

Werk

Jahr: 1932

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:8

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0008

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0008

LOG Id: LOG_0077

LOG Titel: Die Resonanzmethode als Hilfsmittel bei seismischen Untersuchungen

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 Resonanzmethode als Hilfsmittel bei seismischen Untersuchungen

Von **R. Köhler**, Göttingen — (Mit 6 Abbildungen)

Mit einer Resonanzmethode werden die schwach gedämpften Eigenschwingungen des Deckgebirges in Göttingen gemessen. Die geringe Dämpfung hat zur Folge, daß die in den Göttinger Nahbebenseismogrammen auftretenden Perioden in der Hauptsache solche Eigenschwingungen sind.

Die Untersuchungen, über die ich berichten möchte, sind ein Versuch, Gesetzmäßigkeiten aufzufinden für die bei Erdbeben und Sprengungen auftretenden Perioden der Bodenbewegung. Die Laufzeitmethode hat gezeigt, daß die elastischen Eigenschaften des Bodens sich im allgemeinen nicht kontinuierlich mit der Tiefe ändern, sondern daß ausgesprochene Diskontinuitäten vorhanden sind. Es ist zu erwarten, daß diese oft horizontalen Schichtgrenzen die Grenzbedingungen sind für freie Eigenschwingungen des Untergrundes, die man in der Seismik als Schichtschwingungen bezeichnet. Ich stelle mir im folgenden die Aufgabe, festzustellen, ob solche Eigenschwingungen des Untergrundes in den Göttinger Seismogrammen von Nahbeben und Sprengungen von Bedeutung sind.

Vorbedingung für eine solche Untersuchung ist, daß die benutzten Seismographen die Bodenbewegung formgetreu abbilden. Bei meinen Messungen habe ich folgende Apparate benutzt: Erstens das Göttinger 17-Tonnen-Pendel, und zwar sowohl in Ruß registrierend, wo die Vergrößerung 2000 beträgt, als auch optisch registrierend, mit 20000facher Vergrößerung. Ferner zweitens einen tragbaren Horizontalseismographen, eine Konstruktion von E. Wiechert, die so umgebaut worden ist, daß die Eigenperiode eine Sekunde, die Vergrößerung 9000 beträgt. Die Aufzeichnungen dieser Apparate in dem hier untersuchten Periodenbereich von 0.2 bis 0.8 sec sind perioden- und amplitudengetreu, wie mehrfach durchgeführte experimentelle Prüfungen gezeigt haben. Zur Prüfung und Eichung diente die in der Zeitschrift für Geophysik*) von mir beschriebene Schwungradmethode, bei der ein Schwungrad mit Exzenter an dem zu untersuchenden Schwinger angebracht wird. Wird das Schwungrad durch einen Schnurzug in Rotation versetzt, so beginnt das ganze System — z. B. die Seismographenmasse samt Schwungrad — unter dem Einfluß der wirkenden Zentrifugalkräfte zu schwingen, und zwar mit kontinuierlich wachsender Periode, der allmählich langsamer werdenden Rotation des Schwungrades entsprechend. Die jeweiligen Amplituden, als Funktion der zu ihnen gehörigen Periode aufgetragen, ergeben die Resonanzkurve des Schwingers, oder besser gesagt eine Resonanzkurve des Schwingers; denn je nach den aufgeprägten Kräften ergibt sich eine verschiedene Resonanzkurve.

*) R. Köhler: Zeitschr. f. Geophys. 8, 74—84 (1932).

Genau die gleiche Resonanzmethode benutze ich nun, um die Eigenperioden des Göttinger Untergrundes zu messen. Das Schwungrad wird durch eine große Maschine ersetzt, und zwar durch eine solche Maschine, die dem Boden genau die gleichen Kräfte aufprägt wie ein großes Schwungrad mit Exzenter. Die beim Anlaufen oder Auslaufen der Maschine auftretenden Bodenamplituden werden als Funktion der Periode aufgetragen und ergeben dann unmittelbar die Resonanzkurve des Untergrundes. Bei meinen Versuchen konnte ich eine Maschine benutzen, die der Lagerversuchsabteilung der Reichsbahn in Göttingen gehört und zu verabredeten Zeiten eingeschaltet wurde. Ich bin für diese liebenswürdige Bereitwilligkeit der Lagerversuchsabteilung, insbesondere Herrn Reichsbahnrat Kunze, zu großem Dank verpflichtet.

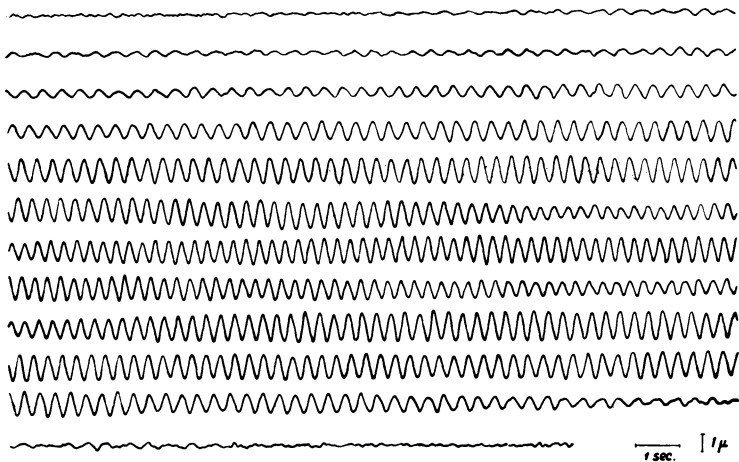


Fig. 1. Registrierung der Bodenbewegungen in 300 m Entfernung beim Anlaufen und Auslaufen einer Maschine

Fig. 1 gibt die Registrierung der Bodenbewegungen, die beim Anlaufen und Auslaufen der Versuchsmaschine in 300 m Entfernung erzeugt wurden. Der Beginn einer Zeile schließt sich unmittelbar an das Ende der vorhergehenden an. Sieht man von den unregelmäßigen Bodenbewegungen ab, die nicht von der Versuchsmaschine herrühren und der eigentlichen Resonanzkurve überlagert sind, so sind die Bodenbewegungen beim Anlaufen und Auslaufen der Maschine sehr regelmäßig und sehr nahe sinusförmig.

Fig. 2 gibt zwei Resonanzkurven in 480 und 590 m Entfernung. Beide Stationen liegen in einer Linie mit dem Standort der Maschine. An beiden Stationen ist die gleiche Komponente der Bodenbewegung registriert worden. Die Resonanzkurven unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die verschieden großen Amplituden. Sie beweisen die Reproduzierbarkeit und die Geländeunabhängigkeit der Resonanzkurven. Der Untergrund hat eine ausgesprochene Eigenperiode bei

0.315 sec. Eine zweite ist bei 0.34 sec angedeutet. Sie ist bei Drehung des Seismographen um 90° deutlich vorhanden. Die Stationen liegen im Leinetal diesseits und jenseits der Leine. Das Überschreiten des Leinebettes verändert die Eigen-

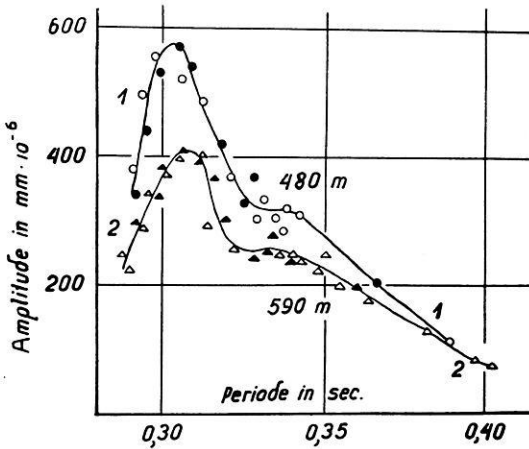


Fig. 2

Resonanzkurven des Untergrundes in 480 m und 590 m Entfernung von der Maschine

Δ \circ Meßpunkte beim Anlaufen, \blacktriangle \bullet Meßpunkte beim Auslaufen der Maschine

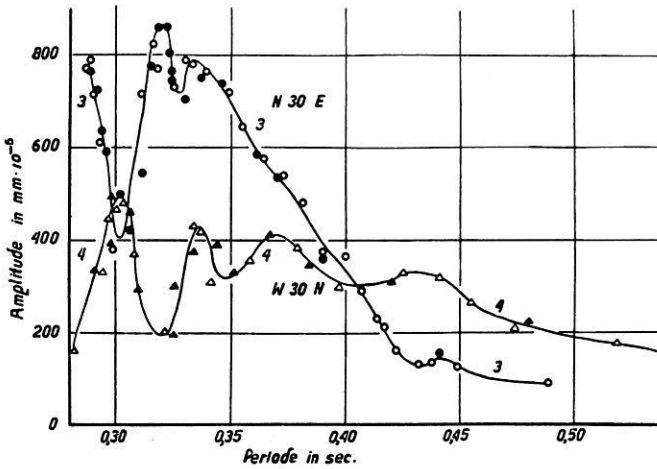


Fig. 3. Resonanzkurven des Untergrundes in 300 m Entfernung von der Maschine

Δ \circ Meßpunkte beim Anlaufen, \blacktriangle \bullet Meßpunkte beim Auslaufen der Maschine

perioden des Untergrundes nicht wesentlich. Der Periodenbereich < 0.28 sec konnte von der Versuchsmaschine nicht gefahren werden.

In Fig. 3 ist Resonanzkurve 3 die Auswertung von Fig. 1. Resonanzkurve 4 gibt die dazu senkrechte Komponente der Bodenbewegung. Das Hauptresonanz-

maximum und damit die hauptsächlich in Erscheinung tretende Eigenperiode des Untergrundes liegt bei 0.32 sec (siehe Fig. 3, Kurve 3). Wie man aus den beiden Kurven sieht, dreht die Schwingungsebene der Bodenbewegung sich gesetzmäßig mit der Periode. Bei 0.30 sec haben die beiden Kurven gleiche Amplitude. Die Schwingung erfolgt unter 45° zu den beiden Komponenten des Seismographen. Bei 0.32 sec dagegen erfolgt sie fast ausschließlich in der Komponente N 30° E. Man sieht außerdem, daß die Resonanzkurven 3 und 4 und damit die Lage der

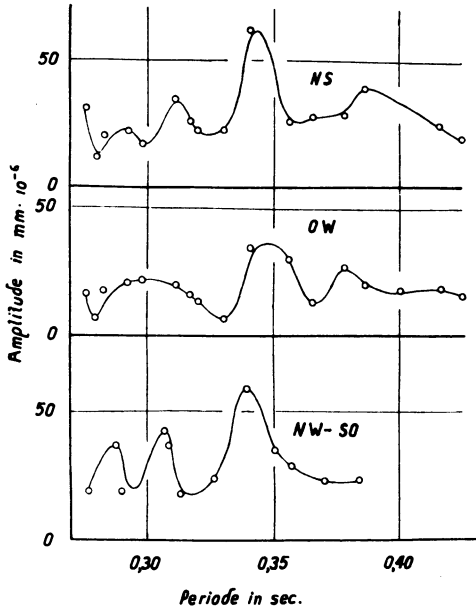


Fig. 4. Resonanzkurven des Untergrundes im Erdbebenhaus

Schwingungsebene für eine bestimmte Periode weitgehend unabhängig davon sind, ob die Maschine an- oder ausläuft.

Fig. 4 zeigt die Resonanzkurven des Untergrundes im Erdbebenhaus des Geophysikalischen Instituts in Göttingen, in 3 km Entfernung von der Maschine. Die Nord—Süd- und Ost—West-Komponente sind mit dem 17-Tonnen-Pendel, die Nordwest—Südost-Komponente mit dem tragbaren Horizontalseismographen in einem Nachbargebäude aufgenommen. Die Messungen mit verschiedenen Apparaten bestätigen sich innerhalb der Fehlergrenzen. Die Haupteigenperiode des Untergrundes liegt bei 0.34 bis 0.345 sec, außerdem sind noch andere, weniger ausgeprägte Eigenschwingungen vorhanden, bei 0.29, 0.315, 0.38 bis 0.40 sec.

Es erhebt sich nun die Frage: Haben die so festgestellten Eigenschwingungen des Göttinger Untergrundes eine wesentliche Bedeutung für die Erdbebenaufzeichnungen der Göttinger Station? Zur Prüfung dieser Frage habe ich in einer Reihe von Nahbebenseismogrammen alle regelmäßigen, sinusförmigen Perioden — und nur diese — mit einem Mikrokomparator ausgemessen und ihre Häufigkeit ausgezählt. Fig. 5 gibt einige Beispiele.

Es handelt sich um 22 Voigtlandbeben 1908, 6 Voigtlandbeben 1929, 2 Rheinlandbeben und eine Sprengung bei Ypern. Es sind alle gemessenen Werte eingetragen, bis auf 4 bei den Voigtlandbeben 1908 und 3 bei den Rheinlandbeben, die aus Gründen der Raumersparnis fortgelassen wurden. Diese Perioden sind größer als 0.44 sec. Da nur Seismogramme der Nord-süd-Komponente vorlagen, so ist außerdem die Nordsüd-Komponente der Resonanzkurve eingetragen, und zwar ist die Resonanzkurve bei den Voigtland-

beben um 0.01 sec nach rechts verschoben. Man sieht, daß die Maxima der Periodenhäufigkeit gut mit den Resonanzmaxima übereinstimmen, obwohl die Unterschiede zwischen den Eigenperioden des Untergrundes oft nur wenige Hundertstel Sekunden betragen. Daß die Maxima der Periodenhäufigkeit bei den Voigtlandbeben bei etwas größeren Perioden liegen als in den anderen Fällen, ist vielleicht dadurch bedingt, daß der Untergrund bei den Voigtlandbeben aus östlicher Richtung, in allen anderen Fällen, also auch im Fall der Resonanzkurve, aus westlicher Richtung angeregt wird.

Jedenfalls zeigt sich, daß alle regelmäßigen Perioden in Nahbebenseismogrammen restlos durch Eigenschwingungen des Untergrundes in der Nähe der

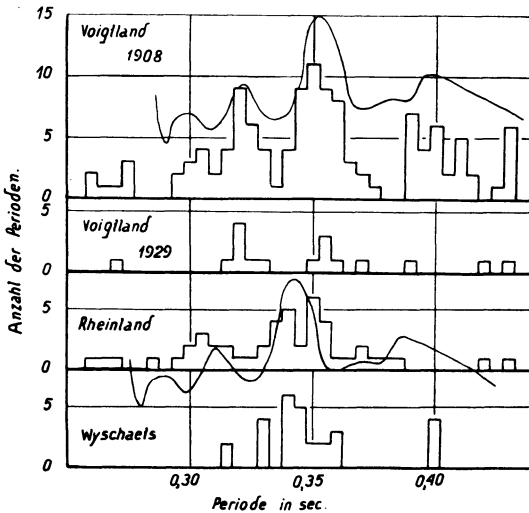


Fig. 5

Periodenhäufigkeit bei Nahbeben und Sprengungen, verglichen mit der Resonanzkurve

Station erklärt werden können. Diese Eigenschwingungen sind schwach gedämpft, wie aus der großen Steilheit der Resonanzmaxima hervorgeht. Das Dämpfungsverhältnis beträgt 1.1 bis 1.5.

Was die Ausdehnung des zu Eigenschwingungen angeregten Untergrundes betrifft, möchte ich vermuten, das es sich um die gesamte Schichtenfolge des Deckgebirges vom Zechstein bis zum Muschelkalk handelt, die in Göttingen etwa 2 km dick ist. Für diese Vermutung sprechen folgende Argumente.

Erstens. Maschinenschwingungen der oben untersuchten Art konnten von Mintrop*) und Bornitz**) bis in Tiefen von 400 bzw. 530 m beobachtet

*) L. Mintrop: Über die Ausbreitung der von den Massendruckern einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingungen. Diss. Göttingen 1911.

**) G. Bornitz: Über die Ausbreitung der von Großkolbenmaschinen erzeugten Bodenschwingungen in die Tiefe. J. Springer, Berlin 1931.

werden. Die Knotenfläche der freien Schwingung dürfte daher noch erheblich tiefer liegen.

Zweitens. In Jena hat das Deckgebirge ungefähr die gleiche Mächtigkeit wie in Göttingen. Dementsprechend fallen auch die regelmäßigen Perioden bei Nahbeben kleiner Herddistanz fast ganz in den gleichen Periodenbereich wie in Göttingen, nämlich in das Intervall 0.26 bis 0.43 sec.

Drittes Argument. Im nördlichen Alpenvorlande ist das Deckgebirge von größerer Mächtigkeit, da dem Muschelkalk die gesamte Juraformation und noch andere jüngere Sedimente aufgepackt sind. Infolgedessen sind größere Eigenperioden des Untergrundes zu erwarten als in Göttingen und Jena, wenn meine Arbeitshypothese richtig ist. Die Untersuchung von Beben, die in Zürich registriert wurden, ergab, daß bei 0.6 sec eine ausgesprochene Häufigkeitsstelle der Perioden liegt, dagegen nur wenige Perioden in den Bereich 0.2 bis 0.5 sec fallen.

Noch ein weiteres Argument spricht dafür, daß die Eigenperioden des Göttinger Untergrundes von 0.3 bis 0.4 sec dem Deckgebirge zuzuordnen sind.

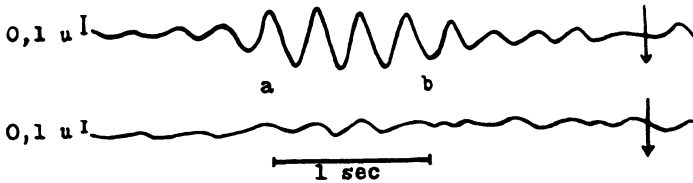


Fig. 6. Eigenschwingung des Untergrundes in Göttingen, angeregt durch eine Steinbruchsprengung in Menden (Westfalen). Einsatz der Longitudinalwellen, die durch das Deckgebirge gelaufen sind.

↓ Obere Kurve : Bodenbewegung nach Westen
↓ Untere „ : „ „ „ „ Osten

Die nächstgrößere Eigenperiode des Göttinger Untergrundes liegt nämlich bei 1.2 sec. Sie ergibt sich aus den Kurven der Periodenhäufigkeit mit großer Sicherheit und Genauigkeit. Nahbeben aus Bologna und Fernbeben aller Herddistanzen regen sie in gleicher Weise an. Die Untersuchungen über diese Eigenperiode sind noch nicht abgeschlossen, doch läßt sich mit Sicherheit sagen, daß in Jena, Potsdam und Zürich bevorzugte Untergrundeigenperioden von ebenfalls genau 1.2 sec vorhanden sind. Die zugehörige Schicht hat also in ganz verschiedenen Teilen Deutschlands die gleiche Eigenperiode, folglich auch die gleiche Mächtigkeit. Sie muß daher erheblich dicker sein als das Deckgebirge.

Auf jeden Fall aber hat der Untergrund, dessen Eigenschwingungen mit der Resonanzmethode angeregt wurden — ganz einerlei, ob es sich nun um das Deckgebirge handelt oder ob meine Vermutung falsch ist —, eine ganz beträchtliche Ausdehnung.

Man kann die in Frage kommende Schicht des Untergrundes als einen Seismographen ansehen, der auf basaltischem und granitischem Gesteinsmaterial steht und dessen Bewegungen aufzeichnet, jedoch verzerrt und mit Eigenschwingungen

überlagert. Die geringe Dämpfung hat zur Folge, daß bei Nahbeben und Sprengungen die einmal angeregten Eigenschwingungen nur langsam abklingen. Fig. 6 belegt beispielmäßig diese Tatsache. Es handelt sich um die Registrierung einer Steinbruchsprengung. Herd: Menden in Westfalen. Beobachtungsort: Göttingen. Die benutzten Seismographen sind stark gedämpft und bilden formgetreu ab. Die durch das Deckgebirge gelaufenen Longitudinalwellen haben die 0.29 sec Eigenperiode des Göttinger Untergrundes angeregt. Von *a* bis *b* haben wir die ungestört abklingende Eigenschwingung vor uns. Die Berechnung des Dämpfungsverhältnisses aus aufeinander folgenden Amplituden ergibt den sehr geringen Wert von 1.06 im Mittel.

Die Schwingungsebene bildet im Intervall *a* bis *b* einen Winkel von 20° bis 30° mit der Richtung Herd—Station. Sie liegt etwa W 25° N. Das natürliche Azimut der Eigenschwingungen dagegen liegt nach den Resonanzversuchen ungefähr W 45° N. Die durch die Sprengung angeregte Eigenschwingung 0.29 sec erfolgt also weder im Herdazimut noch in ihrem natürlichen Azimut, sondern in einer Zwischenrichtung.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Oktober 1932.

Zusammenhang zwischen Boden- und Gebäudeschwingungen

Von A. Ramspeck, Göttingen

Es wird hier nur der Einfluß der Horizontalschwingungen auf Gebäude betrachtet. Bodenbewegungen können nur dann schädlichen Einfluß auf ein Gebäude ausüben, wenn sie das Gebäude relativ zum Fundament in Schwingung versetzen. Infolge der Deformation, die das Gebäude dann bei der Schwingung erleidet, entstehen zwischen seinen Teilen innere Spannungen — bei Horizontalschwingungen hauptsächlich Schubspannungen —, die Funktionen der Amplituden der Gebäudeschwingung sind. Wenn die Art der Deformation des Gebäudes bekannt ist, lassen sich daher die durch sie hervorgerufenen inneren Spannungen berechnen. Der einfachste Fall der Deformation ist die einfache Scherung, bei der die zur Schwingungsrichtung senkrechten Seitenwände des Gebäudes Ebenen bleiben. Für diesen Fall lassen sich die entstehenden Schubspannungen leicht berechnen.

Ist z. B. die Amplitude eines Punktes in der Höhe *h* über dem Fundament gleich *x* (Amplitude des Punktes = seitliche Verschiebung des Punktes gegen einen Punkt des Fundamentes, der in der Ruhelage senkrecht unter ihm liegt), so ist die entstehende innere Schubspannung in roher Annäherung $K = x \cdot G/h$, wo *G* der Schubmodul des Baumaterials ist. Die Amplitude *x* ist also ein Maß für die infolge der Schwingung entstehende Schubspannung. Diese Schubspannungen können so groß werden, daß das Gebäude zerstört wird. Das tritt dann ein, wenn die Schubspannungen größer als die Schubfestigkeit des Bau-