

Werk

Jahr: 1936

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:12

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0012

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0012

LOG Id: LOG_0067

LOG Titel: Das elastische Verhalten des Bodens bei sinusförmiger Anregung

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

Das elastische Verhalten des Bodens bei sinusförmiger Anregung

Von G. A. Schulze, Göttingen — (Mit 2 Abbildungen)

Bei den gemeinsamen Arbeiten der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik und dem Geophysikalischen Institut Göttingen sollte das elastische Verhalten des Bodens bei sinusförmiger Anregung untersucht werden. Der Stoff für diesen Vortrag ist zu einem großen Teil einer gemeinsamen Veröffentlichung¹⁾ von Dr. Ramspeck und Dr. Köhler entnommen.

Als Sender diente ein Schwinger mit gegenläufigen Massen, der dem Boden vertikale sinusförmige Bodendrucke im Frequenzbereich von 10 bis 50 Hertz mit einer Maximalbelastung von 2000 kg aufprägen konnte. Dieser Schwinger gab gleichzeitig mit diesen elastischen Wellen noch für eine bestimmte Schwungmassenstellung ein elektrisches Signal. Als Empfänger diente ein elektrischer, geeichter Seismograph mit einer 10000fachen Vergrößerung. Die träge Masse besteht hierbei aus einem Permanentmagneten, dem eine Induktionsspule mit Eisenkern gegenüberliegt. Die in dieser Spule induzierten Ströme werden durch ein Kabel auf ein Galvanometer mit einer Eigenperiode von ~ 0.5 sec übertragen. Beim Bau dieses Seismographen kam es hauptsächlich darauf an, daß er leicht zu transportieren und aufzustellen, d. h. ohne viele empfindliche Hebelsysteme gebaut war. Die Bodenschwingungen wurden nun in verschiedenen Entfernungen vom Sender längs eines Profils mit den elektrischen Signalen gleichzeitig registriert. Bei den Geschwindigkeitsmessungen trägt man den Phasenunterschied zwischen dem elektrischen Signal und einer Phase der Bodenschwingung z. B. dem unteren Umkehrpunkt in sec als Funktion der Entfernung auf. Man erhält so direkt eine Laufzeitkurve. Auf homogenem Boden ist die Geschwindigkeit für verschiedene Wellenlängen oder Frequenzen gleich groß. Dagegen erhält man auf geschichtetem Boden eine Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Frequenz. Für einen bestimmten Boden wurde für 24 Hertz 150 m/sec, für 10 Hertz 330 m/sec und für 6 Hertz 750 m/sec gemessen. Diese gemessene Dispersionskurve ließ sich durch Dispersionskurven²⁾ annähern, die für ein zweischichtiges Medium berechnet waren. Die Neigung der Kurve hängt im wesentlichen von dem Geschwindigkeitsverhältnis in den beiden Schichten ab.

Amplitudenschwankungen treten auf, wenn man die Amplitude in Abhängigkeit 1. von der Zeit für einen festen Ort, 2. von der Entfernung bei konstanter Frequenz und 3. von der Frequenz an einem festen Ort gemessen aufträgt. Man erhält Amplitudenschwankungen in Abhängigkeit von der Zeit, wenn Wellen mit benachbarten Frequenzen zusammentreffen. Hierbei handelt es sich um echte Schwebungen. Beim An- oder Auslauf eines Schwingers²⁾ kommen wegen der verschiedenen Laufzeiten durch einen zweigeschichteten Boden Frequenzen gleichzeitig am Beobachtungsort an, die kurz hintereinander an dem Schwinger

entstanden sind. Diese Wellen mit benachbarten Frequenzen überlagern sich zu Amplitudenschwebungen³⁾.

Fig. 1 zeigt neben dem gleichmäßigen Auslauf eines Schwingers Schwebungen der Bodenschwingungen in 140 und 160 m Entfernung. Bei der Schwebungskurve in 160 m Entfernung gehen die Periodenänderungen, die gleichzeitig mit den Amplitudenminima auftreten, alle nach längeren Perioden nach oben hin. Bei den Schwebungen in 140 m Entfernung tritt als Besonderheit auf, daß für das

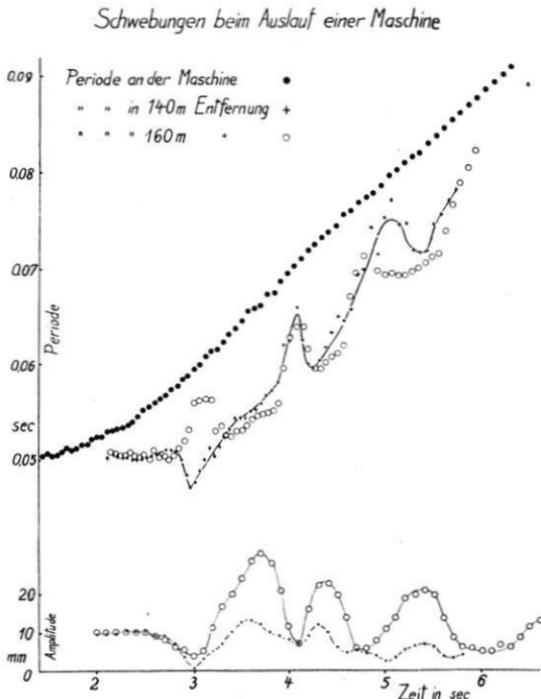


Fig. 1. In der Schwebungskurve in 140 m Entfernung ist die erste Periodenänderung nach unten, die nächsten nach oben. Das Amplitudenverhältnis hat sich umgekehrt

erste Amplitudenminimum die Periodenänderung nach unten, für die folgenden nach oben eintreten. Das Amplitudenverhältnis hat sich also während der Messung umgekehrt. Ein Beweis für diese Umkehr ist, daß das erste Amplitudenminimum fast auf Null heruntergeht; die Amplituden der Teilschwingungen sind fast gleich groß. Aus einer Reihe von Schwebungskurven, die längs eines Profils aufgenommen sind, lassen sich verschiedene Aussagen über Geschwindigkeiten, Schichtdicken und Absorption machen.

Bei den Amplitudenschwankungen in Abhängigkeit vom Ort bei konstanter Frequenz handelt es sich um Interferenzen¹⁾. Bei gleicher Frequenz aber verschie-

dener Geschwindigkeit in zwei Schichten sind die Wellenlängen verschieden groß. $\lambda_1 = v_1/n$; $\lambda_2 = v_2/n$; v_1 Geschwindigkeit in der oberen Schicht; v_2 Geschwindigkeit in der unteren Schicht. Je nachdem ob die beiden Schwingungen in Phase oder in Gegenphase schwingen, ergibt sich ein Amplitudenmaximum oder -minimum. Gilt für ein Maximum in der Entfernung s_1 für die Laufzeitdifferenz $(\Delta t)_{s_1} = r T$ ($T = 1/n = \text{Periode}$), so liegt das nächste Maximum in der Entfernung s_2 , wenn für s_2 gilt $(\Delta t)_{s_2} = (r + 1) T$. Die Differenz der Laufzeitdifferenzen ergibt $(\Delta t)_{s_2} - (\Delta t)_{s_1} = T = 1/n = (s_2 - s_1) (1/v_1 - 1/v_2)$. Es ist also das Produkt $n (s_2 - s_1) = (1/v_1 - 1/v_2)^{-1}$ gleich einer Konstanten.

Amplitudenschwankungen in Abhängigkeit von der Frequenz für eine feste Entfernung vom Sender erhält man direkt durch Umzeichnen der Interferenzkurven. Für diese Kurven gilt dann: Liegt ein Maximum bei einem bestimmten n_1 , für die die Laufzeitdifferenz $(\Delta t)_{n_1} = r T_1$ ist, so liegt das nächste Maximum bei der Frequenz n_2 , für die gilt $(\Delta t)_{n_2} = (r + 1) T_2$. Die Laufzeitdifferenz für die beiden Frequenzen n_1 und n_2 ist wegen der festen Entfernung des Beobachtungsortes vom Schwinger gleich groß. Es ist

$$(\Delta t)_{n_1} = (\Delta t)_{n_2} = \frac{1}{n_2 - n_1}; \quad \text{da } r = \frac{n_1}{n_2 - n_1} \text{ ist.}$$

Die Laufzeitdifferenz

$$\Delta t = \frac{1}{n_2 - n_1} = s \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) - \frac{2d}{v_1}$$

($d = \text{Dicke der oberen Schicht}$). Das Produkt

$$s (n_2 - n_1) = \left[\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) - \frac{2d}{v_1 s} \right]^{-1}$$

ist in diesem Fall \sim konstant, wenn s groß ist gegen d .

Anregung der Eigenperiode des Bodens durch nicht stationäre sinusförmige Zustände. In der Fig. 2 ist die Periode des Schwingers als ausgefüllte Kreise und die Periode des Bodens in 60 m Entfernung als offene Kreise als Funktion der Zeit aufgetragen. Beim Auslauf der Maschine nehmen die Perioden gleichmäßig zu. Der Boden in 60 m Entfernung macht dieselbe Periodenänderung zeitlich später durch. Von dem Doppelten der Eigenperiode des Bodens an macht er die erzwingende Bewegung nicht mehr mit, sondern pendelt in seiner Eigenperiode fast ungedämpft aus. Für das Auftreten der Eigenschwingung des Bodens ist es notwendig, daß die Energie der erzwingenden Schwingung abnimmt. Durch geeignete Anordnung des Auslaufversuches ist also eine Methode gegeben, um die freie Eigenschwingung eines Bodens anzuregen. Diese Methode hat den Vorzug vor der Anregung durch Sprengungen, daß eine bestimmte Eigenperiode angeregt werden kann. Die Eigenperiode der oberen Schicht beträgt 0.102 sec. Die Eigenperiode des Seismographen lag bei 0.07 sec. Bei einer Schichtdicke $D = 2$ m und einer Geschwindigkeit $v = 75$ m/sec ergibt sich eine Eigenperiode $T = 0.106$ sec.

Hierbei ist $D = \frac{\lambda}{4} = \frac{v}{4} T$ gesetzt worden (Knoten an der Grenzfläche). Die Dämpfung berechnet sich aus der ausklingenden freien Eigenschwingung, wenn man die noch herrschenden nicht stationären Zustände unberücksichtigt läßt, kleiner als 1.01 : 1.

Dieselbe Erscheinung läßt sich mit Hilfe eines ungedämpften Seismographen auf dem Schütteltisch zeigen. Bei kontinuierlich zunehmender Periode des

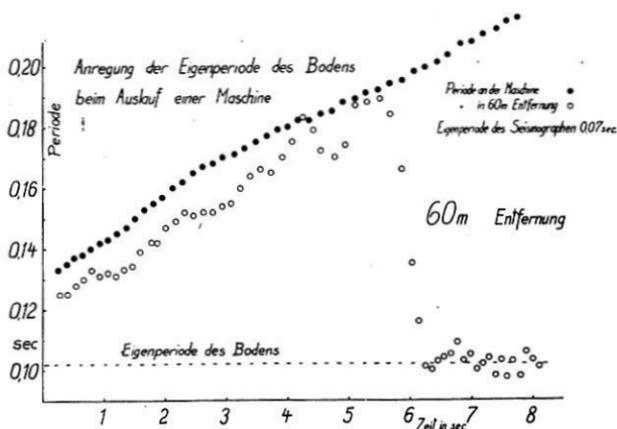


Fig. 2. Der Boden macht bis zum Doppelten der Eigenperiode des Bodens die erzwingende Schwingung mit. Von dort an pendelt er in seiner Eigenperiode fast ungedämpft aus

Schütteltisches macht der Seismograph die Bewegung des Schütteltisches bis zu seiner Eigenperiode mit. Von der Eigenperiode an behält der Seismograph diese bei, trotz der weiteren Zunahme der Periode des Schütteltisches. Diese Methode wurde auch von Dr. Köhler zur Anregung der Eigenperiode eines Gebäudes benutzt⁴⁾.

Literatur

¹⁾ Gemeinschaftsarbeit d. Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik Berlin und dem Geophysikalischen Institut Göttingen. Ramspeck-Köhler: Die Anwendung dynamischer Baugrunduntersuchungen. Heft 4 der Veröffentl. d. Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (XXIV der Seism. Untersuchungen d. Geophysik. Instituts in Göttingen).

²⁾ G. A. Schulze: Über die Ausbreitung sinusförmiger Bodenbewegung. (Seism. Untersuchungen d. Geophysik. Instituts in Göttingen Nr. XIX.) Zeitschr. f. Geophys. 11, 307 (1935).

³⁾ R. Bungers: Theorie der Schwebungen. (Seism. Untersuchungen d. Geophysik. Instituts in Göttingen, Nr. XXV.) Ebenda 12, 229 (1936).

⁴⁾ R. Köhler: Messung der Schwingungskennziffern und Herabminderung der Erschütterungen in einer Kohlenwäsche. (Seism. Untersuchungen d. Geophysikal. Instituts in Göttingen, Nr. XXIII.) Ebenda 12, 148 (1936).