

## Werk

**Jahr:** 1926

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:2

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

**Werk Id:** PPN101433392X\_0002

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0002](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0002)

**LOG Id:** LOG\_0008

**LOG Titel:** Vorträge, gehalten auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft vom 7. bis 9. Dezember 1925 in Göttingen

**LOG Typ:** section

## 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)

**Vorträge, gehalten auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft**  
vom 7. bis 9. Dezember 1925 in Göttingen.

**Über die Wiederherstellung  
des Netzes seismischer Stationen von USSR und über den  
gegenwärtigen Zustand der Arbeiten des Physikalisch-Mathe-  
matischen Instituts der Akademie der Wissenschaften.**

Von **W. Stekloff.**

Direktor des Phys.-Math. Instituts der Akademie der Wissenschaften von USSR.

Mit dem Anfang des Weltkrieges im Jahre 1914 wurde der Verkehr zwischen den russischen seismischen Stationen und den seismologischen Instituten im Ausland unterbrochen.

Im Mai 1916 starb der Begründer und Leiter der seismologischen Organisation, Akademiker B. B. Galitzin. Gegen Anfang 1918 war die Arbeit an beinahe allen seismischen Stationen wegen Mangels an Heizung, Licht und Photopapier eingestellt.

Besonders schwer hat das seismische Netz während des Bürgerkrieges von Ende 1917 bis Anfang 1918 gelitten.

Die Seismische Zentralstation zu Pulkowo verblieb ohne jede Aufsicht und Heizung; das große zweistöckige Haus mit Laboratorium, Berechnungs- und photographischen Zimmern, sowie mit den Wohnungen der Beamten der Station wurde in der Nacht zum 1. Januar 1919 niedergebrannt, das Dach des Elektrizitätswerkes wurde beim Bombardement zerschossen und der unterirdische Pavillon war vollständig untauglich geworden.

Die Station zu Tomsk für Beobachtungen der Gezeiten wurde teils zerstört, teils ausgeplündert, diejenige von Makejewka (im Donnetzbecken) hat ebenfalls schwer gelitten; sie wurde in einen Wohnraum für Bedienung verwandelt, während der Pavillon als Keller benutzt wurde.

Die Stationen 1. Klasse zu Irkutsk, Taschkent und Baku mußten ihren Betrieb einstellen, da sowohl die Beobachtungsräume als auch alle Instrumente stark beschädigt waren.

Die Stationen 2. Klasse zu Kabansk, Marituj, Zurnabat, Werny, Piatigorsk, Borshom und andere wurden ebenfalls teils ausgeplündert, teils zerstört.

Der Verkehr mit Leningrad wurde bis 1921 unterbrochen und erst 1922 wieder aufgenommen.

Einer der Hauptphysiker des Physikalischen Laboratoriums der Akademie der Wissenschaften, Prof. Wilip, der auf dem Gebiete der Seismologie arbeitete, sowie dessen Mechaniker-Konstrukteur Masing verließen Rußland, um als estnische Optanten heimzureisen. Infolgedessen mußte die Tätigkeit der Werkstätten des Laboratoriums eingestellt werden, und es wurden deren Räume später in Wohnungen verwandelt. Das Laboratorium verblieb ohne Heizung und öfter ohne Beleuchtung.

Am wenigsten hat die Station zu Ekaterinburg gelitten, aber auch diese hatte ihren Vorrat an Photopapier gegen das Ende dieser Periode verbraucht und litt an Mangel von Licht und Heizung.

Diese Lage dauerte bis Ende 1921, als ich es für notwendig hielt, zu außerordentlichen Maßnahmen zu greifen, um die Tätigkeit sowohl des Physikalischen Laboratoriums als auch des zerstörten seismischen Netzes wiederherzustellen.

Bereits im Jahre 1921 gelang es uns, nicht nur die Tätigkeit des Physikalischen Laboratoriums neu zu organisieren, sondern es auch in ein Physikalisch-Mathematisches Institut mit Abteilungen für Seismologie, allgemeine Physik und Mathematik zu verwandeln.

Im Laufe der letzten Jahre wurde ein Kredit von 40 000 Goldrubel erwirkt, um im Ausland neue Apparate und Instrumente zu erwerben, und es gelang, mit Unterstützung des Volkskommissars für Auswärtigen Handel, Herrn Krassin, zum Einkauf von Büchern, Tabellen usw. für die mathematische Abteilung des neu eröffneten Instituts, die durch den Akademiker A. Kryloff im Ausland eingekauft und der Akademie zugestellt worden waren, einen Zuschuß zu erhalten. Gleichzeitig erhielt die genannte Abteilung als Geschenk die Büchersammlungen der Akademiker Stekloff, A. Markoff, Prof. Korkin und erwarb diejenige des verstorbenen Akademikers A. Liapunoff.

Die Regierungsorgane von Leningrad kamen den Bedürfnissen der Akademie entgegen und überwiesen ihr einige Gebäude, so daß die Zahl der zur Verfügung stehenden Räume fast verdoppelt wurde. Der Rat der Volkskommissare, der die große Bedeutung der Akademie für die ganze Republik anerkannte, wies einige Mittel zur Reparatur und Einrichtung dieser Gebäude an. Diesen Umständen verdanken wir es, daß der Flächeninhalt des in ein Physikalisch-Mathematisches Institut umgewandelten Physikalischen Laboratoriums von 86 Quadratfaden auf beinahe 300 Quadratfaden vergrößert wurde. Heute nimmt das Physikalisch-Mathematische Institut drei Stockwerke im linken Flügel des Hauptbaues der Akademie (Universitätskai 5) ein, deren Reparatur und Ausrüstung jetzt beendet ist.

Die neuen Werkstätten im Unterbau funktionieren bereits seit einem Jahre. Ein großer Teil der im Ausland bestellten neuen Apparate und Instrumente ist bereits angekommen, unter anderem neue Fräsmaschinen, die schon aufgestellt sind, ein Vorrat von Photopapier für seismische Stationen usw.

Inzwischen haben unsere Werkstätten eine Reihe von Instrumenten neuer Konstruktion für Seismologie und Schwerkraft angefertigt. Mehrere Bestellungen sind von anderen wissenschaftlichen Instituten der Republik eingelaufen. In letzterer Zeit wurden z. B. fünf Variometer von Eötvös, eines vervollkommneten, dem Heckerschen analogen Typus konstruiert. Es genügt zu bemerken, daß unsere Instrumente fast 15 mal weniger wiegen als die gewöhnlichen Variometer von Eötvös, daß ihre Anfertigung sehr viel billiger ist, während sie jedenfalls den letzteren an Präzision nicht nachstehen und dabei weniger Zeit zur Ausführung der Beobachtungen beanspruchen.

Die neuen Variometer wurden bereits im Herbst 1924 während einer gravimetrischen Expedition in das Gebiet des platinhaltigen Dunit-Massivs im Ural

bei Feldarbeiten geprüft, wobei während 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Monaten Arbeit unter der Führung von Prof. Nikiforow, Hauptphysiker des Instituts, über tausend Punkte aufgenommen worden waren, während für dieselbe Arbeit bei der Benutzung der alten Variometer wenigstens sechs Monate erforderlich gewesen sein würden. Im Sommer dieses Jahres wurde eine neue Expedition organisiert ins Gebiet des Ibetzkaia (Südural), Satschita und neuerdings eine dritte ins Gebiet des Krivoi Rog, deren Resultate nach Abschluß der Bearbeitung im Bulletin des Instituts veröffentlicht werden sollen. Es werden auch verbesserte Pyrometer, Modell des Akademikers Kurnakow, Teilmaschinen (neues Modell) usw. angefertigt.

Einem besonderen Ausschuß der Wissenschaft beim Rat der Volkskommissare, welcher auf die Initiative der Akademie und des Vorsitzenden des Rates, A. Rykow, gegründet worden war, verdankt die Akademie etwa 5000 Goldrubel für die Wiederherstellung der seismischen Stationen. Seitens der Akademie selbst wurde eine Summe für die vorläufige Reparatur der Zentralstation zu Pulkowo angewiesen.

Laut Budget des vorigen Jahres wurde ein spezieller Kredit von 25 000 Rubel angewiesen zum Aufbau eines neuen Wohnhauses zu Pulkowo statt des niedergebrannten. Sowohl der Bau als auch die innere Ausrüstung ist bereits fertiggestellt.

Andere Reichsanstalten entsprachen in Anerkennung der Bedeutung der seismologischen Beobachtungen und Untersuchungen der Anregung des Physikalisch-Mathematischen Instituts der Akademie und nahmen an den gemeinschaftlichen Arbeiten teil.

Der Volksökonomierat übernahm die Ausgaben für die Wiederherstellung der Station 1. Klasse Makejewka und die Bezahlung ihrer Beamten. Die Tätigkeit dieser unter der Leitung des Mathematisch-Physikalischen Instituts stehenden Station befaßt sich hauptsächlich auch mit der Bearbeitung wichtiger Aufgaben des Bergbaues, wie des Auftretens schlagender Wetter bei Kohlenruben, Verschiebungen der Kohlenschichten, deren Streckung usw. Die Verwaltung des Azerbeidshan-Erdöls zu Baku gründete auf eigene Kosten eine Station 1. Klasse daselbst, wo insbesondere auch Beobachtungen ausgeführt werden über den Naphthaausfluß; sie trägt außerdem die Kosten für deren Unterhaltung.

Auch die Behörden von Irkutsk und von Taschkent unterstützen die lokalen Stationen 1. Klasse in weitgehender Weise. Diese Stationen arbeiten im Rahmen des Physikalisch-Mathematischen Instituts; die Arbeiter von Taschkent leisteten bei der Reparatur derselben Hilfe und eröffneten sie feierlich.

Augenblicklich werden Unterhandlungen geführt wegen eines passenden freien Raumes in Wladiwostok für die Gründung einer Station 1. Klasse daselbst. Hier sind seismologische Beobachtungen von besonderem Wert wegen der Nähe eines der größten Erdbebengebiete, Japan.

Im Herbst 1923 gründete das Moskauer Institut für Kosmische Physik eine seismische Station in Kutschino bei Moskau, die ebenfalls an das seismische Netz des Physikalisch-Mathematischen Instituts angeschlossen ist. Diese kontrolliert

die Ergebnisse der Registrierungen, vergleicht sie mit denjenigen von Pulkowo und veröffentlicht sie.

Alle obenerwähnten Arbeiten werden unter direkter Leitung des Direktors des Physikalisch-Mathematischen Instituts ausgeführt, unter der Mitwirkung der neugegründeten ständigen seismischen Kommission an der Akademie der Wissenschaften, der die Mitglieder der Akademie des betreffenden Spezialgebietes sowie auch der Hauptphysiker des Instituts, Chef der seismologischen Abteilung, die Vertreter des Geophysikalischen Observatoriums, die Sternwarte zu Pulkowo, die Geographische Gesellschaft, das Geologische Komitee, das Institut für angewandte Geophysik und die bevollmächtigten Vertreter des Kriegs- und Marinewesens, des Volksökonomierats und des Verkehrskommissariats angehören.

Dank der tatkräftigen Arbeit des Chefs der seismologischen Abteilung des Physikalisch-Mathematischen Instituts, Prof. Nikiforow (der auch das seismische Bulletin redigiert) und anderer Mitarbeiter des Instituts, die die seismischen Stationen verwalten, wurde die Veröffentlichung seismischer Bulletins der Stationen 1. Klasse zu Ekaterinburg, Pulkowo und Irkutsk im Sommer 1923 wieder aufgenommen. Im Herbst 1924 begann diejenige der Station zu Baku, deren Beobachtungen von wesentlicher Bedeutung für den ganzen Kaukasus sind. Die Bulletins der Station 1. Klasse zu Kutschino bei Moskau werden bereits veröffentlicht; der Austausch dieser Bulletins mit den wichtigsten seismologischen Instituten der ganzen Erde (über 100 Anstalten) ist wieder aufgenommen worden.

Die „Bulletins“ der ehemaligen seismischen Kommission sind jetzt in diejenigen des Physikalisch-Mathematischen Instituts umgewandelt, und es sind bereits einige Lieferungen derselben erschienen. Es ist ein reiches Material für weitere Veröffentlichungen vorhanden, deren Erscheinen allein durch die von der Überschwemmung vom 23. September 1924 verursachten Schäden verzögert wurde. Diese Katastrophe hat im Physikalisch-Mathematischen Institut große Verwüstungen angerichtet und seine Arbeiten gehemmt. Das Wasser stand in den Werkstätten über  $1\frac{1}{2}$  m hoch, die instrumentelle Einrichtung wurde durch Feuchtigkeit schwer geschädigt und unbrauchbar gemacht. Auch der Generator für Gleichstrom wurde untauglich.

Jetzt sind die wesentlichsten Schäden beseitigt, die Instrumente wurden gereinigt und neu montiert und das Elektrizitätswerk für Gleichstrom, der für den Betrieb der Fräs- und sonstigen Maschinen erforderlich ist, wieder in einen betriebsfähigen Zustand gebracht.

Die von Prof. Abold bearbeiteten Beobachtungen über die Gezeiten an der Tomsker Station, die vor deren Zerstörung ausgeführt worden waren, werden nach endgültiger Bearbeitung ebenda publiziert. Die weitere Leitung der Beobachtungen an der Station Tomsk, die durch Anordnung der Seismischen Kommission die Tomsker Schwerkraftstation genannt worden ist, ist Prof. Orlow anvertraut. In der letzten Sitzung der Kommission wurde bestimmt, eine Station zu eröffnen in Nishni-Nowgorod, deren Breite ( $59^{\circ}19'$ ) sich für Beobachtungen dieser Art sehr gut eignet.

Prof. Nikiforow hat auch die Leitung der praktischen Übungen in der Seismologie und die Vorbereitung der Spezialisten für seismische Beobachtungen.

Seit dem vorigen Herbst hält er an der Universität Vorlesungen über Seismologie, wobei ein großes Interesse für diese Abteilung der physikalischen Wissenschaft festzustellen ist.

Außer den obenerwähnten Schwerkraftinstrumenten werden in den Werkstätten des Physikalisch-Mathematischen Instituts verschiedene Präzisionsinstrumente für seismische Stationen, sowie auch Seismographen und Schwerkraftinstrumente neuer Konstruktion nach Prof. Nikiforows Entwurf angefertigt und geschädigte Apparate repariert.

Die nach Prof. Nikiforows Projekten konstruierten Instrumente dienen hauptsächlich der Bestimmung seismischer Bewegungen von sehr kleiner Periode, sie sind äußerst leicht zu transportieren und gleichzeitig höchst empfindlich. Die schwingende Masse dieser Apparate ist bis auf 40 und weniger Gramm gebracht (gewöhnliches Gewicht = einige Zehner Kilogramm und mehr), während die Vergrößerung bis auf 200 000 und mehr gesteigert werden kann. Sie sind noch dadurch bemerkenswert, daß die aperiodische Dämpfung unnötig wird; es genügt, den Dämpfungskoeffizienten zu  $\frac{1}{2}$  anzunehmen.

Die im Physikalisch-Mathematischen Institut angestellten Versuche mit künstlich hervorgerufenen Bodenerschütterungen ergaben sehr befriedigende Resultate, und die erhaltenen Seismogramme zeigten mit voller Deutlichkeit sowohl periodische Bewegungen des Bodens, als auch Erschütterungen aller Art, wie sie z. B. von der Trambahn verursacht werden. Solche Instrumente sind für Beobachtungen von künstlichen Explosionen, Erschütterungen der Gebäude, der Eisenbahnen, Bodenbewegungen beim Artillerieschießen usw. bestimmt.

Nach Prof. Nikiforows Plan wurde ein besonderer Apparat für Bestimmung der senkrechten Komponente der Schwerkraft, die von der Änderung des spezifischen Gewichts in Zusammenhang mit derjenigen der Schwerkraft abhängt, angefertigt. Der Apparat ist sehr bequem tragbar, er kann die Dauer der Beobachtungen im Vergleich zu den gewöhnlichen Pendelbeobachtungen um mehrere hundert Male verkürzen. Für die nächste Zukunft sind zwecks weiterer Vervollkommnung derselben eine Reihe von Kontrollversuchen mit diesem Apparat in Aussicht genommen. Schließlich wurde kurz vor Beginn der Feierlichkeiten des 200 jährigen Bestehens der Akademie der Wissenschaften in Leningrad im Erdgeschoß des Hauptbaues der Akademie in etwa 20 km Entfernung von der Zentralstation in Pulkowo eine seismische Station eröffnet. Theoretische Betrachtungen führten zu der Schlußfolgerung, daß die Aufstellung der Galitzinschen Seismographen mit galvanometrischer Registrierung sogar in großen Zentren mit starkem Straßenverkehr ohne die Gefahr einer Verschlechterung der Seismogramme möglich ist, außerdem bietet sie ein neues Mittel für seismische Beobachtungen besonderer Art. Ein vorläufiger Versuch hat diese Folgerungen bestätigt, und heute registriert die Station nicht nur große Erdbeben, sondern es werden auch verschiedene mikroseismische Bewegungen beobachtet.

Trotz aller Schwierigkeiten, die hauptsächlich verursacht waren durch die ungenügende Zahl der Mitarbeiter, die geringen Mittel, die Folgen der vorher-

gehenden Ereignisse, unerwartete Hemmungen, wie z. B. die außerordentliche Überschwemmung vom 23. September 1924, die Sorgen wegen des Umbaus und der Reparatur der neuen akademischen Gebäude, ging die Arbeit vor sich. Was die Seismologie betrifft, werden wir bald dieselbe Stellung erreichen, welche wir unter anderen seismologischen Anstalten der Welt vor dem Kriege einnahmen; die Arbeiten auf dem Gebiet der Schwerkraft aber stellen neue Errungenschaften unseres Instituts dar, die auch zu praktisch nutzbaren Erfolgen führen werden.

Akademiker W. Stekloff,

Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften von USSR, Direktor des  
Physikalisch-Mathematischen Instituts.

## Die Frage der Periodizität der Erdbeben.

Von E. Tams.

Es wird die Frage der Realität der ganzsonnentägigen Periode, sowie des mondtägigen und des jährlichen Ganges in der Erdbebenhäufigkeit erörtert. Das Vorhandensein monatlicher Periodizitäten kann nicht angenommen werden. Allen über eine ganzjährige Periodendauer wesentlich hinausgreifenden Schlußfolgerungen ist besondere Zurückhaltung geboten.

Eine von dem Verfasser ausgeführte eingehende kritisch zusammenfassende Darstellung der über das genannte Thema vorliegenden Untersuchungen\*) läßt in einigen der Hauptpunkte für die Gegenwart die nachfolgenden, an ausgewählten Beispielen erläuterten Ergebnisse erkennen.

1. Mehr oder weniger bestimmte Anzeichen sind zunächst bezüglich der Existenz einer ganzsonnentägigen Periode vorhanden. Eine solche Periode zeigt sich z. B. bei wesentlicher Übereinstimmung der Phasen besonders ausgeprägt nach Conrad<sup>2)</sup> bei den österreichischen Beben von 1897 bis 1907 (Gesamtzahl  $n = 2497$ ), nach Cavasino<sup>1)</sup> bei den italienischen Beben von 1891 bis 1920 ( $n = 12966$ ), nach Kolderup<sup>9)</sup> bei den norwegischen Beben von 1887 bis 1911 ( $n = 494$ ) und nach dem Verfasser<sup>18)</sup> bei den vogtländischen Erdstößen von 1897 bis 1903 ( $n = 1440$ ). In allen diesen Fällen tritt das Maximum der Frequenz um Mitternacht oder doch bald darnach und ein breites Minimum in den eigentlichen Tagesstunden zwischen 8<sup>h</sup> und 20<sup>h</sup> auf. Insbesondere liefert die Zerlegung des täglichen Ganges nach der harmonischen Analyse für die österreichischen Beben eine ganztägige Welle mit einer relativen Amplitude, welche mit 0.43 gleich dem 12.3fachen Betrage der Expektanz  $\left( \varepsilon = \sqrt{\frac{\pi}{n}} = 0,035 \right)$  ist, und mit einem Maximum bzw. Minimum um 0<sup>2</sup>/<sub>4</sub><sup>h</sup>

\*) Zurzeit im Druck; wird im Verlag von Gebr. Borntraeger als Nr. 5 der von C. Mainka herausgegebenen Sammlung Geophysikalischer Schriften erscheinen. Hier auch ein ausführliches Verzeichnis der bis Mitte 1925 dem Verf. bekannt gewordenen wichtigsten Literatur.

bzw.  $12\frac{3}{4}^h$ . Für die genannten vogtländischen Schwärme treten die Extremepochen um  $1^h$  bzw.  $13^h$  ein und erreicht die relative Amplitude mit 0.42 den 8.9 fachen Betrag der Expektanz  $\varepsilon = 0.047$ . Eine Ausnahme bildet nur der vogtländische Schwarm von 1908, der mit seinen 1563 Stößen das Maximum der ganztägigen Welle um  $15\frac{1}{2}^h$  und das Minimum demgemäß in der Zeit der ausgehenden Nacht um  $31\frac{1}{2}^h$  zeigt. Es ist wahrscheinlich, daß hier der normale sonnentägige Verlauf durch ausgeprägteres gruppenartiges Auftreten der Einzelstöße verwischt worden ist, wie hier denn auch die relative Amplitude mit 0.15 nur gleich  $3.3 \varepsilon$  ist ( $\varepsilon = 0.045$ ), was für Schwarmbeben nicht viel besagen will.

Der physio-psychologische Standpunkt von de Montessus de Ballore<sup>11)</sup>, daß es sich nur um eine Periodizität der Erdbebenmeldungen handelt, dürfte zum Teil berechtigt sein, reicht aber nicht aus, um den täglichen Gang ganz zu erklären. In dieser Hinsicht mag hier nur darauf hingewiesen werden, daß z. B. bei den italienischen Erdbeben auch die 2084 Beben mit einer Intensität von mindestens 5<sup>o</sup> Mercalli, deren Wahrnehmbarkeit unabhängig von den nachts und tagsüber verschiedenen Bedingungen der unmittelbaren Beobachtung ist ein deutliches Überwiegen in der Nacht aufweisen, indem sich das Verhältnis ihrer Anzahl während der eigentlichen Tageszeit von  $6^h$  bis  $18^h$  zu ihrer Anzahl während der übrigen Stunden der Ruhe von  $18^h$  bis  $6^h$  auf 0.75 stellt, was übrigens derselbe Wert ist, der sich bei Berücksichtigung aller fühlbaren Beben ergibt. Die Kurve des täglichen Ganges dieser stärkeren Beben ist der entsprechenden Kurve für alle Beben außerordentlich ähnlich. Für die Gesamtheit der 66 stärkeren Stöße im Vogtlande ist dies Verhältnis bei ähnlicher Zeiteinteilung (um  $8^h$  und  $20^h$ ) sogar nur gleich 0.49. Der Verfasser hält es für möglich, daß wenigstens dann, wenn es sich um mehr oberflächlich gelegene Herde handelt, wie z. B. bei den vogtländischen Erdstößen, auch die durch die Horizontalpendelbeobachtungen festgestellte, durch den täglichen Temperatur- und Strahlungsgang hervorgerufene Verbiegung des Erdbodens von Bedeutung ist, insofern durch die mit der nächtlichen Abkühlung vor sich gehende Boden- deformation Rißbildungen gefördert werden könnten, während die tagsüber statthabende Erwärmung auf die oberen Erdschichten in der Richtung einer Erschwerung von Zerreißen einwirkt.

Von anderer Seite [Davison<sup>5)</sup> und Omori<sup>14), 16)</sup>] wird ein Zusammenhang des täglichen Ganges der Erdbebenhäufigkeit mit dem Luftdruck für wahrscheinlich gehalten. Bei dem vogtländischen Schwarmbeben kann nach dem Verfasser<sup>19)</sup> ein solcher Zusammenhang nicht angenommen werden, da sich die Stoßfrequenz hier auch durchaus unabhängig von den meistens ungleich beträchtlicheren Luftdruckänderungen von Tag zu Tag erweist\*). Doch auch für Japan sind bisher in dieser Hinsicht engere Beziehungen nicht nachweisbar.

\*) Wenn O. Meißner (Diese Zeitschr. I, S. 194 — 196) auf Grund der vom Verf. gegebenen einzelnen Daten für die Zunahme der Stoßzahl mit der Höhe des Luftdrucks bzw. mit fallendem Luftdruck die Korrelationsfaktoren  $0.54 \pm 0.34$  bzw.  $-0.57 \pm 0.36$  findet, so kann daraus wohl kaum auf einen Zusammenhang zwischen beiden Arten von Vorgängen geschlossen werden. Bei der Größe des mittleren Fehlers, der bei Vorhanden-

Die neueren Untersuchungen von Davison beziehen sich auf die Erdbeben Japans nach den dort von 1875 bis 1902 von ihnen erhaltenen instrumentellen Aufzeichnungen. Wenn nun auch bei diesem Material die im Laufe von 24 Stunden wechselnden physio-psychologischen Momente der unmittelbaren Wahrnehmbarkeit ausgeschaltet sind, so fragt es sich aber andererseits, ob im Hinblick auf die ältere seismische Apparatur der japanischen Stationen die verarbeiteten Daten als hinreichend vollständig gelten können\*). Die Ergebnisse der harmonischen Analyse einzelner solcher Beobachtungsreihen gewöhnlicher Beben (unter Ausschluß der Nachbeben) sind für die Annahme einer realen gantztägigen Periodizität nicht gerade günstig. Die Epochen des Maximums stimmen zwar in allen diesen Fällen nahe überein. Indem sie aber auf 11<sup>h</sup> oder 12<sup>h</sup> fallen, liegt die ganzjährige Periode hier praktisch invers zu derjenigen in Mitteleuropa und Italien; und die Amplituden sind nur klein, nämlich gleich 1.2 ε bis 3.25 ε. Namentlich Omori sprach sich dafür aus, daß der tägliche Gang der Erdbebenfrequenz in erster Linie durch die Höhe des Luftdruckes bestimmt werde. Berechnet man jedoch den Korrelationsfaktor  $k$  zwischen der täglichen Schwankung der Bebenhäufigkeit und derjenigen des Luftdrucks für Tokio auf Grund mehrjähriger Mittel der stündlichen Bebenfrequenz bzw. Luftdruckwerte (das seismische Material umfaßte 2208 in Tokio von 1876 bis 1899 registrierte Beben), so erhält man für  $k$  mit  $+0.32 + 0.12$  w. F. nur einen recht niedrigen Wert mit relativ großem wahrscheinlichen Fehler, so daß hiernach das Vorhandensein einer gegenseitigen Beziehung kaum angenommen werden kann. Und ein Zusammenhang erscheint noch weniger vorhanden, wenn man den Gang der dreistündigen Bebenfrequenzen mit den entsprechenden dreistündigen Luftdruckmitteln für ganz Japan miteinander vergleicht. Hierfür ergibt sich  $k = -0.13 + 0.23$  w. F., wonach außerdem im Gegensatz zu den Verhältnissen in Tokio eine Bebenhäufigkeit über dem Mittel mehr einem Luftdruck unter dem Mittel entsprechen würde und umgekehrt. Aber auch sonst ist hier zwischen Fallen und Steigen des Luftdrucks und der Zunahme und Abnahme der Bebenhäufigkeit keine Korrespondenz vorhanden, indem alle vier möglichen Kombinationen dieser Vorgänge auftreten.

Von den analytisch sich ergebenden Unterperioden eines Sonnentages muß zurzeit gesagt werden, daß keine von ihnen als reell angesprochen werden kann.

2. Bezüglich der Perioden im Laufe eines Mondtages darf man es vielleicht als nicht unwahrscheinlich bezeichnen, daß sich ein Einfluß der halbmondtagigen Mondwelle geltend macht. Wie Verfasser<sup>18)</sup> bei den gut verfolgten

sein einer Beziehung erfahrungsgemäß höchstens etwa ein Viertel des Koeffizienten selber betragen darf (R. H. Hooker: *Quat. Journ. Meteorol. Soc.* **34**, 277—291, London 1908), möchte Verf. diesem Rechnungsergebnis in der Tat nur eine formale Bedeutung beilegen. Auch wäre nicht recht einzusehen, daß nicht auch tiefer, aber zunehmender Luftdruck, also wachsende Belastung des Erdbodens schollenverschiebend und damit erdbebenanregend wirken sollte.

\*) Sofern überhaupt praktisch durch instrumentelle Beobachtung annähernd Vollständigkeit erreicht werden kann. Von den 1563 Stößen des vogtländischen Erdbebenschwarms von 1908 sind nach F. Etzold selbst in Leipzig durch den Wiechertschen 1100 kg-Horizontalseismographen nur 102 registriert worden.

vogtländischen Erdbebenschwärmern (3003 Stöße) ein Überwiegen der halbmond-tägigen Welle gegenüber der ganz- und viertelmond-tägigen feststellen konnte und die beiden Maxima um je  $3\frac{1}{2}$  Stunden nach der oberen und unteren Mondkulmination fand, so ergab sich nach Knott<sup>8)</sup> dasselbe auf Grund eines Materials von 3531 in Japan instrumentell beobachteter Beben. Die Amplitude betrug in beiden Fällen 8 Proz. des stündlichen Mittelwerts und erreichte damit allerdings nur den 2.7 fachen Betrag der Expektanz. Auch liegen weniger günstige Ergebnisse für andere Erdbebenreihen vor.

Eine sichere Entscheidung darüber, ob der durch Ebbe und Flut des Meeres hervorgerufene Wechsel von Entlastung und Belastung des Meeresbodens insbesondere in Küstenzonen die seismische Frequenz beeinflusse, ist noch nicht zu treffen, obwohl Untersuchungen in dieser Richtung vorliegen, so von Knott<sup>7)</sup> und Cotton<sup>4)</sup> über Erdbeben in Japan und von Taber<sup>17)</sup> über die Erdbeben in der Küstenebene bei Charleston.

Ein Einfluß der Mondphasen (synodischmonatliche Periodizität) und der wechselnden Mondentfernung (anomalistischmonatliche Periodizität) kann nach kritischer Wertung aller hierüber vorliegenden Resultate nicht angenommen werden; und dasselbe gilt in bezug auf den tropischen und nodischen Monat. Cotton<sup>4)</sup> betont indessen, daß hinsichtlich einer sekundär auslösenden Einwirkung der Gezeitenspannungen in der Erdkruste jedes Beben, sofern es auf einer Schollenverschiebung längs einer in bestimmter Richtung orientierten und einfallenden Verwerfung beruhe, für sich behandelt werden müsse, denn es komme auf die Differenz der in den Zonen beiderseits der Dislokationslinie wirksamen Spannungen an, und diese Differenz sei wesentlich von der Stellung des gezeitenerregenden Himmelskörpers in Beziehung auf die Verwerfung abhängig. In der Tat wird wohl die Möglichkeit nicht abzuweisen sein, daß in besonders günstigen Fällen die Gezeitenvorgänge im Erdkörper erdbebenfördernd wirken können.

3. Was den jährlichen Gang der Erdbebenhäufigkeit betrifft, so ist nach Conrad<sup>2)</sup> ein solcher in sehr ausgesprochener Weise z. B. in Österreich vorhanden. Sowohl die 2497 Einzelbeben wie auch die 1476 Beben-tage des 11-jährigen Zeitraumes von 1897 bis 1907 weisen ein ausgeprägtes Maximum von Januar bis April und ein deutliches Minimum von Juli bis Oktober auf. Genauer ergibt sich nach der harmonischen Analyse für die ganzjährige Welle bei den Einzelbeben bzw. den Beben-tagen die relative Amplitude gleich 0.32 bzw. 0.25, d. h. gleich dem 9 fachen bzw.  $5\frac{1}{2}$  fachen Betrage der Expektanz ( $\epsilon = 0.035$  bzw. 0.046), und die Maximumepoche praktisch übereinstimmend gleich dem 13. bzw. 12. Februar, die Minimumepoche dementsprechend gleich Mitte August. Ähnliche Verhältnisse mit einem Maximum im Januar und einem Minimum von Mai bis August liegen nach Kolderup<sup>9)</sup> in Skandinavien vor. Speziell für Norwegen berechnet sich für den Zeitraum von 1834 bis 1911 eine Verteilung, nach der 14.8 Proz. aller Beben allein auf den Januar fallen und nur 16.8 Proz. den drei Monaten Mai, Juni, Juli angehören, statt  $8\frac{1}{3}$  bzw. 25 Proz. bei gleichmäßiger Verteilung.

Für Österreich konnte nun Conrad<sup>2)</sup> eine recht enge Korrelation zwischen dem jährlichen Gange der seismischen Frequenz und dem der Luftdrucksituationen

mit steilen Gradienten (von mindestens 5 mm) über den habituellen Schüttergebieten nachweisen, indem sich als Korrelationskoeffizient bei den Einzelbeben  $k = +0.687 \pm 0.103$  w. F. und bei den Bebenagen  $k' = +0.728 \pm 0.095$  w. F. ableitete. Und wenn auch zwischen der ganzjährigen Welle der Bebenage und derjenigen der kritischen Luftdrucksituationen eine Phasendifferenz von reichlich einem Monat vorhanden ist, und zwar in dem Sinne, daß das Häufigkeitsmaximum der Situationen um diesen Betrag vorangeht, so erscheint es doch unzweifelhaft, daß steile Gradienten als sekundär auslösende Ursachen von Erdbeben gewertet werden müssen, was übigens auch Kolderup für Norwegen in Betracht gezogen wissen möchte.

Der ziemlich unregelmäßigen Jahreskurve, welche man nach den von Cavasino<sup>1)</sup> für die 30 Jahre von 1891 bis 1920 angegebenen monatlichen Häufigkeitszahlen von 13 531 italienischen Erdbeben erhält und die das Hauptmaximum im Sommer aufweist bei einer im übrigen bezüglich der meteorologischen Jahreszeiten nicht über 2 bis 2.5 Proz. der Gesamtzahl nach oben und unten vom Mittel abweichenden Verteilung [Winter (Dez. bis Febr.) 3109; Frühling (März bis Mai) 3360; Sommer (Juni bis Aug.) 3712; Herbst (Sept. bis Nov.) 3350] kann ein besonderes Gewicht nicht ohne weiteres beigelegt werden, da Cavasino nicht wie Conrad die Nachbeben und die Einzelstöße von Bebenschwärmen eliminiert, sondern in seine Zählung alle makroseismisch beobachteten Stöße aufgenommen hat, sofern diese zeitlich nur wenigstens fünf Minuten auseinander lagen. Abgesehen von einer dadurch wahrscheinlich bedingten Verschleierung des jährlichen Ganges der sich nur auf 4964 beziffernden selbständigen Beben kann aber auch der Gang der sekundär auslösenden Ursachen hier ein anderer sein. Eine regional differenzierte Untersuchung über etwaige Zusammenhänge mit dem Regenfall — freilich immer unter Einschluß der Nachstöße — lieferte zwar keinerlei bestimmte Ergebnisse; doch steht eine analoge Untersuchung mit Beziehung auf Zyklonen und Antizyklonen noch aus. Die von Mercalli<sup>10)</sup> aufgezeigte monatliche Verteilung von 1557 seit dem 12. Jahrhundert in Ligurien und Piemont stattgehabten Erdbeben weist mit 68.3 Proz. im Winter und Frühling und 31.7 Proz. im Sommer und Herbst ein den österreichischen Verhältnissen recht ähnliches Bild auf.

Neuere Bearbeitungen japanischer Erdbebenreihen durch Davison<sup>5)</sup> lassen kein einheitliches Bild erkennen. Omori<sup>14)</sup> meint entsprechend einer in der japanischen Region jahreszeitlich unterschiedlichen Druckschwankung über dem Lande und über dem Meeresboden hinsichtlich des jährlichen Ganges der Erdbebenhäufigkeit hier zwei Zonen unterscheiden zu sollen: Zone A (westliche Hälfte von Hokkaido und Nippon sowie die Inseln Shikoku und Kiushiu, meistens von Inlandbeben betroffen) mit dem Maximum der Frequenz vorwiegend im Frühling und dem Minimum im Sommer oder Herbst und Zone B (östliche Hälfte von Hokkaido und nördliche Hälfte von Nippon, meistens durch Beben submariner Herkunft erschüttert) mit dem Maximum im Sommer und dem Minimum im Winter und Herbst. Doch betragen die Differenzen der extremen Häufigkeitszahlen für die vier meteorologischen Jahreszeiten gegenüber dem Mittel (25 Proz.) bei Gruppe A nur + 4 Proz. und — 5 Proz.

und bei Gruppe B nur  $+5$  Proz. und  $-3$  Proz., so daß die Abweichungen von einer gleichmäßigen Verteilung hiernach sehr wohl auf Zufall beruhen könnten. Auch dürfte der angenommene Zusammenhang mit der Höhe des Drucks an sich nach den früheren Ausführungen sehr zweifelhaft sein. Vielleicht aber weisen auch, wie Omori<sup>15)</sup> vermutet, die gewöhnlichen kleinen Beben und die großen zerstörenden Beben einen entgegengesetzten jährlichen Gang auf, was darauf beruhen könnte, daß durch viele schwache Beben die Erdkruste so weit entspannt wird, daß starke Erschütterungen nicht mehr erzeugt werden können, während zur Zeit des Minimums der kleinen Erschütterungen eine Spannungshäufung statthat, die dann zu großen Beben führen kann.

Die Schwankungen in der Größe des Luftdruckgradienten werden sehr allgemein von Knott<sup>8)</sup> als hauptsächliche Erklärung des auch von ihm vielfach gefundenen Wintermaximums der seismischen Frequenz herangezogen. Der Gradient sei namentlich an den Kontinentalküsten im Winter, wenn er vom Land nach der See zu gerichtet ist, steiler als im Sommer, wenn er die umgekehrte Richtung hat. Den Gradienten möchte ferner u. a. Taber<sup>17)</sup> als sekundär auslösende Ursache für die Erdbeben bei Charleston mit in Anspruch nehmen, bei denen aber namentlich noch ein enger Zusammenhang mit dem lokalen Regenfall bestehen soll, indem während des untersuchten Zeitraumes von 1885 bis 1913 Bebenhäufigkeit und Höhe des Regenfalls im großen und ganzen einen parallelen Gang aufweisen. Wenn sich nach dem Verfasser<sup>19)</sup> bei den vogtländischen Schwarmbeben sicher kein erkennbarer Einfluß der Gradienten zeigte, so liegt darin kein Widerspruch zu obigen Ansichten, denn die Gradienten waren hier nicht stark, da sie nur dreimal über 2.5 mm lagen und den Betrag von 3.4 mm nicht überschritten.

Eine in derselben Richtung liegende Untersuchung des jährlichen Ganges der zerstörenden Erdbeben Chinas durch Drake<sup>6)</sup>, der von 1831 v. Chr. bis 1911 n. Chr. insgesamt 521 solcher Ereignisse mit dem Monat ihres Eintritts auführen konnte, läßt nun allerdings ein deutliches Maximum von Juni bis August hervortreten, das auch noch klar erhalten bleibt, wenn man Nord-, Mittel- und Südchina getrennt für sich betrachtet (das Maximum liegt in diesen drei Monaten zusammengenommen immerhin um 11 bis 14 Proz. der betreffenden Gesamtsumme über dem Mittel), doch ist hier gerade der Sommer durch intensive atmosphärische Störungen, die sich in heftigen, von starken Druckvariationen begleiteten Regenstürmen (Südostmonsun) äußern, ausgezeichnet. Angesichts des natürlich recht lückenhaften Erdbebenmaterials wird man jedoch diese beachtenswerten Feststellungen noch nicht als gesichert betrachten dürfen. Auch die hohen Werte der Korrelationsfaktoren, die der Verfasser auf Grund der Angaben von Drake für die Kurve der Erdbebenhäufigkeit in Nord- bzw. Mittelchina und die Kurve der Regenhöhe in Tsingtau (Nordchina) bzw. Zikawei (Mittelchina) mit  $k = 0.87 \pm 0.046$  w. F. bzw.  $k' = 0.92 \pm 0.030$  w. F. fand, können kaum darüber wagtäuschen, denn für Südchina, wo die Regenstürme am heftigsten auftreten, stellt sich unter Berücksichtigung der Regenhöhe in Macao der entsprechende Koeffizient nur auf  $k'' = 0.44 \pm 0.157$  w. F.

4. Zurückhaltung aber scheint dem Verfasser vor allem gegenüber den an sich zweifellos sehr interessanten Berechnungen von Turner<sup>23)</sup> geboten, von deren Ergebnissen hier angeführt sei, daß die Epoche des jährlichen Maximums sich im Jahre allmählich verlagern soll, indem diese Änderung erstens mit einer doppelten Amplitude von etwa  $3\frac{1}{2}$  Monaten einer Periode von 80 Jahren unterworfen ist und zweitens nach Eliminierung dieser 80jährigen Periode noch durch eine Rückwärtsbewegung von ungefähr einem Monat in 80 Jahren charakterisiert ist. Zu so weit über eine ganzjährige Periodendauer hinausgreifenden Schlußfolgerungen müssen aber die seismischen Daten als durchaus unzureichend bezeichnet werden. Und dies gilt natürlich auch in bezug auf den Hinweis von Turner<sup>20) 21)</sup>, daß z. B. in dem Auftreten der chinesischen Beben vielleicht sogar Perioden von 240 bis 280 Jahren nachweisbar seien, die außerdem in dem Wachstum der kalifornischen Riesenbäume und in den Nilüberschwemmungen aufträten. Auch glaubte man u. a. noch Anzeichen für eine Schwankung der Erdbebenhäufigkeit im Zyklus der 35jährigen Brücknerschen Klimaperioden gefunden zu haben. De Montessus de Ballore<sup>12) 13)</sup> gelangte indessen in diesem letzten Punkt an Hand des Milneschen Katalogs der zerstörenden Erdbeben von 7 bis 1899 n. Chr. zu einem durchaus negativen Standpunkt und hält vielmehr für wahrscheinlich, daß nach Maßgabe der eigentlich zerstörenden Beben die Seismizität der Erde wenigstens in der historischen Zeit überhaupt konstant geblieben ist. Im übrigen kann freilich die ablehnende Stellungnahme dieses Autors gegenüber allen irgendwie durch exogene Einflüsse bedingten seismischen Frequenzschwankungen, wie schon diese Ausführungen zeigen, nicht immer als wirklich begründet angesehen werden.

Für eine von Turner<sup>22)</sup> in einigen Fällen errechnete ganz kurze Stoßperiode von rund 21 Minuten erweisen sich die Grundlagen, wie z. B. Visser<sup>24)</sup> für Niederländisch-Indien dartun konnte, als trügerisch oder sehr anfechtbar.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß man nach den bisherigen Untersuchungen nicht wohl sagen kann, daß die Polwanderungen sich in der Seismizität der Erde überhaupt oder in derjenigen einzelner Regionen irgendwie widerspiegeln, und daß man annehmen muß, daß Beziehungen zwischen Erdbebenhäufigkeit und der Periodizität der Sonnenflecken nicht vorhanden sind.

#### Literatur.

- 1) A. Cavasino: Boll. Soc. Sism. Ital. **25**, 49—81 (1924/25).
- 2) V. Conrad: Mitt. Erdbeb.-Kom. Ak. Wiss. Wien, N. F. **36**, 23 S. (1909); u. N. F. **44**, 22 S. (1912).
- 3) Derselbe: Zeitschr. f. Geophysik **1**, 191—194 (1924/25).
- 4) L. A. Cotton: Bull. Seism. Soc. America **12**, 47—198 (1922).
- 5) Ch. Davison: Phil. Mag. **41** (6. Ser.), 908—916 (1921).
- 6) N. F. Drake: Bull. Seism. Soc. America **2**, 40—91 u. 124—133 (1912).
- 7) C. G. Knott: Proc. R. Soc. of London **60**, 457—466 (1897).
- 8) Derselbe: The Physics of Earthquake Phenomena, Kap. 7 und 8, Oxford 1908.
- 9) C. F. Kolderup: Bergens Museums Aarbok 1913, Nr. 8.
- 10) G. Mercalli: I terremoti della Liguria e del Piemonte. Neapel 1897.
- 11) F. de Montessus de Ballore: Arch. d. sciences phys. nat. **22**, 409—430, Genf 1889 u. Compt. rend. Ac. Sc. **109**, 327—330, Paris 1889.

- 12) Derselbe: Comt. rend. Ac. Sc. **154**, 1843—1844, Paris 1912.
- 13) Derselbe: Ebenda **155**, 379—380, Paris 1912.
- 14) F. Omori: Publ. Earthq. Investig. Com. **8**, 1—94, Tokio 1902.
- 15) Derselbe: Bull. Earthq. Investig. Com. **2**, 17—20, Tokio 1908.
- 16) Derselbe: Ebenda, S. 101—135.
- 17) St. Taber: Bull. Seism. Soc. America **4**, 108—160 (1914).
- 18) E. Tams: Zeitschr. f. angew. Geophys. **1**, 193—213 (1925).
- 19) Derselbe: Ber. d. math.-phys. Kl. Sächs. Ak. Wiss. **76**, 188—203, Leipzig 1924.
- 20) H. H. Turner: British Associat. Report. Seismolog. Investig. 1919, 1920, 1921.
- 21) Derselbe: Monthly Notices R. Astron. Soc. **79**, 531—539, London 1919 und **80**, 617—619, 1920.
- 22) Derselbe: British Associat. Report. Seismolog. Investig. 1922, 1923, 1924.
- 23) Derselbe: Monthly Notices R. Astron. Soc. Geophysical Supplement **1**, Heft 5, Dez. 1924, S. 204—217.
- 24) Natuurk. Tijdschr. v. Nederl.-Indië **83**, 133—153 (1923).

---

## Untersuchungen zur Frage, bis zu welcher Tiefe die Erde kristallin ist.

Von **B. Gutenberg**. — (Mit drei Abbildungen.)

Nach Laboratoriumsversuchen nimmt beim Schmelzen eines Stoffes dessen Richtigkeit ab. Es ist daher damit zu rechnen, daß im Erdinnern in der Tiefe, in der die Grenze zwischen amorphen und kristallinen Stoffen liegt, eine sprungweise Abnahme der Richtigkeit und damit auch der Wellengeschwindigkeit stattfindet. Da im Mantel der Erde keine Anzeichen hierfür vorliegen und auch der Übergang zur Zwischenschicht stetig ist, erscheint es wahrscheinlich, daß die Erde bis zur Kerngrenze kristallin ist, falls die Kristallisationsgrenze nicht schon in 2450 km Tiefe liegt.

Die Untersuchung der Richtigkeitsfaktoren hat für alle Körper eine mehr oder minder große sprungweise Abnahme beim Schmelzen ergeben<sup>1)</sup>. Es besteht hiernach die Wahrscheinlichkeit, daß auch im Erdinnern in der Tiefe, in welcher ein Übergang von dem kristallinen zum amorphen Aggregatzustand stattfindet, der Richtigkeitsfaktor sprungweise abnimmt. Da nun die Wellengeschwindigkeit  $V$  der longitudinalen und  $\mathfrak{B}$  der transversalen Erdbebenvorläufer mit dem Richtigkeitsfaktor  $\mu$ , dem Inkompressibilitätsfaktor  $k$  und der Dichte  $\rho$  verknüpft sind durch die Beziehungen

$$V^2 = \left( k + \frac{4}{3} \mu \right) : \rho \dots \dots \dots (1)$$

$$\mathfrak{B}^2 = \mu : \rho \dots \dots \dots (2)$$

so müßten in der genannten Grenztiefe auch  $V$  und  $\mathfrak{B}$  sprungweise abnehmen. Wir beschränken uns auf  $V$  und haben nunmehr die Frage zu beantworten: In welchen Tiefen nimmt die Geschwindigkeit  $V$  der Longitudinalwellen sprungweise ab? Bisher kennen wir nur eine derartige Grenze mit Sicherheit, und zwar in 2900 km Tiefe am Erdkern. Hier nimmt zwar zweifellos