat. Jedenfalls aber sind die damit für die Zeit von 1923 bis 1930 gefundenen  $L - \lambda$  nicht so sicher wie die für die Zeit von 1918—1923.

Da der Pol und daher auch die kritischen Meridiane von Westen nach Osten weiterwandern und in 14 Monaten einen Umlauf vollenden, darf zu vergleichenden Untersuchungen des Einflusses der Pollage auf die Auslösung von Erdbeben in den Gebieten der kritischen Meridiane nicht ein in Länge zu ausgedehntes Gebiet verwendet werden, weil sonst bei einem bestimmten  $\lambda$  die  $L - \lambda$  zu zerstreut nicht verglichen werden könnten.

Es wurden daher für die vorliegende Untersuchung einige engbegrenzte typische Erdbebengebiete ausgewählt, welche in der nachstehenden Tabelle 3 angeführt sind.

Tabelle 3. Abgrenzung einiger typischer Erdbebengebiete.

Erdbebengebiet	Östliche Länge	Geograph. Breite
1. Japanisches Inselreich . . . . .	120—150°	30—50° N
2. Tokio-Yokohama . . . . .	139·5	35° N
3. Philippinen . . . . .	119—127°	5—20° N
4. Ägäisch-jonisches Geb. u. Balkan	15—30°	35—45° N
5. Alpen . . . . .	5—37°	45—48° N
6. Kalifornien u. Mexiko . . . . .	230—260°	15—55° N

Die Beben dieser Gebiete wurden nach den kritischen und indifferenten Meridianen geordnet, und zwar für den positiven kritischen Meridian von  $L - \lambda = 315 - 360^\circ$  und  $0 - 45^\circ$ , für den negativen von  $L - \lambda = 135 - 225^\circ$ , für den östlichen indifferenten Meridian von  $L - \lambda = 45 - 135^\circ$  und für den westlichen von  $L - \lambda = 225 - 315^\circ$ .

Um zu sehen, wie sich die Beben auf die ganzen Bereiche beider kritischen Meridiane, also des positiven von  $270 - 90^\circ$  und des negativen von  $90 - 270^\circ$  verteilen, wurden die Beben im Bereiche des östlichen indifferenten Meridians von  $L - \lambda = 45 - 90^\circ$  zum positiven und von  $L - \lambda = 90 - 135^\circ$  zum negativen kritischen Meridian und ebenso die Beben im Bereiche des westlichen indifferenten Meridians von  $L - \lambda = 225 - 270^\circ$  zum negativen und von  $L - \lambda = 270 - 315^\circ$  zum positiven kritischen Meridian gezählt.

In analoger Weise wurde auch eine Zusammenfassung der Beben im ganzen Bereich der beiden indifferenten Meridiane gemacht, so daß also dieselben in den ganzen Halbkreis zu liegen kommen, wie es andererseits bei den beiden kritischen Meridianen der Fall ist, die dort in den entsprechenden Halbkreis zu liegen kommen.

Das Ergebnis enthält die nebenstehende Tabelle 4, in welcher die genannten Zusammenfassungen unter den betreffenden kritischen bzw. indifferenten Meridianen angeführt sind. Darunter ist die betreffende Anzahl der Beben auch in Prozenten aller angegeben.

Bei den japanischen Beben zeigt sich, daß dieselben in überwiegender Anzahl im Quadranten des negativen kritischen Meridians mit 31·6%, im

Tabelle 4.  
Verteilung der Beben in den vier Quadranten und Halbkreisen der kritischen und indifferenten Meridiane.

Gebiet		Positiver kritischer Meridian	Östlicher indifferenten Meridian	Negativer kritischer Meridian	Westlicher indifferenten Meridian	Summe der Beben
Japanisches Inselreich . . . . .	Anz.	147	157	221	175	700
	%	21·0	22·4	31·6	25·0	—
	Anz.	296	—	404	—	700
	%	42·3	—	57·7	—	—
	Anz.	—	331	—	369	700
	%	—	47·3	—	52·7	—
Tokio-Yokohama . . . . .	Anz.	2	11	14	3	30
	%	6·7	36·7	46·7	10·0	—
	Anz.	9	—	21	—	30
	%	30·0	—	70·0	—	—
	Anz.	—	27	—	3	30
	%	—	90·0	—	10·0	—
Philippinen . . . . .	Anz.	35	33	64	30	162
	%	1·6	20·4	39·5	18·5	—
	Anz.	61	—	101	—	162
	%	37·7	—	62·3	—	—
	Anz.	—	85	—	77	162
	%	—	52·5	—	47·5	—
Ägäisch-jonisches Gebiet und Balkan . . . . .	Anz.	72	82	53	49	256
	%	28·1	32·0	20·7	19·1	—
	Anz.	138	—	118	—	256
	%	53·9	—	46·1	—	—
	Anz.	—	151	—	105	256
	%	—	59·0	—	41·0	—
Alpen . . . . .	Anz.	25	28	15	30	98
	%	25·5	28·6	15·3	30·6	—
	Anz.	53	—	45	—	98
	%	54·1	—	45·9	—	—
	Anz.	—	49	—	49	98
	%	—	50·0	—	5·0	—
Kalifornien und Mexiko . . . . .	Anz.	50	34	48	47	179
	%	28·0	19·0	26·8	26·2	—
	Anz.	89	—	90	—	179
	%	49·7	—	50·3	—	—
	Anz.	—	81	—	98	179
	%	—	45·3	—	54·7	—

positiven aber nur mit 21·0 % aller Beben auftraten, während bei gleichmäßiger Verteilung, also wenn kein Einfluß der Achsenschwankung vorhanden wäre, 25 % vorhanden sein müßten.

Da diese Beben in der Breite von 30—50° N stattfanden und unter dem negativen kritischen Meridian die durch die Achsenschwankungen wachgerufenen Druckkräfte vom Norden und Süden gegen 45° Br. und nach aufwärts gerichtet sind, werden demnach hier die Beben vorwiegend durch südliche und aufwärts gerichtete Drucke ausgelöst.

Im ganzen halbkreisförmigen Bereich ergaben sich in dem des negativen 57·7 % und nur 42·3 % in dem des positiven kritischen Meridians.

Die Abgrenzung auf die beiden ganzen indifferenten Bereiche ergibt fast keinen Unterschied, indem 47·3 % im Bereiche des östlichen und 52·7 % in dem des westlichen indifferenten Meridians eintraten.

Auf dem engbegrenzten Gebiete von Tokio—Yokohama treten diese Gegensätze noch viel stärker hervor, indem im Quadranten des negativen kritischen Meridians 46·7 %, in dem des positiven aber nur 6·7 % aller Beben eintraten. Auf dem ganzen Halbkreis des negativen kritischen Meridians waren 70·0 % und des positiven nur 30·0 % aller Beben. Daß im Halbkreis des östlichen indifferenten Meridians 90·0 %, in dem des westlichen aber nur 10·0 % Beben eintraten, scheint interessant zu sein, wenn die Unterschiede nicht schon in der großen Anzahl von Beben im Quadranten des östlichen indifferenten Meridians liegen.

Vielleicht würden sich auch auf anderen engbegrenzten Gebieten Japans solche große Gegensätze wie hier finden.

In ganz auffallender Weise zeigen sich auf den Philippinen ähnliche Verhältnisse der Bebenhäufigkeit wie im Japanischen Inselbereich.

Im Quadranten des negativen kritischen Meridians waren 39·5 % und in dem des positiven nur 1·6 % aller Beben. Auf dem ganzen Bereich des negativen kritischen Meridians zusammengezogen waren 70·0 % und auf dem des positiven kritischen Meridians nur 30·0 % aller Beben. Im Bereiche der beiden indifferenten Meridiane war in der Anzahl von Beben fast kein Unterschied, im östlichen 52·5 % und im westlichen 47·5 %.

Da die Philippinen zwischen 5—20° N liegen und die Drucke unter dem negativen kritischen Meridian gegen 45° Br. gerichtet sind, wurden also hier die Beben vorwiegend durch südliche Drucke hervorgerufen.

Da für Japan und die Philippinen der negative kritische Meridian ungefähr bei  $\lambda = 310^\circ$  liegt, befand sich derselbe nach dem zyklischen Verlauf der Polbahn über diesen Gegenden im August 1940 und September-Oktober 1941 und kommt wieder dorthin zu liegen im Februar 1943 und Mai 1944, so daß also um diese Zeiten eine größere Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Beben vorhanden ist.

Ganz andere Verhältnisse als hier zeigen sich im Ägäisch-jonischen Gebiet und Balkan, sowie in den Alpen. Im ersteren Gebiet ist eine größere Häufigkeit von Beben im Quadranten des östlichen und im letzteren in dem des westlichen indifferenten Meridians. Da das Ägäisch-jonische und Balkan-Gebiet zwischen  $35-45^{\circ}$  N abgegrenzt wurde, traten hier westlich des indifferenten Meridians nord-südliche und östlich davon süd-nördliche Drucke auf, erstere sind nach abwärts, letztere nach aufwärts gerichtet. Es können daher hier im Schollengefüge Drehkräfte auftreten und Beben auslösen.

Bei den Alpen ist es ähnlich. Die meisten Beben traten im Quadranten des westlichen indifferenten Meridians auf, und da die Alpen zwischen  $45$  bis  $48^{\circ}$  N angenommen wurden, herrschten westlich des indifferenten Meridians nord-südliche und aufwärts gerichtete und östlich davon süd-nördliche und abwärts gerichtete Drucke und so können auch hier Drehkräfte auftreten, welche die Beben verursachten. Diese Erscheinungen hängen jedenfalls mit der geologischen Struktur dieser Gebiete innigst zusammen.

Die Druckrichtungen und vermuteten Drehungen (punktiert) dieser beiden Gebiete zeigt die Fig. 5.

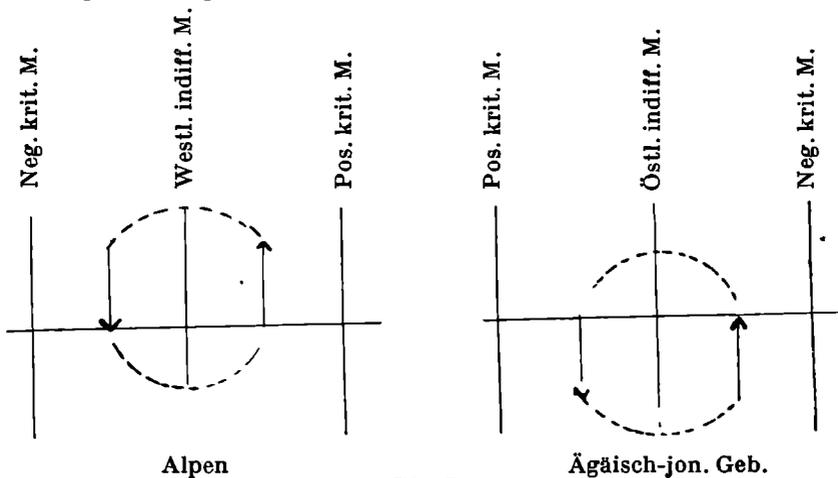


Fig. 5.

In Kalifornien zeigen sich ganz ähnliche Verhältnisse wie die genannten, indem die Beben im innigsten Zusammenhang mit den von NW—SO verlaufenden Bruchspalten stehen\*).

Das im Ägäisch-jonischen Gebiete, in den Alpen und in Kalifornien gefundene Ergebnis, daß im Gebiete indifferenter Meridiane Drehkräfte auftreten können, veranlaßt uns auch das Ergebnis im Japanischen Inselbereich und auf den Philippinen nochmals anzusehen. Hier treten die Beben in

\*) R. Spitaler, Über die Erdbeben in Kalifornien. Gerlands Beitr. zur Geoph. Band 42 (1934), S. 321—328.

überwiegender Anzahl in Quadranten des negativen kritischen Meridians auf, während in dem des positiven die Anzahl der Beben sehr gering ist. Aber auch in den Quadranten der beiden indifferenten Meridiane ist im allgemeinen der prozentuelle Anteil der Beben übernormal, so daß es also sehr wahrscheinlich ist, daß auch hier Beben durch Drehkräfte ausgelöst werden. In Tokio-Yokohama sind im Bereich des östlichen indifferenten Quadranten die Beben sogar sehr häufig, während sie im westlichen sehr selten sind.

Aber andererseits treten auch im Ägäisch-jonischen Gebiet und in den Alpen öfters Beben auch im Gebiete des positiven kritischen Meridians auf. Warum sollten auch diese Druckkräfte nur in gewissen Quadranten und nicht, allerdings in verschiedenem Ausmaße je nach der geologischen Struktur des betreffenden Gebietes, überall wirksam sein?

Es dürfte daher durch diese Darlegungen wohl erwiesen sein, daß die oben genannten Druckkräfte und besonders die durch sie aufgespeicherten elastischen Spannungen die Ursache für die Auslösung tektonischer Erdbeben sein dürften.

Im folgenden mögen noch unsere Ansichten über die Auswirkung der Druckkräfte infolge der Achsenschwankungen kurz dargelegt werden.

Das Schollengefüge der Erde ist den Bewegungen der Schollen eines Eisstoßes vergleichbar, die sich aneinander reiben, sich dabei heben und senken, ja sich gegenseitig sogar zertrümmern. Wird der Eisstoß von einer leichten Schneedecke zugehüllt, vergleichbar den auf den Erdschollen auflagernden Humusschichten und sonstigen Ablagerungen, so zeigen sich die Umwälzungen in den darunter sich bewegenden Eisschollen als Aufbauchungen oder Einsenkungen, als Risse und Verschiebungen u. dgl.

Es seien nur ein paar typische Fälle der Einwirkung der Druckkräfte auf Erdschollen dargelegt:

1. Ein Bebenherd H liege zwischen zwei benachbarten Schollen und ein kritischer Meridian AB gehe zwischen beiden hindurch (Fig. 6), so sind auf beiden Schollen die horizontalen Drucke gleichgerichtet, entweder nord-südlich oder süd-nördlich, aber der mächtigeren Scholle wohnt ein größerer

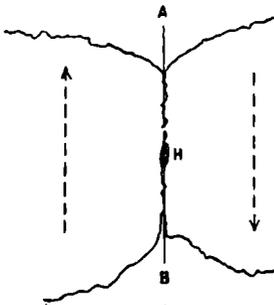


Fig. 6.

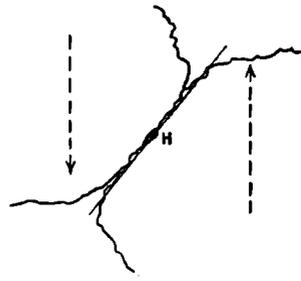


Fig. 7.

Arbeitsimpuls inne als der kleineren, so daß es an der Berührungsstelle zu Absplitterungen, Reibungen, Zerdrückungen, Auf- und Einbrüchen kommen kann, die sich als Erdbeben äußern. Diese Erscheinungen können aber auch schon eintreten, bevor der kritische Meridian die Grenze der beiden Schollen passiert oder erst später nach Passieren derselben. Dann sind auch die Druckkräfte auf beiden Seiten ungleich groß und es kann um so leichter am Bebenherde zu tektonischen Bewegungen kommen.

Geht zwischen den beiden Schollen ein indifferenten Meridian hindurch, so haben dieselben entgegengesetzt gerichtete Druckspannungen, in der Nähe von  $45^\circ$  Br. auf- und abwärts, so daß es an der Berührungsstelle um so leichter zu tektonischen Katastrophen kommen kann.

Liegt die Bruchlinie schief gegen die Meridianrichtung (Fig. 7), so wird ein Abgleiten der einen Scholle an der anderen um so leichter sein und zu Beben Anlaß geben.

2. An der Berührungsstelle von drei Schollen (Fig. 8) wird, wenn ein kritischer Meridian durch dieselbe hindurchgeht, entweder die Scholle a gegen die Schollen b und c gedrückt und preßt sie auseinander, oder a zieht sich zurück, dann können an der Berührungsstelle Absplitterungen und Einbrüche erfolgen. Dabei sind Reibungen und Erschütterungen an den Berührungsstellen der Schollen nicht ausgeschlossen.

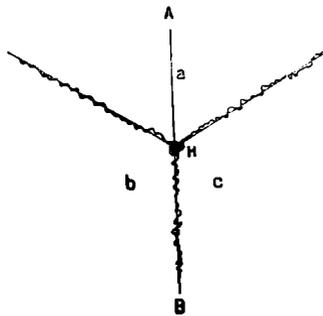


Fig. 8.

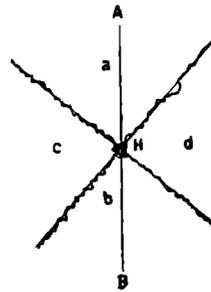


Fig. 9.

Geht hingegen ein indifferenten Meridian durch die Berührungsstelle, so werden b und c in entgegengesetzter Richtung gedrückt und es kann zu einer Drehung der Scholle a mit Beben kommen, wobei auch tektonische Auswirkungen auf derselben auftreten können, zumal wenn dort ohnehin sekundäre Spalten und Faltungen vorhanden sind.

3. Liegen vier Schollen mit gekreuzten Grenzspalten aneinander (Fig. 9) und geht ein kritischer Meridian durch den Kreuzungspunkt hindurch, so drückt a und b, je nach der Druckrichtung, gegen den Bebenherd und die beiden Schollen c und d weichen auseinander.

Geht ein indifferenten Meridian durch den Kreuzungspunkt, so werden die beiden Schollen c und d in entgegengesetzter Richtung gedrückt, wodurch die Schollen a und b einen Drehungsimpuls erfahren.

So kann es also unter allen Umständen am Bebenherde zur Auslösung von Beben kommen, wenn alle Umstände dazu auch sonst geeignet sind.

In hohem Grade werden die horizontalen Komponenten der Druckkräfte in Faltegebirgen Verschiebungen im Faltenbau und dadurch tektonische Beben veranlassen. Besonders bei  $N - S =$  und  $S - N =$  Faltung wird das Gebiet im Bereiche der kritischen Meridiane bebenreich, während bei  $W - O =$  und  $O - W =$  Faltung mehr der Bereich der indifferenten Meridiane in Betracht kommt.

Bei Bruchspalten, welche  $NO - SW =$  oder  $NW - SO$  Richtung verlaufen, wie es im zweiten Falle in Kalifornien der Fall ist, werden, wenn ein indifferenten Meridian durch die Mitte hindurchgeht, zu beiden Seiten derselben entgegengesetzt gerichtete Drucke wachgerufen, welche einen Drehimpuls in die Schollen bringen, wodurch dann Drucke senkrecht zu den Druckspalten entstehen, die zu Einbrüchen und Beben Anlaß geben.

Die vertikalen Komponenten können besonders dort, wo sie ihr Maximum haben, in der Nähe von  $45^\circ$  Br., starke Wirkungen hervorrufen, besonders wenn ein indifferenten Meridian durch die Berührungsstelle zweier Schollen hindurchgeht, weil dann dieselben entgegengesetzte Druckrichtungen nach auf- und abwärts haben. Dabei können auch am leichtesten Erdsalten aufgerissen werden.

So können sich also die Drucke infolge der Achsenschwankungen auf die verschiedenste Art und Weise als Erdbeben kundtun, so daß auch auf ein und demselben Herde die Beben bei verschiedenen Lagen der kritischen und indifferenten Meridiane ausgelöst werden können.

Zum Schlusse noch einige Bemerkungen, die nicht ohneweiters von der Hand zu weisen sein dürften.

Unzweifelhaft auffallend ist die bebenreiche Umrahmung des Nordpazifischen Ozeans. Auf der Ost- und Nordseite sind die Erdbebengebiete der mexikanischen und kalifornischen Küste, dann Alaska und die Aleuten, hierauf folgen Kamtschatka und die Kurilen, auf der Westseite befindet sich die bebenreiche Japanische Inselwelt und die Philippinen und auf der Südseite reicht das bebenreiche Gebiet bis zu den Sundainseln und Neuguinea.

Viel bebenärmer ist die Umrahmung des Nordatlantischen Ozeans. Hier findet man auf der Ostseite nur das Atlasgebirge, Spanien, die britischen Inseln, Norwegen und Island, während an der Westseite fast keine Erdbebengebiete sind.

Diese auffallende Erscheinung beim Pazifischen Ozean führte mich auf den Gedanken, ob nicht eine unterseeische Magmaströmung an der Ostküste über den Norden zur Westküste führt und im Äquatorialgebiet den Kreislauf schließt.

Infolge der Coriolischen Ablenkung werden alle Strömungen auf der Nordhemisphäre nach rechts abgelenkt und daher drückt die Magmaströmung gegen die Kontinente, was um so stärker der Fall sein dürfte, weil anzunehmen ist, daß infolge der starken winterlichen Abkühlung und des hohen Luftdruckes von Europa-Asien und Nordamerika die tiefer nach unten reichenden Sialschichten der Kontinentalblöcke stärker in das darunter liegende Sima eintauchen, während in den Böden der Ozeanbecken dasselbe schon zutage tritt. Dadurch würde die Magmaströmung, wie es bei den Meeresströmungen durch die Festländer geschieht, durch diese tiefliegenden Kontinentalsockel abgelenkt die Ränder des Nordpazifischen Ozeans bespülen und im Äquatorialgebiet den Kreislauf schließen.

Ähnlich dürfte auch, wenn auch nicht so ausgesprochen, eine Magmaströmung unter den Rändern des Nordatlantischen Ozeans verlaufen.

An der Westküste von Südamerika dürfte ebenfalls eine solche unterseeische Magmaströmung vorhanden sein und die vielen Beben erzeugen, denn die Coriolische Ablenkung ist auf der südlichen Hemisphäre nach links gerichtet, also gegen die Küste von Südamerika hin. Diese Strömung biegt dann südlich gegen den Südpazifischen Ozean um, wo sie dann östlich des bebenreichen Gebietes des Polynesischen Inselreiches verlaufend wieder den Äquator erreicht und den Kreislauf schließt.

Alle diese Strömungen brauchen nicht als kontinuierlich fließend angenommen zu werden, sondern sie können auch intermittierend erfolgen, weil der Impuls dazu abwechselnd größer und kleiner ist, wie sich eben die Polbahn in ihrem zyklischen Verlauf ein- und aufrollt.

Es fällt nämlich vielleicht auch auf, daß die Meeres- und Magmaströmungen entgegengesetzt gerichtet sind. Das rührt daher, daß der Impuls zu den Meeresströmungen durch die Nordost- und Südostpassate im Äquatorialgebiet in ostwestlicher Richtung gegeben wird, während der Impuls zu den Magmaströmungen westöstlich gerichtet ist, weil der Rotationspol und mit ihm die kritischen Meridiane von Westen nach Osten um die Erde herumwandern.

Durch diese Darlegungen fände die sogenannte Unterströmungshypothese von O. Ampferer ihre einfachste Erklärung, indem er glaubt, daß die oberflächliche Erdhaut genötigt ist, sich in ihrer Struktur ganz den Verschiebungen der unter ihr befindlichen und daher leichter beweglichen Massen anzupassen, sie gleichsam abzubilden\*).

Ob sich aus unseren Ergebnissen auch eine Begründung des Unterschiedes zwischen dem atlantischen und pazifischen Magma ergibt, können nur erst eingehende Untersuchungen ergeben.

---

\*) O. Ampferer, Über das Bewegungsbild von Faltegebirgen. Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt Wien, L VII, 1906, S. 509—622.