

Werk

Jahr: 1937

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:13

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0013

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0013

LOG Id: LOG_0025

LOG Titel: Die Ursachen des seismisch-elektrischen Effektes

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

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

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

Terms and Conditions

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

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

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

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

Contact

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

Die Ursachen des seismisch-elektrischen Effektes

Von St. v. Thyssen, J. N. Hummel und O. Rülke — (Mit 8 Abbildungen)

Der bei Arbeiten im Gelände beobachtete seismisch-elektrische Effekt ist leicht im Laboratorium an einem elektrolytischen Trog nachzuweisen. Durch elastische Deformationen werden offenbar die elektrochemischen Vorgänge an der Elektrodenoberfläche beeinflusst. Hierüber sind Mitteilungen bereits in der elektrochemischen Literatur enthalten.

Nach Angabe verschiedener Autoren wird die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Erdbodens durch elastische Deformationen merklich geändert [1]. Der Nachweis dieser Erscheinung erfolgt in der Weise, daß man durch den Untergrund mittels Elektroden einen Gleichstrom schickt, dessen Schwankungen beim Eintreffen seismischer Wellen in dem Meßgebiet gemessen und aufgezeichnet werden. Die Entdecker dieser Zusammenhänge glauben einen neuen Effekt gefunden zu haben und diesem einige Bedeutung für die angewandte Geophysik beimessen zu müssen.

Wenn nun auch Schwankungen des hineingesandten Stromes, die letzten Endes auf mechanische Erschütterungen zurückzuführen sind, zweifelsfrei nachgewiesen sind, so läßt doch ein in dieser Weise aufgenommenes „Seismogramm“ zunächst noch keine eindeutigen Schlüsse auf seinen unmittelbaren Ursprung zu. Denn es ist von vornherein keineswegs klar, ob durch die stattgehabte Erschütterung die spezifischen Eigenschaften des Bodens und insbesondere dessen Leitfähigkeit, tatsächlich merklich verändert worden sind. Man könnte beispielsweise auch vermuten, daß die stromzuführenden Elektroden gegenüber dem Boden in Schwingungen geraten, also als Seismographen wirken. Hierbei ist ihr Kontakt mit dem Bodenmaterial gewissen Änderungen unterworfen, die zu Widerstandsänderungen führen und somit die elektrische Registrierung dieser Seismographenschwingungen ermöglichen. Man hätte es in diesem Falle mit einem Kontaktseismographen zu tun, dessen Wirkungsweise wohlbekannt ist [2] und die Heranziehung eines neuen Effektes zur Erklärung der Beobachtungen erübrigte. Eine andere Annahme wäre die, daß die Grenzflächen zwischen Elektroden und Boden durch elastische Wellen hervorgerufene elektrochemische und andere Wandlungen erfahren*), was den Stromdurchgang erleichtert oder erschwert. Zwischen den verschiedenen Alternativen soll durch die folgende Untersuchung eine Entscheidung getroffen werden.

Solange zur Stromzuführung schwere Stabelektroden Verwendung finden, erscheint es freilich schwierig, Klarheit darüber zu gewinnen, ob man es mit Kontaktseismographen zu tun hat oder nicht. Zur Prüfung dieser Frage erscheint es

*) Solches ist schon von verschiedenen Autoren beobachtet worden, und zwar bei der Einwirkung von ultraakustischen Schwingungen auf elektrolytische Vorgänge und andere physikalisch-chemische Eigenschaften. Literatur hierüber siehe weiter unten.

vorteilhaft, besondere Elektrodenanordnungen zu wählen, bei denen eine mögliche Seismographeneigenschaft leicht unterdrückt werden kann.

Eine erste Anordnung bestand darin, daß Gefäßelektroden mit großer Oberfläche verwendet wurden, deren Gewicht bei konstantbleibender Oberfläche in weiten Grenzen variiert werden konnte. Durch Auswechseln des Elektroden-gewichtes ließ sich dann die Seismographeneigenschaft der Elektroden mehr oder

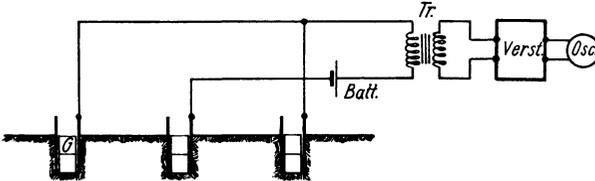


Fig. 1. Schaltschema der Meßanordnung mit belasteten Gefäßelektroden

weniger hervorheben. Als Elektroden wurden zylindrische Aluminiumgefäße gewählt, wie sie als Umhüllung handelsüblicher Thermosflaschen Verwendung finden. Ohne zusätzliche Gewichte besaßen die Elektroden bei einem Rauminhalt von je etwa einem Liter das geringe Gewicht von nur je 40 g. Die Hohlräume wurden im Verlaufe einer Versuchsreihe mit Gewichten bis zu je 10 kg gefüllt*). Zur Herabsetzung der elektrischen Bodenunruhe wurden drei solcher Elektroden im gleichen Abstände voneinander verwendet, wobei die beiden äußeren miteinander verbunden waren (Fig. 1)**). In dem Stromkreise lag wie üblich die Primärseite eines Transformators, dessen Sekundärseite über einen drei- oder vierstufigen Verstärker mit einer Oszillographenschleife verbunden war. Die Erschütterungen wurden in der Weise erzeugt, daß eine 11 kg schwere Bleikugel aus einer Höhe von 1.30 m immer am gleichen, in Verlängerung der Elektrodenbasis liegenden

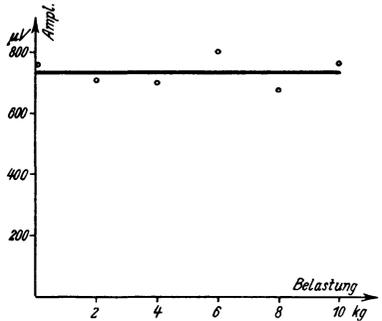


Fig. 2. Abhängigkeit der Effektstärke von der Elektrodenbelastung

Orte fallen gelassen wurde. Man erhält dann Photogramme, deren Charakter den unter gleichen Bedingungen erhaltenen Seismogrammen nicht unähnlich war. Zur Beurteilung der Effektstärke wurden die Maximalamplituden herangezogen bzw. die daraus abgeleiteten Spannungsänderungen an der Sekundärseite des Transformators. Im vorliegenden Falle wurden diese Spannungsänderungen als Funktion der Elektroden-gewichte aufgetragen. Obwohl sich gute Reproduzierbar-

*) So daß das Elektroden-gewicht in einem Verhältnis 1 : 250 verändert werden konnte.

***) Vgl. R. R. Thompson [1] l. c.

keit jeder Meßgröße unter gleichen Bedingungen ergab, wurden jedem Meßpunkte mehrere Aufnahmen zugrunde gelegt, über die gemittelt wurde. Das Resultat einer solchen Versuchsreihe ist in Fig. 2 aufgezeichnet. Man erkennt die Unabhängigkeit des Effektes von den Elektrodengewichten.

Eine zweite Anordnung zur Prüfung des gleichen Problems bestand darin, daß zwei rechteckige Plattenelektroden (43×58 cm) in dem vergleichsweise geringen Abstände von nur 43 cm einander planparallel gegenüber gestellt wurden. In diesem Falle kann angenommen werden, daß die Elektroden keine merklichen Schwingungen gegenüber dem Boden ausführen, sondern mit diesem zu einem einzigen schwingungsfähigen Gebilde verwachsen sind. Wir haben also keine Vorgänge zu erwarten, die mit denen beim Kontaktseismographen verglichen werden können. Versuche, die in der gleichen Weise wie oben mit einer fallenden Kugel vorgenommen wurden, gaben trotzdem beachtliche Ausschläge, die denen der früheren Versuche an Intensität gleichkommen.

Wir kommen auf Grund dieser Untersuchungen zu der Erkenntnis, daß die festgestellten Stromänderungen nicht auf Erschütterungen der Elektroden zurückzuführen sind und deshalb auch nicht durch Vorgänge erklärt werden können, wie sie vom Kontaktseismographen her bekannt sind, sondern daß sie anderweitige Ursachen besitzen müssen, die noch der Klärung bedürfen.

Um diesen näher zu kommen, wurde weiterhin geprüft, in welcher Weise der Effekt durch Auswechseln des Bodenmaterials beeinflußt werden kann, ob mit anderen Worten die Empfindlichkeit der Registriervorrichtung von der Beschaffenheit der Substanz, in die die Elektroden hineingesteckt werden, abhängt oder nicht. Denn es ist klar, daß, ganz abgesehen von der Wichtigkeit der Empfindlichkeit für das praktische Arbeiten, die gesetzmäßige Variation der Empfindlichkeit eine Grundlage für die Deutung des Effektes liefern muß.

Der mögliche Einfluß der spezifischen Materialeigenschaften des Bodens auf die Effektstärke ist bei Verwendung von Stab- bzw. Punktelektroden nicht klar zu erkennen, da bei diesen nur der sogenannte Übergangswiderstand in Betracht kommt, der auf ihre nächste Umgebung beschränkt ist. Die Gesamtleitfähigkeit hängt hier stark von örtlichen Zufälligkeiten ab und steht mit der durchschnittlichen spezifischen Leitfähigkeit nur in loser Verbindung. Will man ein größeres Volumen beteiligen, so empfiehlt sich wieder die Verwendung von Plattenelektroden, die in geringem Abstände einander gegenüberstehen. Es wurde so verfahren, daß das Bodenmaterial in der Mitte zwischen den Plattenelektroden ausgewechselt, deren nächste Umgebung aber unberührt gelassen wurde. Obwohl sich hierbei die spezifische Leitfähigkeit des die Gesamtleitfähigkeit beeinflussenden Bodenmaterials erheblich änderte, wurden bei gleichen Stromstärken auch gleiche Maximalamplituden erhalten. Dieses Ergebnis legt die Vermutung nahe, daß der Effekt in der unverändert gelassenen Umgebung der Elektroden seinen Ursprung besitzen muß.

Um dies zu erweisen, wurden Stabelektroden in relativ trockenem Sandboden versenkt, dessen Leitfähigkeit durch Zugabe von Salzwasser nach und nach

gesteigert wurde. Hierbei wurde die durch den Untergrund gesandte Stromstärke von 10 mA dauernd konstant gehalten. Es zeigte sich eine merkliche Abnahme des Effektes mit zunehmender Benetzung (Fig. 3). Da aber bei diesem Versuche nicht nur der Elektrolytgehalt des Bodens, sondern zugleich das elektrolytische Lösungsmittel vermehrt wurde, ist durch ihn allein noch nicht zu unterscheiden, auf welchen dieser beiden Faktoren die Abnahme der Empfindlichkeit zurückzuführen ist. Zur Ergänzung wurde deshalb eine weitere Versuchsreihe angestellt, bei der lediglich das Lösungsmittel bei Konstanthaltung der spezifischen Leitfähigkeit durch Hinzufügung reinen Wassers vermehrt wurde. Hierbei blieben die Maximalamplituden der aufgenommenen Diagramme konstant, so daß offenbar nur die Zunahme des Elektrolytgehaltes für das allmähliche Verschwinden des Effektes verantwortlich ist. Die Probe, die darin bestand, trockenes Salz der Elektrodenumgebung beizumengen, bestätigte diesen Schluß, indem der Effekt schnell zum Verschwinden gebracht werden konnte.

Bei diesem Stande der Untersuchung taucht die Frage auf, ob es denn zur Erzeugung des Effektes überhaupt des gewachsenen Bodens, in den die Elektroden hineinversenkt werden, bedarf oder ob es nicht vielleicht genügt, reine mehr oder minder leitende Flüssigkeiten zu verwenden. Die Experimente ließen sich dann nämlich bequemer und übersichtlicher im Laboratorium an einem elektrolytischen Trog fortsetzen.

Die Erschütterungen wurden im geschlossenen Raum in der Weise erzeugt, daß am Fuße des Tisches, der den Trog trug, eine Blattfeder mit Gewicht angebracht war, das beim Zurückschnellen gegen das Tischbein schlug. Zur Erzeugung reproduzierbarer Erschütterungen wurde darauf geachtet, daß die Blatt-

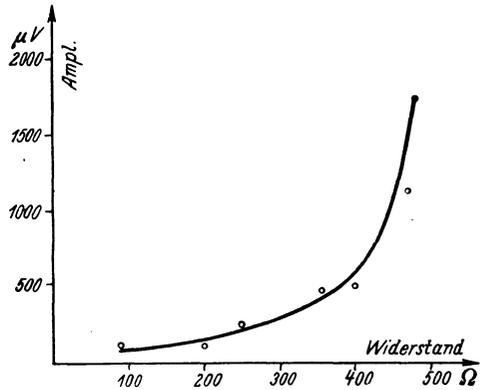


Fig. 3. Abhängigkeit der Effektstärke von der künstlich variierten elektrolytischen Leitfähigkeit des Bodenmaterials

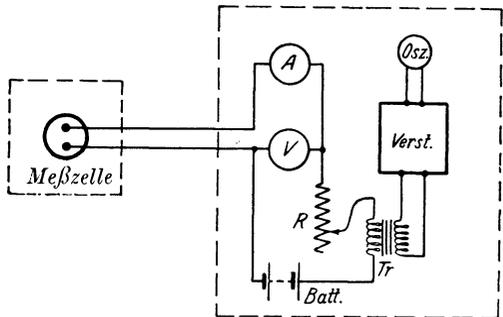


Fig. 4. Versuchsanordnung im Laboratorium mit elektrolytischem Trog

feder mit dem Gewicht stets gleich weit zurückgebogen wurde. Die gedämpft gelagerten Meßinstrumente standen samt den Stromquellen auf einem etwas entfernten zweiten Tisch, um zu verhindern, daß sie durch Erschütterungen Stromschwankungen hervorriefen und einen Effekt vortäuschten. Fig. 4 gibt die Meßanordnung schematisch wieder.

Schon die ersten Versuche in dieser Richtung zeigten einwandfrei, daß man zur Demonstration des Effektes mit gewöhnlichem Leitungswasser auskommt und des festen Bodenmaterials nicht bedarf, der sogenannte seismisch-elektrische Effekt also mit dem Untergrund an sich gar nichts zu tun hat. Die Steigerung der Leitfähigkeit durch Elektrolytzusatz (NaCl , H_2SO_4 und CdSO_4) bestätigte die bereits früher gefundene Tatsache, daß die Amplituden mit wachsender Konzentration abnahmen, um bald ganz zu verschwinden. Es überraschte deshalb nicht, als bei weiteren Versuchen die größte Empfindlichkeit mit destilliertem Wasser gefunden wurde.

Im allgemeinen variiert bei den Messungen außer dem Lösungsmittel, dem Elektrolyten, seiner Konzentration und dem Elektrodenmaterial, auch die Elektrodenoberfläche, die an den Elektroden liegende Spannung und in Abhängigkeit hiervon die Stromstärke und Stromdichte. Zur Klärung der Verhältnisse muß der Einfluß jedes dieser Faktoren, wozu sich noch Temperatur sowie Frequenz und Energie der elastischen Deformationen u. a. gesellen, einzeln untersucht werden. Begonnen wurde mit der Variation der Spannung und der hiervon abhängigen Stromstärke bzw. Stromdichte bei Konstanthaltung aller anderen Faktoren. Trägt man die Spannung auf der Abszisse eines Koordinatensystems auf, so kann man als Ordinate entweder die Maximalamplitude oder die Stromdichte auftragen. Der Vergleich dieser beiden Kurven ist wichtig, da die Empfindlichkeit des Effektes offenbar mit der Charakteristik der Strom-Spannungs-Kurve in enger Beziehung steht. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, die Maximalamplitude als Funktion der Stromdichte aufzutragen, womit man, wie sich zeigen wird, den inneren Zusammenhängen mehr Rechnung trägt.

Begonnen wurde mit Kadmiuelektroden in gewöhnlichem Leitungswasser. Das Ergebnis zeigen die Fig. 5 a bis 5 c. Der Effekt setzt erst bei einem bestimmten Spannungswert*) ein und wächst mit dessen Zunahme. Die Abhängigkeit der Amplitude von der Stromdichte kann etwa durch die empirische Formel

$$A = c(i - a)$$

in der A die Maximalamplitude, d. i. die Stromdichte, und a , c Konstanten sind, wiedergegeben werden, also durch eine lineare Funktion. Versuche mit Kohle- oder Stahlelektroden geben im wesentlichen das gleiche Bild (Fig. 6 a bis 6 c und 7 a bis 7 c). Man kann hieraus für die Praxis entnehmen, daß es sich empfiehlt, hohe Spannungen an die Elektroden zu legen. Interessant sind die Versuche mit Platinelektroden in Leitungswasser, die eine Abweichung ergeben. Wohl deckt

*) Vermutlich erst nach Überschreitung der Gegenpolarisation.

sich der Verlauf der Kurven oberhalb 2 Volt im wesentlichen mit den bisherigen (Fig. 8 a bis 8 c). Auch hier wieder ein gleichmäßiges Ansteigen der Amplitude mit der Stromdichte. Doch treten bei geringer Spannung Anomalien auf. In dem

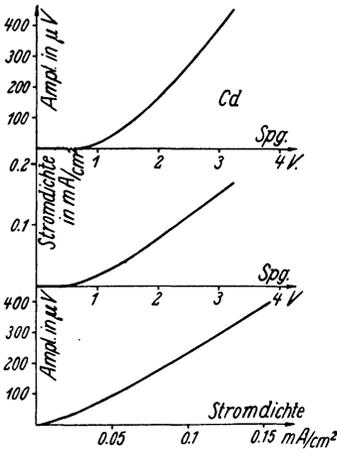


Fig. 5.

Anwachsen der Effektstärke bei Ca mit

- a) der angelegten Spannung,
- b) der Stromdichte,
- c) Stromspannungskurve

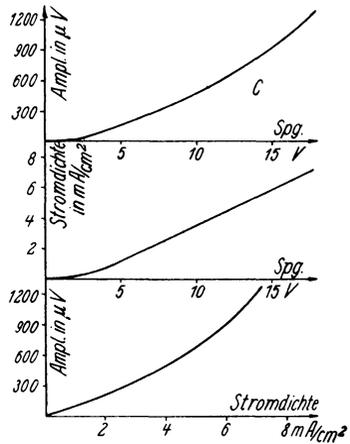


Fig. 6.

Anwachsen der Effektstärke bei C-Elektroden mit Spannung und Stromdichte

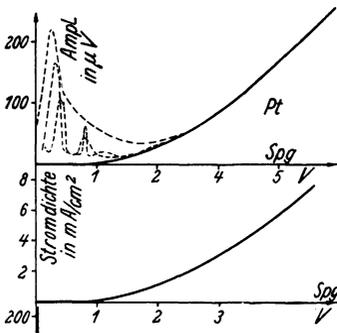


Fig. 8.

Anwachsen der Effektstärke bei Pt-Elektroden mit Spannung und Stromdichte

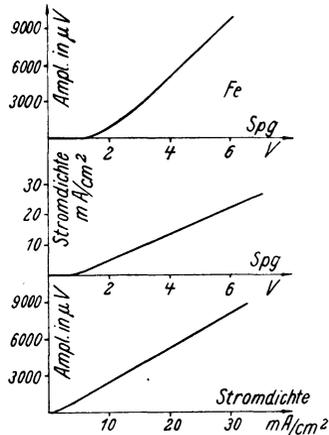


Fig. 7.

Anwachsen der Effektstärke bei Fe-Elektroden mit Spannung und Stromdichte

Kurventeile nämlich, in dem die Stromstärke durch die Polarisationsspannung unterdrückt wird, ist der Effekt teilweise von bemerkenswerter Größe. Die Kurve besitzt Anomalien, die offenbar auf Resonanzphänome hindeuten. Bei etwa

$\frac{1}{3}$ Volt besitzt die Amplitudenkurve beispielsweise ein Maximum, das allerdings labilen Charakter besitzt und gleich der Stromstärke von der Vorgeschichte des Stromdurchganges abhängig zu sein scheint. Es kann sich verschieben und mit der Zeit zu oder abnehmen, wenn nicht gar ganz verschwinden.

Jedenfalls handelt es sich bei dem Effekt um eine rein elektrochemische Erscheinung, und es wäre verwunderlich, wenn ein derartiges, im Laboratorium leicht nachzuweisendes Phänomen der Wissenschaft bislang verborgen geblieben wäre. Dem ist denn auch keineswegs so. Die Durchsicht der Literatur zeigt, daß der von amerikanischen Geophysikern bei seismischen Untersuchungen neuerdings aufgefundene Effekt den Physikern und Elektrochemikern im Prinzip zum mindesten seit langem wohlbekannt ist.

Bereits im Jahre 1899 schrieb W. Nernst in seiner Habilitationsschrift [3]: Doch waren die ohne Zutun des unlöslichen Quecksilbers zusammengesetzten Elemente („Quecksilber-Elektroden“) gegen Erschütterungen äußerst empfindlich. Und 1896 sagt Bucherer auf S. 573 seiner Arbeit [4]: „Dagegen konnte ich feststellen, daß eine Erschütterung . . . einen Strom hervorruft“. Ausführlicher wurden diese Erscheinungen dann von Kistiakowsky in einer Reihe von Arbeiten behandelt [5] *). Und schließlich hat jüngst Nikitin diesbezügliche Untersuchungen angestellt und veröffentlicht [6], die den hier beschriebenen Beobachtungen vielleicht am nächsten kommen.

Grundsätzlich üben elastische Deformationen dreierlei Wirkungen auf das Bodenmaterial aus, die mittelbar oder unmittelbar einen durchfließenden Strom verändern könnten. Erstens können chemische Reaktionen in der flüssigen Phase beeinflußt werden [7]. Ferner kann es zur Depolymerisation von Kolloiden kommen, indem disperse Teilchen immer feiner verteilt werden, wodurch sich Suspensionen und Emulsionen bilden [8]. In diesen beiden Fällen werden die spezifischen Materialeigenschaften verändert. Und schließlich können die Grenzflächenvorgänge zwischen Elektroden und Medium in einer Weise beeinflußt werden, die zur Variation von Kontaktspannungen, Polarisationspotentialen, Zersetzungsspannungen, elektrokinetischen Potentialen oder anderen führt. Hierauf bezieht sich die oben ausführlich angeführte Literatur. Wir glauben auf Grund unserer Versuche annehmen zu können, daß solche Grenzphänomene die Ursache des elektroseismischen Effektes sind **). Weitere Versuche sollen über die Zusammenhänge noch größere Klarheit schaffen.

Literatur

[1] Ludwig W. Blau u. Louis Statham: Method and Apparatus for seismic-electric prospecting. USA-Patent Nr. 2054067 vom 15. Sept. 1936. — R. R. Thompson: The seismic-electric Effect. *Geophysics* **1**, 327—335, Nr. 3 (1936). — M. M. Slotnick: A simplified Circuit of the seismic-electric method and its steady-state solution. *Geophysics* **1**, 336—669, Nr. 3 (1936).

*) Hier auch weitere Literatur.

***) Es soll nicht verschwiegen werden, daß R. R. Thompson auf S. 335 seiner Arbeit, l. c., eine andere Ansicht vertritt.

[2] Vgl. z. B. L. Grumnach: Experimentaluntersuchung zur Messung von Erderschütterungen. Berlin 1913.

[3] W. Nernst: Die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen. S. 29. Habilitationsschrift Leipzig 1889.

[4] Bucherer: Wied. Ann. **58**, 573 (1896).

[5] Wl. Kistiakowsky: Über den Einfluß der Bewegung auf Elektrodenpotentiale und über periodische Erscheinungen. Nernst-Festschrift, S. 215—226. Halle 1912.

[6] L. W. Nikitin: Über akustisch-elektrochemische Erscheinungen. C. R. Acad. Sci. U. R. S. S. Ser. A **4**, 309—313, 21. XI., Leningrad 1934. — L. W. Nikitin: Akustisch-elektrochemische Erscheinungen. II. C. R. de l'Académie des Sciences de l'URSS. 1936, II (XI), S. 67—69, Nr. 2.

[7] Vgl. z. B. H. Beuthe: Über den Einfluß der Ultraschallwellen auf chemische Prozesse. Zeitschr. f. phys. Chem. (A) **163**, 161—171, Nr. 3/4 (1933).

[8] Vgl. z. B. A. Szalay: Intensitätsbestimmungen zur Erklärung der depolymerisierenden Wirkung der Ultraschallwellen. Phys. Zeitschr. **35**, 293—296, Nr. 7 (1934).

Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen

XXIX. Ortung einer Maschine durch ihre Bodenschwingungen

Von **G. A. Schulze**, Göttingen. — (Mit 5 Abbildungen)

Jede Maschine prägt dem Boden angenähert sinusförmige Bodendrucke auf. Die Frequenz dieser Bodendrucke hängt von der Umlaufzeit der Hauptschwingmassen ab. Die Kräfte, mit der die Maschine stößt, sind um so größer, je schlechter die Maschine ausgewuchtet ist. Diese Bodendrucke breiten sich in dem um die Maschine liegenden Boden mit einer bestimmten Ausbreitungsgeschwindigkeit aus. Die Punkte gleicher Phase der Bodenschwingung liegen auf konzentrischen Kreisen um den Maschinenstandort. In Fig. 1 sind in einer schematischen Zeichnung für einen Zeitmoment die Lage der Wellenberge (die Bodenschwingung geht durch den oberen Umkehrpunkt) als ausgezogene Kreise und die Lage der Wellentäler (die Bodenschwingung geht durch den unteren Umkehrpunkt) als gestrichelte Kreise eingezeichnet.

Will man das unbekanntes Störungszentrum dieser sinusförmigen Bodenbewegungen ermitteln, so muß man auf zwei willkürlich gelegten Profilen (siehe Fig. 1, Profil *b* und *c*) Punkte gleicher Phase bestimmen. Man mißt deshalb von einer Basisstation aus auf zwei verschiedenen Profilen *b* und *c* Entfernungen, für die gleiche Phasendifferenz mit der Basisstation besteht. Die so erhaltenen Punkte liegen gleich weit vom Maschinenstandort entfernt. Die Mittelsenkrechte auf der