

## **Werk**

**Jahr:** 1941

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:17

**Werk Id:** PPN101433392X\_0017

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X\\_0017|LOG\\_0024](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0017|LOG_0024)

## **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)

## Seismik und tektonische Geologie der Jetztzeit

Eine neue wichtige Aufgabe

Von **Robert Schwinner**, Graz. — (Mit 2 Abbildungen)

*Inhaltsangabe.* Erdbeben werden fast ausschließlich durch Scherungsbrüche verursacht, die meisten — geologisch genauer ausgedrückt — durch Blattverschiebungen. Als solche sind sie Elemente eines erdumspannenden Vorganges der rezenten Tektonik und können nur in diesem Zusammenhange vollständig verstanden werden. Das wird beispielsweise gezeigt an den „Tiefherd-Beben“, wie diese in ihrer Gesamtheit eine der wesentlichen Erscheinungen jener endogenen Umformung vorstellen, von welcher der Pazifische Raum heute betroffen wird — womit vermutlich in weiterem Zusammenhang auch geologische Vorgänge auf der anderen Erdhälfte in Verbindung stehen. Es ist klar, daß eine Kenntnis der heute ablaufenden tektonischen Vorgänge, welche eine schlüssige mechanische Deutung derselben gestatten würde, in vielen Beziehungen für alle Erdwissenschaften einen gewaltigen Fortschritt bedeuten würde. Daher sollte die Seismik (im Verein mit der Geologie) die bei Erdbeben auftretenden Scherungen nicht bloß, wie bisher, gelegentlich und vereinzelt feststellen, sondern grundsätzlich allgemein und in größtmöglicher Vollständigkeit. Der geringe Mehraufwand würde sich lohnen.

Nicht zuletzt an den Ergebnissen der Seismologie — genauer gesagt, an der Deutung derselben — lag es, wenn lange Zeit in der Geophysik die Vorstellung des starren oder festen Erdballes fast allein gelten konnte. Daraus ergaben sich Folgerungen, welche — heute, wie das Wort von Ed. Suess [14]: „der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir beiwohnen“, an und für sich als unrichtig erwiesen — niemals auch nur als „Arbeitshypothesen“ weder den Überblick im ganzen und großen, noch die richtige Einsicht in Einzelheiten zu fördern geeignet waren. Die gegensätzliche Anschauung, das Geschehen im Erdinnern unter den Bildern von Strömung aufzufassen, hatte schon 1889 Osmond Fisher zu bemerkenswerter Annäherung an geologisch brauchbare Gedankengänge geführt [3]; sie fanden gerade von seiten des tektonisch bestimmten Alpengeologen ihre Rechtfertigung in Ampferers *Unterströmungshypothese der Gebirgsbildung* [1]. In Zusammenfassung dieser beiden Gedankenkreise, der thermisch bedingten (Konvektions- oder Ausgleichs-)Strömungen im Erdinnern und der neueren Bilder vom Bau der äußeren Kruste, gab ich schon 1920 [8] ein umfassendes Bild der endogenen Vorgänge in der Geologie, auch in den Einzelheiten bereits ziemlich weit ausgearbeitet. Für die Geophysik im engeren Sinne hat die Vorstellung der Konvektionsströmungen erst in letzter Zeit wieder Anklang gefunden; damit erklärte Vening Meinesz [16] die unter den Ozeanen vielfach zu beobachtenden positiven Schwereanomalien — Übergewicht über das *isostatische* Gleichgewicht hinaus — und fand dafür mehrfach Zustimmung (vgl. dazu [7, 11]).

Diese Vorstellungsweise, die endogenen Vorgänge in den äußersten Schichten der Erde als Auswirkung von Strömungen im Erdinnern aufzufassen, bringt in

die geologischen und geophysikalischen Gedankengänge zwei *allgemeinere Gesichtspunkte*, welche der älteren „starrten“ Denkweise fremd sind. Erstens: auf der sich drehenden Erde wird jede Strömung mechanisch abgelenkt (Coriolis); das Zusammenströmen gegen einen Punkt, welcher als Ort des absteigenden Astes der Zirkulation für die Oberflächenschichten Schwinde vorstellt, und das Auseinanderströmen von jenem Ort, wo der aufsteigende Ast der Zirkulation die Oberfläche erreicht, beides wird dadurch zu *Wirbeln* umgeformt, welche nach der Benennungsweise der Meteorologie, der erstere als zyklonal, der zweite als anti-zyklonal bezeichnet werden können. Solche Wirbelstrukturen finden sich nun tatsächlich vielfach in den *Faltengebirgen*, nicht bloß im großen in ihren Bogenwindungen, Schlingen, „Sigmoiden“, sondern auch in Einzelzügen bis in den Feinbau hinab abgebildet — wie ich bereits 1920 [8] aufmerksam gemacht hatte. Dann haben die Japaner solche Wirbelstrukturen in vielen Arbeiten — die wenigstens mir zu großem Teil nicht zugänglich gewesen sind [4] — behandelt. Sie zeigten, daß dies nicht einzig ein Kennzeichen der *Faltengebirge* sei, auch in der *Bruchtektonik* herrscht solche Wirbeltendenz, insbesondere aber in den bei schweren Erdbeben an der Erdoberfläche zum Ausdruck kommenden Bodenbewegungen, wie sie sich aus der geodätischen Nachmessung ergeben, oder aus dem Drehsinn der ihnen zugrundeliegenden Sicherungsbrüche. Jedoch haben sich die Japaner — soviel a. a. O. [4] mitgeteilt — mit Feststellung der Wirbelkinematik begnügt, nicht aber versucht, dieser (durch Annahme von Konvektions- oder anderen Unterströmungen) eine dynamische Erklärung zu unterlegen, sie haben auch nicht versucht, die dabei beobachteten tektonischen Einzelheiten einem einheitlichen, den ganzen Planeten umspannenden dynamischen Plane einzuordnen.

Denn dieses ist der zweite allgemeinere Gesichtspunkt, welcher aus dem Gedankenkreis der Strömungsbilder sich ergibt, jener, welchen Emden [2] mit den Worten „*kurzer oder langer Zykel*“ bezeichnet hat, und welcher sich wie folgt kurz klarlegen läßt. Es gibt wohl inmitten des planetarischen Geschehens Vorgänge, welche vom übrigen isoliert werden können, deren Massenbewegungen und Energieumsetzungen innerhalb eines nicht allzugroßen Umkreises geschlossen und beschlossen bleiben; als Beispiel wird in der Meteorologie ein lokales, sogenanntes *Wärmegewitter* angegeben. In der Mechanik der festen Kruste würde dem etwa der Einsturz einer Karsthöhle oder eines verlassenen Bergwerkes entsprechen: das gibt eine *Einsturz-Doline* oder -*Pinge*, an diese anschließend gewisse Spannungen und Störungen in einem nicht allzuweiten Umkreis, und damit ist es Schluß. (Natürlich, mit den Wellen des Einsturzbebens wird eine gewisse Energiemenge weithin zerstreut, aber das macht weder innen noch außen viel aus, jedenfalls nichts bleibendes; das wird nur angeführt, damit diese Definition nicht haarspaltend eng verstanden werde.) Aber solche „*kurze Zykel*“ sind nicht gerade häufig. In der Luft- und Wasserhülle der Erde sind die meisten Vorgänge derart in den allgemeinen Kreislauf hinein verflochten, daß man einzelne Teile daraus nicht isolieren kann; die dynamische Betrachtung muß den ganzen erd-

umspannenden „langen Zykel“ zum Gegenstand nehmen. Und in der Erdkruste, vielmehr noch in deren unmittelbarem Substratum? Es ist klar, daß die vorerwähnte „starre“ Schule gleichzeitig jene der „kurzen Zykel“ ist; und das oft in einem Maße, das sich selbst ad absurdum führt. Wie Semper einmal [12] sehr richtig gesagt hat, gibt es wenige geologische Profile, welche man gegen die Tiefe zu fortsetzen könnte, ohne in Widersprüche zu geraten, ohne daß die in denselben angedeuteten Bewegungslinien einander nicht kreuzen oder sonstwie behindern würden; deswegen werden sie rechtzeitig abgebrochen, d. h. der Irrtum wird gemieden dadurch, daß man den zugrundeliegenden Gedanken nicht zu Ende denkt!

Für eine große Gruppe von Vorgängen in der Erdkruste, jene die zur Gebirgsbildung Orogenese gehören, gibt es gewichtige Anzeichen, daß eine Auffassung derselben als „kurze Zykel“ nicht genügen kann. Rein aus der geologischen Beobachtung hatte Stille [13] sein *orogenetisches Grundgesetz* abgeleitet, daß alle Gebirgsbildung episodisch, auf kurze Zeitspannen beschränkt, dann aber weltweit zur gleichen Zeit statthat. Das kann man kaum anders deuten, als daß die fraglichen Vorgänge einer solchen einzelnen Gebirgsbildungsepisode nicht zufällig alle ungefähr zu gleicher Zeit statthaben, sondern: weil mechanisch über den ganzen Erdball hin verknüpft, als „langer Zykel“. Damit wäre allerdings eine viel schärfere Gleichzeitigkeit gefordert, als aus geologischer Beobachtung allein erschlossen und verbürgt werden kann. Die Gegenprobe zu dieser Annahme sollte nun sein, die Gesamtheit aller jener gleichzeitigen Gebirgsbildungsvorgänge zu einem physikalisch möglichen Bilde zusammzusetzen. Das hat aber die Geologie bis jetzt nicht können, auch kaum versucht; aus einem sehr einfachen Grunde. Von den Bauten der älteren Gebirgsbildungen fehlt heute viel, weil zerstört oder überdeckt, dafür steckt in jenen der letzten Ära viel von alten Bruchstücken, die man sauber aussondern sollte, aber noch nicht ausgesondert hat, vielleicht auch nicht eindeutig aussondern kann. Abgesehen davon, daß selbst der Bau des festen Landes uns heute erst unvollkommen bekannt ist,  $\frac{7}{10}$  der Erdoberfläche ist aber Meer; welche Rolle dieser Raum bei den gebirgsbildenden Vorgängen gespielt hat, ist rein Gegenstand von Vermutungen. Wir werden niemals eine ernst zu nehmende Theorie der Gebirgsbildung bekommen, wenn wir nicht ein sowohl geologisch vollständiges als physikalisch einwandfreies Material zugrunde legen können.

Hier könnte der dem Geologen vertraute *Grundsatz des Aktualismus* etwas weiterhelfen, nämlich — einfach ausgedrückt — die Forderung, die Vergangenheit nach dem Bilde der Gegenwart zu verstehen und zu deuten. Könnten wir die Gebirgsbewegungen, welche heute vor unseren Augen ablaufen, in ihrer Gesamtheit erfassen und mechanisch verstehen, so würden wir im Verständnis der Gebirgsbewegungen früherer geologischer Zeiten ein gutes Stück vorwärts gekommen sein. Aber gerade die heutigen Gebirgsbewegungen kennen wir viel schlechter als die ältere Tektonik, sozusagen nur aus der Froschperspektive. Ausnahmsweise bei Katastrophenbeben beobachten wir von den relativen Bewegungen aneinander-

stoßender Krustenschollen etwas. Hebungen und Senkungen relativ zum Meeresspiegel sind nur von einigen Küsten, und da oft recht ungenau und unsicher bekannt. Für geodätische Vermessungen sind so kleine und langsame Bewegungen schwer zu erfassen, vor allem darf man nicht glauben, daß die Kenntnis der heutigen Gebirgsbewegungen sozusagen als Nebenprodukt der Landesvermessung uns in den Schoß fallen könnte [9]. Eigens für diesen Zweck geplante Vermessungen — welche bessere Aussichten geben — werden nur in Ausnahmefällen, wenn wichtige andere Interessen dafür sprechen — durchgeführt werden (Rheinisch-Westfälisches Bergwerksgebiet). Keinesfalls aber wird auf dem Wege direkter Vermessung uns die Gesamtheit der heute laufenden Gebirgsbewegungen zur Kenntnis kommen; Messungen von jener Genauigkeit, welche zu diesem Zwecke nötig sind, werden für alle absehbaren Zeiten nur kleine Teile der Erdoberfläche erfassen.

Dagegen gibt die *Beobachtung von Erdbeben* eine Möglichkeit, Vorgänge über die ganze Erdoberfläche zu verfolgen. So wie die seismische Beobachtung heute schon organisiert ist, können diese Erschütterungen von einer bestimmten Stärke aufwärts nirgends auf der Erde entgehen, auch nicht, wenn der Bebenherd unter See liegt: das ist die einzige geologische Beobachtung, welche auch vom Gebiet des Ozeans ohne weiteres zur Verfügung steht. Allerdings Bewegungen, die ganz still, erschütterungsfrei vor sich gehen, entgehen dieser Methode. Aber sind das gar so viele? Ein Muster solcher stiller Tektonik ist die Skandinavische Landhebung, und selbst diese wird von Beben am Rande und in anderen Bruchzonen begleitet, zwar nicht stark und häufig, aber doch regelmäßig. Wir können daher sagen, jede tektonische Bewegung wird irgendeinmal ein Beben hervorrufen und daher ihr Bestehen der seismischen Beobachtung andeuten. Andererseits sind zweifellos die Erdbeben mit ganz wenig Ausnahmen\*) auf tektonische Vorgänge zurückzuführen, und zwar genauer gesagt auf *Scherungsbrüche*: ein Stück der Erdkruste wird allmählich deformiert, bis an einer (meist vorgegebenen älteren) Schubfläche die Tangentialspannung die Widerstände (Reibung und vielleicht auch die Kohäsion der Kluftabsätze, welche in der Ruhezeit die alte Bewegungsbahn verklebt hatten; viel seltener die Kohäsion in bis dahin ungestört gewesenem Gestein) überwindet; das Ausschellen der dabei freiwerdenden Kluft-Lippen pflanzt sich dann als elastische Welle, als Erdbeben, fort. Wie schon gesagt, der Erdbebendienst ist heute darauf eingerichtet, alle jene Erschütterungen, welche eine Station erreichen, die großen „Welt“-Beben und die schwächeren Beben aus der Nachbarschaft der Station, ausnahmslos aufzuzeichnen und auch bis zu einem gewissen Grade zu verarbeiten. Regelmäßig wird die Lage des Herdes bestimmt, die geographischen Koordinaten des Epizentrums und auch, wo möglich, die Tiefe des Herdes. So wird ein ungeheures Beobachtungsmaterial aufgehäuft, aber bis jetzt noch nicht nach allen Möglichkeiten ausgewertet. Denn es wird jedes Beben einzeln für sich, sozusagen atomistisch bearbeitet, höchstens daß

---

\*) *Einsturzbeben* — die aber auch in gewissem Sinne als tektonisch bezeichnet werden können — und *Explosionsbeben*; aber ein Teil der von Vulkanen ausgehenden Beben hat sich auch als Scherungsbeben erwiesen!

den regionalen Zusammenhängen nachgegangen wird. Bietet eine planetarische Zusammenfassung Ausblick auf tiefere Einsichten? Das läge immerhin so nahe, daß man es auf jeden Fall versuchen sollte. Außerdem fand sich aber ein Beispiel, daß die von bestimmten Beben signalisierten heutigen Krustenbewegungen sich zu einem „langen Zykel“ erdumspannend zusammenschließen und nur in diesem Zusammenhange eine physikalische Deutung finden können.

Es handelt sich da um die rätselhaften „*Erdbeben mit tiefen Herden*“, mit Herdtiefen über 50 und bis 500, ja gelegentlich bis 700 km. Ihre geographische Verbreitung hält sich ausschließlich an dem *Umkreis des Stillen Ozeans* — die Herde in Westindien und (? und vereinzelt) in den Südantillen gehören eigentlich wohl auch zu diesem Kreis, die des Sundabogens schließen an ihn unmittelbar an, nur die Gruppe in Turkestan (und vielleicht noch andere vereinzelt in sonstigen asiatischen Gebirgen) fällt heraus —, und daher ist von vornherein zu vermuten, daß sie mit dem Gebirgsbau dieser Erdhälfte und seiner rezenten Weiterentwicklung wesentlich verknüpft sind. Eine zweite rätselvolle Erscheinung, jene *Streifen negativer Schwereanomalien*, deren ersten Hecker am Tonga-Tief entdeckt hat und deren Verbreitung uns dann Vening Meinesz kennengelernt hat, ist ganz auf das Gebiet beschränkt\*), in welchem Tiefherdbeben vorkommen, allerdings in geringerer Ausdehnung als diese. Längs den betreffenden Küsten, welche selbst isostatisch positive Schwereanomalie zeigen, zieht etwa 100 bis 150 km von der Strandlinie entfernt durchs Meer ein Streifen wieder von 80 bis 150 km Breite hin, in welchem die Schwere — auch nach der isostatischen Reduktion! — um 100 bis 150, ja stellenweise bis 200 Milligal unternormal ist. Ebenso wie auf der Landseite wird ozeanwärts dieser Streifen negativer Anomalien wieder von einer *Zone positiver Anomalie\*\*)* eingefafßt, die dann weiter in geringerem Maße auch auf großen Ozeanflächen zu beobachten ist.

\*) Beim jetzigen Stand der Kenntnis sind allerdings Ausschließungsaussagen unsicher. Wirklich festgestellt ist nur, daß vor der Front der *Philippinen* der Streifen von negativer Schwereanomalie aussetzt und isostatisch-positiver Anomalie Platz macht (aber auch diese ist ein Minimum, wenn auch ein schwächeres, besonders im Verhältnis gegen die Küste: 15, II, S. 91, Nr. 142 bis 146). Der *Australische Block* zeigt im N und O längs der ganzen „Andesit-Linie“ von Neu-Guinea zu den Tonga-Inseln und weiter bis Neuseeland Tiefherdbeben, Schweremessungen liegen nur von Tonga- und Kermadec-Front vor — diese mit sehr starken negativen Schwereanomalien. W vor *Südamerika* fehlen Schweremessungen ganz. Es ist möglich, ja wahrscheinlich, daß sich da noch manches finden wird, wie sich ja die negative Schwereanomalie nachträglich auch vor Japan gefunden hat.

\*\*\*) Früher erschien die sog. „*Hidden Range*“ *Ostindiens* schon durch ihre Einzigartigkeit rätselhaft — das ist nämlich ein Streifen positiver Schwereanomalie, welcher die Halbinsel etwa von der Indus- zur Ganges-Mündung durchzieht, südlich vom „Gangestrog“, der Zone negativer Schwereanomalie im Vorfeld des Himalaya-Kettengebirges, die also genau so liegt wie der Vening Meineszsche Streifen im Vorfeld des Sundabogens. Demnach findet aber die *Hidden Range* ein vollkommenes Analogon in der Zone positiver Schwereanomalien, welche über Christmas-Insel usw. das asiatische Kettensystem auf der Ozeanseite begleiten, und ebensowohl auch in jenen positiven Anomalien (immer isostatisch zu verstehen), die südlich der mediterranen Gebirgszone

Weiter ist hervorzuheben, daß die Verbreitung der Tiefherdbeben fast gänzlich in den „*Pazifischen Feuerkreis*“ hineinfällt, jene Reihen von tätigen Vulkanen, welche den Küsten und Inselketten rund um den Stillen Ozean aufgesetzt sind, meist begleitet von beträchtlicher positiver (isostatischer) Schwereanomalie (Japan, Philippinen, Sundabogen und wohl noch andere), und welche durch chemische Verwandtschaft ihrer Förderung, das „*Pazifische Magma*“\*), noch weiter verbunden sind. Die einzige Ausnahme, Tiefherdbeben ohne Begleitung tätiger Vulkane, findet sich in Turkestan. Wohl aber geht die Verbreitung der Vulkane über die der Tiefherdbeben hinaus, in Nordamerika (Aleuten—Alaska usw.) und in Südamerika südlich des 40. Parallels; die Tiefherdbeben hören hier auf, gerade wo die Westküste dieses Kontinents den Typus der Senkungsküste annimmt. Sonst sind die *Küsten vom pazifischen Typus* wohl meist als Hebungsküsten zu betrachten, was durch den scharfen Kontrast zu den jungen Senkungen im anstoßenden Meeresstreifen, den Tiefseegräben, die beinahe ausschließlich auf sie beschränkt sind (einzige Ausnahme Romanche-Tief?, die in Westindien gehört ja eigentlich zur Pazifik-Umrandung?) noch besonders hervorgehoben wird. Schließlich sind auch noch Zusammenhänge angedeutet zwischen der Verbreitung der Tiefherdbeben und der des *Erdmagnetismus*, besonders seiner säkularen Änderung, doch darauf können wir hier nicht weiter eingehen.

Für die Schwereverhältnisse am pazifischen Rande hat Vening Meinesz [17] mit seiner *Knickungstheorie* eine Erklärung gegeben, welche nur einer geringen Abänderung bedarf. So völlig symmetrische Dislokation, wie er zeichnet, ist geologisch nicht oder doch nur äußerst selten beobachtet, sie ist schon deswegen nicht wahrscheinlich, weil die beiden „Balken“, welche gegeneinander stoßen, Festlands- und Ozeanblock, offensichtlich nicht genau im gleichen Niveau liegen. Die *Asymmetrie dieses tektonischen Vorganges* wird aber nicht nur theoretisch gefordert, für sie liefert die *seismische Beobachtung* unmittelbar Anhaltspunkte. An allen diesen pazifischen Küsten liegen die Epizentra der gewöhnlichen (seichten) Beben meist draußen in der Vortiefe, die der Tiefherdbeben weiter gegen den Kontinent einwärts, und zwar desto mehr landeinwärts, je tiefer ihr Herd liegt. Beispielsweise liegen in Südamerika die Epizentra der Herde von 100 km Tiefe noch ungefähr an der Westküste oder nur wenig von dieser landein, die der Beben

---

bekannt sind, im Roten Meer, auf Zypern (neuestens erst entdeckt) und weiter im Bereich von Mittelmeer und Alpenvorland, Endgültige Erklärung steht ja wohl noch aus, aber sie erscheint nunmehr zweifellos an die Bildung und Ausgestaltung dieser großen Faltengebirgszonen geknüpft, also an das Hauptproblem der Gebirgsbildung.

\*) Vielleicht ist es besser, *Kalk-Alkali-Sippe* zu sagen, um dem Widerspruch zu entgehen, daß „Pazifisches Magma“ eigentlich nur außerhalb des Pazifik herrscht, im Inner-Pazifischen Raum selbst aber „Atlantisches“, d. h. Alkali-Magma, wie es sonst die Schollengebiete der Kontinente charakterisiert. Abgesehen von dieser Sippenbeziehung ist die Förderung außen saurer (typisch die „Andes-ite“) und sehr explosiv (Krakatau z. B.), im Innern meist sehr basisch und ruhig, gasarm (Hawai z. B., vgl. 18, II/1, S. 777).

von 600 km Herdtiefe befinden sich aber bereits östlich der Andenkette! Ähnliches beobachtet man an allen anderen pazifischen Küsten. Die Lage der Bebenherde von geringer bis zu 600, ja 700 km Tiefe, kennzeichnet eine *Bewegungszone*, welche von der Saamtiefe 35° bis 45° landeinwärts fallend die Kontinentaltafel unterfährt. An diesen Bewegungsbahnen ist der Kontinent auf seinen vordersten Ranft auf- und hinaufgeschoben. Diese Randzone war meistens eine von früheren Orogenesen aufgefaltete Randkette (Timor usw. im Sunda-Archipel); dieser alpinen Faltung entsprechend griff sie von vornherein mit einer „*Gebirgswurzel*“ aus Sial in das schwerere Substratum hinab. Diese Gebirgswurzel wurde und wird

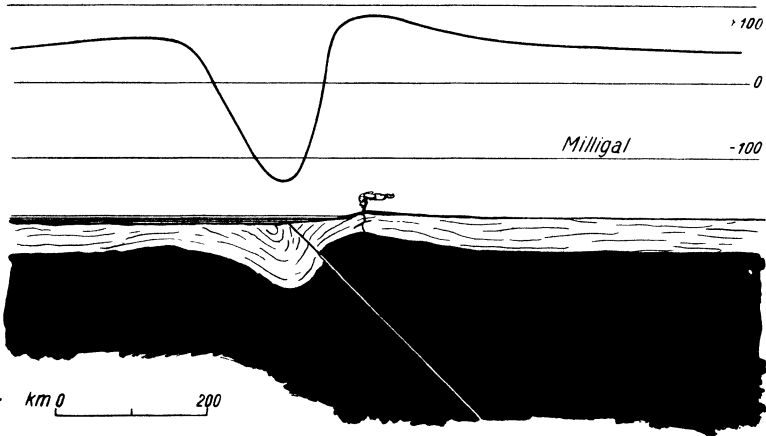


Fig. 1. *Typisches Profil einer pazifischen Küste*. Nicht überhöht (abgesehen von einigen unvermeidlichen Kleinigkeiten, so ist z. B. das Meer zu tief, sonst könnte man es gar nicht zeichnen): Weiß = „Sial“-Kruste; schwarz = Substratum = „Sima“. Durch beides zieht von der Saamtiefe landeinwärts fallend eine *Überschiebungszone* (nur durch einfache Linie angedeutet), an der die *Tiefherdbeben* ausgelöst werden; sie wäre noch bis mindestens der doppelten Tiefe der in der Zeichnung gegebenen zu verfolgen. Am Kontinentalrand ist über der höchsten Aufwölbung des Sima ein *Vulkan* angedeutet. Die darübergezeichnete Schaulinie zeigt die *Schwerestörung* (nach Vening Meinesz)

durch die Last des auf den Ranft auffahrenden Kontinents natürlich noch tiefer ins Sima hinabdrückt: Ergebnis der Vening Meineszsche Streifen mit den großen isostatischen Schwereanomalien. Andererseits liegt unter der als Block auf den Ranft hinaufgewuchteten Kontinentaltafel das schwerere simatische Substratum höher als normal: das gibt die positiven Schwereanomalien im Hinterland. Wo diese Emporstauchung des Sima am höchsten reicht, ist bevorzugte Gelegenheit zu Gasfreisetzung, zu Abspaltung eines saueren Differentiates, das dann vielleicht beim Aufsteigen durch die Kruste durch Assimilation von sialischem Material noch mehr in Richtung der „pazifischen“ Entwicklung seines Chemismus gedrängt wird: in dieser Position entstehen daher die *Vulkane* des „Pazifischen Feuerkreises“ (vgl. dazu Fig. 1). Auch seewärts des Vening Meineszchen Streifens



negativer Schwereanomalien mag da, dort wieder positive Schwereanomalie beobachtet werden, ähnliche Aufstauchung das schwerere Substratum hochbringen, auch vulkanische Förderung mag wiederum damit verknüpft sein; nur haben wir davon nicht durch unmittelbare Beobachtung Kenntnis.

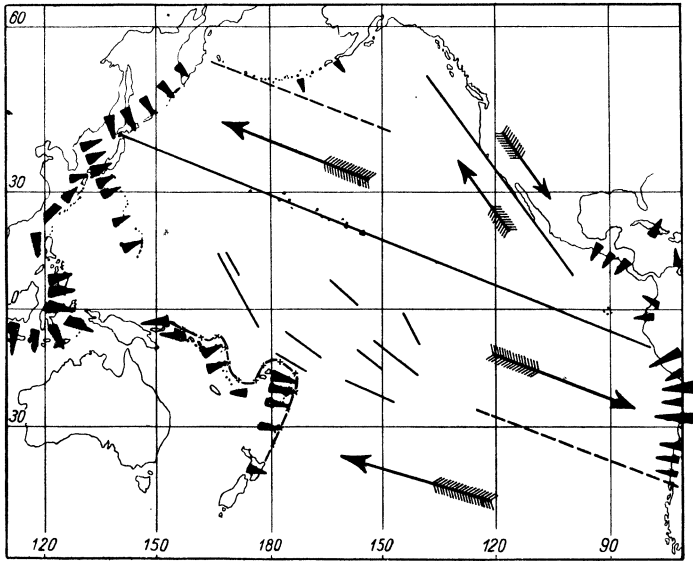


Fig. 2. Die Tiefherdbeben der pazifischen Erdhälfte. Leider waren in den Atlanten, die ich zur Hand hatte, als verwendbare Kartenunterlage nur solche mit Merkator-Projektion zu finden. Da es sich hauptsächlich um Tropen handelt, sind die Verzerrungen nicht allzu groß. In dieser Projektion können Richtungen wohl nur als Gerade anschaulich gemacht werden. Vorläufig kann es sich auch nur um Anschaulichkeit handeln, maßrichtige Darstellung ist spätere Sorge. Aber es muß hier betont werden, daß die Scherung *sicherlich nicht nach der Loxodrome geht*. Eher nach einer Orthodrome und der Schar der zu dieser parallelen Kleinkreise, aber das wäre mühsam zu konstruieren gewesen und mit den ziemlich bizarren Kurven weniger verständlich. Die Tiefherdbeben sind durch schwarze Keile angegeben, von denen jeder eine ganze Gruppe der bekanntgewordenen Epizentra darstellt; und zwar liegt die Spitze des Keiles bei den Epizentren der seichteren Beben, das breite Ende bei den tiefsten Beben der betreffenden Gruppe. Dadurch wird das Gefälle der den Kontinentalrand unterfahrenden *Schubzone* angedeutet. Ein wenig Willkür liegt natürlich immer in solchen Zusammenfassungen und Generalisierungen, wie sie aber in diesem kleinen Maßstab nicht zu vermeiden ist

Die angeführten Beobachtungen können natürlich nur die *relativen Bewegungen* der gegeneinander stoßenden Schollen erkennen lassen. Betrachtet man sie aber in ihrer Gesamtheit, so lassen sich doch mit einiger Wahrscheinlichkeit die Grundlinien für das *Bewegungsbild im pazifischen Raume* skizzieren. Es erscheint plausibler, daß die Kontinentalschollen von allen Seiten mit *Überschiebungen* hinein

gegen den Ozean hin vorstoßen, als daß die Schollen des Ozeanbodens nach allen Seiten auseinanderdrängend sich den sie rundum umgebenden Kontinentalschollen *unterschieben* würden. Letzteres würde eine Vergrößerung der Fläche dieses Ozeans im ganzen bedeuten, die schwer vorzustellen ist, und würde eine Ergänzung durch magmatischen Einschub aus dem Substratum fordern, für welchen — wenigstens in diesem Ausmaße — ein Anhalt in den Beobachtungen nicht gegeben ist. Es ist aber auch nicht anzunehmen, daß sich dieser große Erdraum rein passiv verhalten würde. Das trauen dem „Erderschütterer Poseidon“ weder Geophysiker noch Geologen zu. Es würde sich da um einen tektonischen Vorgang handeln, bei dem die Fläche des Ozeans nicht wesentlich vergrößert würde: das kann nur eine Schiebung sein. Die *Scherspalten*, welche dabei entstehen, sind in den Inselzeilen Polynesiens abgebildet: Vulkanbauten, in denen das Magma zum Teil heute noch emporquillt (am großartigsten in der Reihe der Hawai-Inseln), oder welche nach dem Ersterben der Vulkantätigkeit durch Korallen maskiert worden sind. Entsprechend dem Streichen dieser Scherspalten, die WNW—OSO (Hawai) bis NW—SO streichen, stießen die ozeanischen Krustenschollen im nördlichen Becken des Pazifik gegen Japan, im südlichen gegen Südamerika vor (Fig. 2). An der Westküste von Nordamerika (besonders der USA.) geht diese Schollenbewegung parallel zur Küste: S. Andreas-Spalte. Daher finden sich hier weder Tiefherdbeben noch negative Schwereanomalien, auch fast keine tätigen Vulkane (abgesehen von Resten alter, erlöschender Aktivität: Beispiel Lassen Peak). Die *Hauptscherspalte* zwischen der WNW- und der OSO-bewegten Schollen trifft geht durch die Hawai-Inseln, die südliche Schollentrift wird etwa von einer Linie desselben Streichens Neu-Mecklenburg—Samoa—Chiloe begrenzt, als ob diese Trift gerade nur am Rande des Australischen Blockes vorüberstreichen könnte, und südlich dieser Linie scheint neuerlich eine WNW-liche Ozeanschollentrift gegen die Front Tonga—Kermadec—Neuseeland anzubranden. Doch deutet das fiederförmige Auseinanderflattern der Inselzeilen und manches an der Ecke gegen den Sundabogen auf Verwicklungen, die um den so eigenartig vorspringenden Australischen Block die Einfachheit des Bewegungsbildes stören, so daß wir hier nicht weiter darauf eingehen wollen. Mit diesem tektonischen Vorgang auf der pazifischen müssen auf der anderen Erdhälfte wohl auch weitere Krustenbewegungen mechanisch verknüpft sein, etwa Abspaltungen und Scherungen, die auch hier, wie im Innerpazifik, mit Vulkanen atlantischer Förderung verknüpft sind (Ostafrika, Mittelmeergebiet usw.). Aber es ist nicht nötig, hier schon auf die verwickelten Fragen einzugehen. Die Zusammenhänge, welche im pazifischen Raume augenfällig bestehen, genügen, um *in den Tiefherdbeben die Äußerung eines echten „langen Zykel“* zu erkennen, eines wahrhaft erdumspannenden Vorganges, welcher heute vor unseren Augen abläuft.

Dieses Beispiel macht klar, welche Aufgabe der Seismik gestellt ist. Bisher wurde jedes Beben sozusagen als Individuum behandelt, höchstens von statistischen Gesichtspunkten aus erfolgte gelegentlich eine Zusammenfassung. Nunmehr ist jedes Beben als Teilakt eines erdumspannenden „langen Zykel“ an-

zusehen\*), die einzelne Schollenbewegung gewinnt ihre Bedeutung nur durch die Stellung, welche sie in diesem großen Bewegungsplan einnimmt und ist nur in diesem Zusammenhang mechanisch zu verstehen. Bei tektonischen Erdbeben handelt es sich, wie schon erwähnt, um Scherung, und zwar bei den meisten gewöhnlichen Beben um Scherung mit ungefähr lotrechter Symmetrieachse, indem die ersten Bewegungen der Schollen an der Erdoberfläche meist  $\perp$  waagrecht zu sein pflegen. Die seismische Beobachtung liefert mit den Koordinaten des Herdes (wenigstens des Epizentrums, und unter Zuhilfenahme geologischer Daten) die Schubfläche, damit die zwei bewegten Schollen, und ferner aus der ersten Bodenbewegung auf den verschiedenen Stationen Knotenlinie und Zug—Druck-Quadranteneinteilung, also (wieder mit geologischer Hilfe) die relative Bewegung dieser zwei Schollen. Sind eine Anzahl solcher Schollenbewegungen bekannt, so folgen mechanisch notwendig eine Anzahl weitere daraus, insbesondere wenn man die im Gebirgsbau gelegenen Tendenzen berücksichtigt; die Lücken, die wohl immer bleiben werden, können nicht schrecken; sie auszufüllen, ist die gewöhnlichste Arbeit des Geologen. Derart könnte man nach und nach zuerst für einzelne Regionen und dann daraus für die ganze Erde das Bild der tektonischen Bewegungen aufbauen, die heute im Gange sind. Mit diesem Bilde könnten physikalische Deduktionen endlich sich auf Beobachtungen stützen.

Zu diesem Zwecke müßten die bisher gebräuchlichen Arbeiten der Seismologie nur in einigem ergänzt werden, meist nur mit ganz geringem Mehraufwand. Die Untersuchung der Bebenausbreitung auf Teilung in Druck- und Zugquadranten ist auch jetzt schon vielfach durchgeführt worden, sie müßte künftig als ebenso selbstverständliche Pflicht angesehen werden wie die Bestimmung der Herdkoordinaten. Das einzige Hindernis würde sein, daß heute noch viele Seismographen mit zu geringer Geschwindigkeit registrieren; es müßte allgemein etwa 1 mm in der Sekunde gefordert werden. Eine Registriergeschwindigkeit dieser Größenordnung ist heute von den Fachleuten schon vielfach gefordert worden. Das kostet eventuell eine Umänderung des Laufwerkes und einen dauernden Mehraufwand für Registrierpapier, der gegenüber dem sonstigen Aufwand für den Erdbebendienst unbedeutend ist. Für die zivilisierten Gegenden ist die Stationsdichte genügend. Möglich, daß einige weitere Stationen nötig wären, um dieses Programm für die ganze Erde durchzuführen. Aber das kann *cura posterior* bleiben, es ist erst zu beurteilen, wenn einmal eine Übersicht über das ohne weiteres zu erlangende Material vorläge. Und es ist kein Grund, diese Zusammenstellung zu unterlassen; auch wenn die Übersicht über die ganze Erde nicht gleich gewonnen

---

\*) Vielleicht ist dieser der *Ausklang der letzten, der alpidischen Faltungsära*? Geologische Beispiele großzügiger Blockbewegungen ähnlicher Art, wie sie durch die Tiefherdbeben rund um den Pazifik angezeigt werden, könnten sein: die „alpino-dinarische“ Grenzüberschiebung der alpidischen Mittelmeerzone, die moravische Überschiebung des Variskischen und der *Moine-Thrust* des Kaledonischen Gebirges und wohl andere mehr, alle als Abschluß einer Orogenese. Auch Stille nimmt an, daß wir heute noch sozusagen im Schatten der letzten großen Gebirgsbildung stehen.

werden kann, würde es von hohem Werte sein, für einzelne größere Regionen ein Bild der wirklich dort vor sich gehenden Gebirgsbewegungen zu erhalten.

Zum Schlusse sei noch betont, daß eine Verbreiterung und Vertiefung der Erdbebenforschung in der skizzierten Richtung notwendig zu *engerer Zusammenarbeit mit der Geologie* führen muß. Die Spezialisierung in Instrument und Theorie hat diese Kameradschaft gelockert; es muß alles begrüßt werden, was diese naturbedingte Verbindung wieder enger knüpft. Es kann beispielsweise bemerkt werden, daß die heutige Geologie der modernen Geophysik sehr viel verdankt in Theorie und Praxis. Aber eben die praktische Erfahrung hat gelehrt, daß die feinste geophysikalische Bodenuntersuchung nicht viel ausrichtet, wenn sie nicht von richtigen geologischen Gedankengängen geleitet wird.

### Literatur

- [1] O. Ampferer: Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. *Jahrb. Geolog. Reichs-Anst. Wien* 1906, S. 539—622.
- [2] R. Emden: *Gaskugeln*. Leipzig 1907.
- [3] O. Fisher: *Physics of the Earth's Crust*. 2. Aufl. London 1889, bes. S. 77, 313.
- [4] S. Fujiwhara, T. Tsujimura u. S. Kusamitsu: On the Earth-Vortex, Echelon-Faults and allied phenomena. *Ergebn. Kosm. Physik* 2, 303—360. Leipzig 1934.
- [5] B. Gutenberg u. C. F. Richter: Depth and Geographical distribution of Deep-Focus Earthquakes. *Bull. Geolog. Soc. of America* 49, 249—288. New York 1937.
- [6] B. Gutenberg u. C. F. Richter: (Second Paper), ebenda 50, 1511—1528 (1939).
- [7] W. Heiskanen: Über die Struktur und Figur der Erde. *Gerlands Beitr. z. Geophys.* 57, 132—170, Leipzig 1941.
- [8] R. Schwinner: Vulkanismus und Gebirgsbildung. Ein Versuch. *Zeitschr. f. Vulkanologie* 5, H. 4, 175—230, November 1920.
- [9] R. Schwinner: Gebirgsbewegungen und Erdmessung in Süddeutschland. *Zeitschr. Deutsch. Geolog. Ges.* 85, 189—213, Berlin 1933.
- [10] R. Schwinner: Zur Deutung der „Unterseeischen Schelfrinnen“. *Petermanns Geograph. Mitt.* 1941, H. 6, S. 205—207.
- [11] R. Schwinner: Der Begriff der Konvektions-Strömung in der Mechanik der Erde. *Gerlands Beitr. z. Geophys.* 1941 (im Druck).
- [12] M. Semper: *Die geologischen Studien Goethes*. Leipzig 1914, bes. S. 10/11.
- [13] H. Stille: *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. Berlin 1924.
- [14] E. Suess: *Das Antlitz der Erde*, bes. Bd. I/2, S. 778 (1885).
- [15] F. A. Vening Meinesz: Gravity Expeditions at Sea. *Publ. Netherlands Geodetic Commission*. Delft 1932—1934.
- [16] F. A. Vening Meinesz: Gravity and the Hypothesis of Convection-Currents in the Earth. *K. Akad. Wetensch. Amsterdam* 37, Nr. 2, 37—45 (1934).
- [17] F. A. Vening Meinesz: The Earth's Crust deformation in the East Indies. (Provisional Paper.) *Ebenda* 43, Nr. 3, 278—293 (1940).
- [18] F. v. Wolff: *Der Vulkanismus*, Bd. II, 1. Teil, Stuttgart 1929.