

Werk

Jahr: 1924

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:1

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0001

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0001

LOG Id: LOG_0030

LOG Titel: Die Registrierung der durch fallende Gewichte erzeugten Bodenschwingungen mit einem zweimillionenfach vergrößernden Wiechertschen Vertikalseismometer

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 there 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 Registrierung der durch fallende Gewichte erzeugten Bodenschwingungen mit einem zweimillionenfach vergrößernden Wiechertschen Vertikalseismometer.

(Göttinger Seismische Untersuchungen.)

Von F. Hubert in Göttingen. — (Mit drei Abbildungen.)

Die Arbeit bildet den ersten Teil einer von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen angenommenen Doktordissertation. Es werden die benutzten Apparate beschrieben; die Bodenunruhe wird so weit behandelt, als sie sich bei den Versuchen störend bemerkbar machte, drei Sprengversuche ergeben eine Abhängigkeit der Fernwirkung von der Lagerung des Sprengstoffes und gestatten die Bestimmung der Laufgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen an der Beobachtungsstelle zu annähernd 1700 m/sec.

§ 1. Einleitung. In den Jahren 1921/22 ist im Göttinger Geophysikalischen Institut von Herrn Geheimrat Wiechert mit Mitteln der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft ein zweimillionenfach vergrößerndes Vertikalseismometer konstruiert worden zur Registrierung schneller Bodenschwingungen. Ich übernahm es, mit diesem Seismometer die Bodenerschütterungen zu untersuchen, die durch frei fallende Gewichte hervorgerufen werden; über die dabei gewonnenen Ergebnisse soll im folgenden berichtet werden. Zwei Berichte über das Seismometer und einige Versuche sind schon veröffentlicht worden *)**). Die Versuche bestanden in der Registrierung der Bodenerschütterungen, hervorgerufen durch Sprengungen in einem 17 km entfernten Basaltsteinbruch und in der Registrierung von Schallwellen einer Sprengung in Jüterbog.

Ähnliche Versuche mit einem fünfzigtausendfach vergrößernden Horizontalseismometer hat Herr Geheimrat Wiechert schon 1906 auf dem Artillerieschießplatz bei Meppen zur Untersuchung der Bodenerschütterungen durch Schiffsgeschütze angestellt***). Mit demselben Seismometer untersuchte L. Mintrop in seiner Doktordissertation †) die Bodenschwingungen, die von den Groß-Gasmaschinen des Göttinger Elektrizitätswerkes erzeugt werden. Dort befindet sich auch das Diagramm eines künstlichen Erdbebens, hervorgerufen durch den Fall einer 4000 kg schweren Stahlkugel aus 14 m Höhe. Über weitere Fall-

*) E. Wiechert Untersuchungen der Erdrinde mit dem Seismometer unter Benutzung künstlicher Erdbeben. Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-phys. Kl. 1923.

***) Derselbe: Beobachtungen von Lufterschütterungen in Göttingen bei Sprengungen in Jüterbog. (Seismische Untersuchungen. Erste Mitteilung.) Zeitschrift f. Geophys. 1924/25.

****) Derselbe: Über Erdbebenwellen I, S. 53. Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-phys. Kl. 1907.

†) L. Mintrop: Über die Ausbreitung der von den Massendrücken einer Groß-Gasmaschine erzeugten Bodenschwingungen. Dissertation, Göttingen 1911.

versuche derselben Art, in verschiedenen Entfernungen registriert, über Bodenuhr, hervorgerufen durch Wagen, Eisenbahnen und den Betrieb der Großstadt, über Bodenerschütterungen durch einen Rammäsen, Gesteinssprengungen u. dgl. hat Mintrop auf einem Kongreß in Dusseldorf vorgetragen *). Ähnliche Versuche sind auch in dem Bericht Mintrops über die Erdbebenstation in Bochum erwähnt **). Später hat Mintrop ein Vertikalseismometer, als Gegenstück zu diesem Wiechertschen Horizontalseismometer, und zwei Horizontalseismometer so zusammengestellt, daß die Registrierung der drei Komponenten auf einem Film erfolgen kann. Abbildungen dieser Instrumente und der erzielten Registrierungen finden sich außer in den zitierten Abhandlungen noch in Galitzin, Vorlesungen über Seismometrie, S. 205 ff. Mintrop hat dann leicht transportable Vertikalseismometer konstruiert, die von der von Mintrop geleiteten Firma „Seismos“, Hannover, für Zwecke der praktischen Geologie des Bergbaues erfolgreich verwendet werden ***).

Seismographen und Seismoskope für besonders schnelle Bodenschwingungen sind von Grunmach †) konstruiert worden. Grunmach hat die Felsschwingungen gemessen, die an der Queis-Talsperre (bei Marklissa in Schlesien) durch den Absturz größerer Wassermassen hervorgerufen werden. Er benutzte dabei zwei Apparate: einen Apparat zur Messung der Maximalwerte der auftretenden Beschleunigungen in drei zueinander senkrechten Richtungen (Dreipendelapparat) und ein Horizontalpendel. Die Beschleunigungen schwankten je nach den Abflußverhältnissen der Wassermassen zwischen 5 und 130 cm/sec², die registrierten Felsschwingungen hatten eine Periode von 0.029 bis 0.0025 Sekunden.

§ 2. Die benutzten Apparate. Das Millionenseismometer steht im Erdbebenhaus des Göttinger Geophysikalischen Instituts auf Muschelkalkuntergrund, der durch einen Betonüberzug geebnet ist. Es bedeckt eine Grundfläche von etwa 4 qm, so daß es sinnlos wäre, wie gleich hier erwähnt sein mag, die „Herdentfernung“ genauer als auf ± 1 m angeben zu wollen. Der Apparat hat noch nicht seine endgültige Form, es ist vorgesehen, die Vergrößerung noch zu steigern. Die Masse des Seismographen wird dargestellt durch 16 Betonplatten von je 330 bis 340 kg Gewicht, 1.80 m Länge und in der Mitte etwa 1 m Höhe, die senkrecht parallel nebeneinander stehen. Nach beiden Seiten verjüngen sich die Platten, das eine Ende steht durch Vermittlung eines eisernen Dreifußes auf dem Felsboden, die anderen Seitenenden ruhen zu je acht auf zwei Eisenbahnschienen. Jede der Eisenbahnschienen liegt auf einem Vergrößerungshebel auf, an dem auch die Tragefedern angreifen, die zu jedem Vertikalseismometer ge-

*) L. Mintrop. Über künstliche Erdbeben. Intern Kongr. f. Bergbau, Hüttenwesen, angew. Mechan. u. prakt. Geologie. Düsseldorf 1910. Ber. d. Abteil. f. prakt. Geologie

***) Derselbe Die Erdbebenstation der westfälischen Bergwerkschaftskasse in Bochum. „Glück auf“, Berg- u. Hüttenmännische Zeitschr., 45. Jahrg., Essen/Ruhr 1909

****) Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten nach dem seismischen Verfahren. Mitteilungen der Seismos-Gesellschaft. Hannover 1922. Selbstverlag der Seismos.

†) L. Grunmach: Über neue Methoden und Apparate zur Messung von Erdschütterungen kleinster Periode. Phys. Zeitschr. 10, 853—859 (1909).

horen. Es sind dann, an einem besonderen Gestell befestigt, mehrere weitere Hebel hintereinander geschaltet, die schließlich das Spiegelgehänge bewegen. Außerdem finden sich noch die übliche Dämpfung, verschiedene Arretierschrauben und Astasierfedern. Sämtliche Gelenke sind in der von Wiechert eingeführten Weise in Form von Biegefedern ausgebildet, so daß Reibung nicht auftreten kann.

Lichtschreiber für die photographische Registrierung nach Mintrop waren von der Firma Seismos, Hannover, dem Institut zur Verfügung gestellt worden. Ein solcher Lichtschreiber, ein leicht handlicher Registrierapparat, besteht aus einem lichtdichten Kasten, enthaltend die Vorratstrommel für das photographische Papier und das Uhrwerk für den Transport des Papiers. Zwei außen am Kasten befindliche drehbare Knöpfe gestatten, Uhrwerk und Mitnehmervorrichtung augenblicklich und unabhängig voneinander ein- und auszuschalten. Der Lichtpunkt zur Registrierung wird in der bekannten Weise durch Einfadenglühhbirne, Linse und Zylinderlinse erzeugt. Da der Seismograph sehr gute Optik besitzt, ist bei geradem Faden der Glühbirne der Lichtpunkt außerordentlich scharf und gibt Kurven von etwa $\frac{1}{10}$ mm Dicke.

Von dem 6 cm breiten photographischen Papier stehen für die Registrierung der Bodenerschütterungen 4 cm der Breite zur Verfügung, an jeder Seite wird etwa 1 cm für Zeitmarken in Anspruch genommen. Auf der einen Seite erzeugt eine sinnreiche Vorrichtung des Lichtschreibers in Abständen von $\frac{1}{5}$ Sekunde Lichtblitze. Dadurch ist eine scharfe Kontrolle über den regelmäßigen Gang des Uhrwerks gewährleistet. Die Registriergeschwindigkeit betrug je nach den zur Verfügung stehenden Lichtschreibern 1 bis 7 cm/sec, bevorzugt wurden die schnellen Registriergeschwindigkeiten, wenn ein passender Lichtschreiber zur Verfügung stand. Bei tadellosem Gange des Uhrwerks und schneller Registriergeschwindigkeit beträgt die Genauigkeit, mit der die Kurve ausgemessen werden kann, etwa ± 0.001 Sekunden.

Der Lichtschreiber steht bei der Registrierung unter Zwischenschaltung einer Gummifederung auf einer Holzkonsole, die an der Wand des Erdbebenhauses angebracht ist. Störende Erschütterungen des Seismographen durch das Uhrwerk des Lichtschreibers wurden infolge dieser Vorsichtsmaßregeln nicht beobachtet. Der Beobachter sitzt bei der Registrierung auf einer Plattform, die an Ketten von der Decke herabhängt.

Das Fallwerk, ein eiserner Gerüsturm von 14 m Höhe und 4 Tonnen Tragfähigkeit, befindet sich in 125 m Entfernung vom Seismometer im Institutsgelände. Als Fallkörper wurden gewöhnliche Gewichtstücke benutzt, und zwar Gewichte von 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 und 50 kg. Sie wurden so fallen gelassen, daß sie mit der unteren ebenen Fläche zum Aufschlagen kamen. Ferner wurde eine Walze von 117 kg Gewicht und 48 cm Länge und 23 cm Durchmesser benutzt, die an zwei Zapfen an den Enden in die Höhe gezogen wurde, so daß die Achse stets horizontal blieb. Die Walze kam also mit der Zylinderfläche zum Aufschlagen auf den Boden. Die größte Fallhöhe betrug 11 bis 12 m. Zum Heraufziehen der Fallgewichte diente ein gewöhnlicher Schiffsflaschenzug. Zwischen Flaschenzug und Gewicht befand sich die elektrische Auslösungsvorrichtung, die vom Erdbebenhause aus bedient werden konnte.

Die Aufschlagfläche für die Fallgewichte war im Erdboden in besonderer Weise vorbereitet. In dem mit größeren Kalksteinbrocken durchsetzten Erdboden war eine trichterförmige Grube von 1 m Tiefe ausgehoben. Die Wände wurden mit Kalksteinplatten ausgelegt, und dann der Trichter mit gewaschenem Kies bis zu einer Höhe von 70 cm aufgefüllt, so daß die Gewichte in diesen Kies hineinfielen.

§ 3. Konstantenbestimmungen. Die Eigenperiode T_0 ist bei der jetzigen Form des Seismographen mittels der Astasierfedern in den Grenzen von etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{30}$ Sekunde veränderlich. Zu Beginn der Registrierung bei der Aufstellung des Seismographen wurde versucht, eine möglichst lange Eigenperiode zu erreichen, $\frac{1}{5}$ Sekunde oder noch länger. Bei dieser Regulierung wurden auch die ersten Fallversuche für die vorliegende Arbeit gemacht. Genaue Konstantenbestimmungen von Eigenperiode T_0 , äquivalenter Pendellänge L und Dämpfung ε ließen sich hierbei aus verschiedenen Gründen nicht vornehmen. Zum Beispiel war es nicht möglich, das Pendel anzustoßen und dann frei schwingen zu lassen, es blieb dabei an den Hemmschrauben kleben. Es konnte nur die Indikatorlänge J gemessen werden und daraus, unter Zugrundelegung einer durch die Hebelübersetzung fest gegebenen Indikatorvergrößerung von etwa 2 Millionen, die äquivalente Pendellänge und die Eigenperiode berechnet werden. Die Dämpfung war ungefähr aperiodisch. Alle Schwierigkeiten, die beim Arbeiten mit Seismographen großer Indikatorlänge und Neigungsempfindlichkeit auftreten, kamen noch hinzu. Es wurde bei diesen Versuchen eine Indikatorlänge von $J = 10\,000$ bis $20\,000$ m und darüber erreicht, entsprechend einer Eigenperiode von $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{5}$ Sekunde und einer Neigungsempfindlichkeit $E = \frac{J}{206\,000}$ von etwa 50 bis 100 mm. Doch sind alle diese Zahlen sehr wenig genau, sie sollen nur eine Anschauung der Größenverhältnisse geben.

Bei den Hauptversuchen wurde aus Gründen, die im nächsten Abschnitt erörtert werden, eine andere Einregulierung, und zwar auf kurze Eigenperiode von etwa $\frac{1}{25}$ Sekunde, gewählt. Ein kleiner Umbau am Seismographen ermöglichte nunmehr auch genaue Konstantenbestimmungen. Nur die reduzierte Eigenperiode T_0 , d. h. die Schwingungszeit des ungedämpften Pendels, mußte auch jetzt noch aus der Schwingungsdauer T^* des gedämpften Pendels berechnet werden, da die Dämpfung nicht ausgeschaltet werden konnte. Zwischen T^* und T_0 besteht die Beziehung*):

$$T_0 = \frac{T^*}{\sqrt{1 + \left(\frac{\log \text{nat } \varepsilon}{\pi}\right)^2}}$$

Gelegentlich einer Reinigung der Dämpfung konnte dieses theoretisch abgeleitete Verhältnis nachgeprüft werden; es wurde eine gute Übereinstimmung mit der Beobachtung gefunden.

Bei jeder Versuchsreihe wurde eine vollständige Konstantenbestimmung durchgeführt. Die Periodenmessungen wurden mit der größten Sorgfalt aus-

*) E. Wiechert: Prinzipien für die Beurteilung der Wirksamkeit von Seismographen. Physikal. Zeitschr. 2.

geführt, um ein Urteil zu gewinnen, welche Genauigkeit bei der zeitlichen Analyse des Diagramms noch gewährleistet wird. In der Tat zeigen die mittleren Fehler, daß noch mit einer Genauigkeit von 0.001 Sekunden gemessen werden kann.

Tabelle 1 gibt die Zahlen, wie sie bei einer beliebig herausgegriffenen Konstantenbestimmung gewonnen wurden.

Tabelle 1.

Eigenperiode des gedämpften Pendels T^* in sec	Dämpfung $\epsilon : 1$	Ablenkung für 40g Belastung a in mm
0.044	3.0	23.0
0.044	3.3	21.5
0.044	3.0	21.1
0.044	3.4	21.0
0.043	2.5	21.8
0.041	3.7	20.9
0.045	2.8	20.0
—	—	20.0
Mittel: 0.0436 \pm 0.0005	3.1	21.2 \pm 0.35

Die von mir benutzte stationäre Masse beträgt unter Berücksichtigung aller Umstände etwas über 1500 kg; wegen Fehlens verschiedener Hilfseinrichtungen konnten noch nicht sämtliche Platten in den Seismographen eingehängt werden.

Bei einem Dämpfungsverhältnis von $\epsilon = 3.1$ ist $\frac{T^*}{T_0} = 1.062$, es folgt für die reduzierte Eigenperiode $T_0 = 0.0410 \pm 0.0005$ Sekunden. Weiter ergibt sich für die äquivalente Pendellänge der Wert $L = 0.0420 \pm 0.0010$ cm, für die Indikatorlänge der Wert $J = 802 \pm 13$ m und für die Indikatorvergrößerung der Wert $V = (1.91 \pm 0.06) \cdot 10^6 = 1.91 \cdot 10^6 \pm 3.1$ Proz. Bei T_0 und L ist die vierte Dezimale natürlich nur Rechnungsgröße. — In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Konstantenbestimmungen zusammengestellt.

Tabelle 2.

Dämpfung $\epsilon : 1$	Reduzierte Eigenperiode T_0 in sec	Äquivalente Pendellänge L in cm	Indikator- länge J in m	Indikator- vergrößerung $V/10^6$
3.1	0.0438 \pm 0.0005	0.0480 \pm 0.0010	829 \pm 8	1.73 \pm 0.05
3.1	0.0400 \pm 0.0006	0.0400 \pm 0.0013	803 \pm 7	2.01 \pm 0.07
3.1	0.0410 \pm 0.0005	0.0420 \pm 0.0010	802 \pm 13	1.91 \pm 0.06
3.2	0.0367 \pm 0.0006	0.0342 \pm 0.0011	810 \pm 15	2.37 \pm 0.09
2.9	0.0382 \pm 0.0007	0.0367 \pm 0.0013	821 \pm 15	2.25 \pm 0.09
2.1	0.0416 \pm 0.0006	0.0433 \pm 0.0012	776 \pm 7	1.79 \pm 0.05

Trägt man, wie in Fig. 1, Eigenperiode T_0 und Indikatorvergrößerung V in ein Koordinatensystem ein, so ergibt sich, daß mit wachsender Periode die Indikatorvergrößerung sinkt. Meines Wissens ist auf diesen Zusammenhang bisher noch nicht hingewiesen worden. Die Abhängigkeit dürfte ihren Grund in der Konstruktion der Gelenke haben, bei deren Bewegung die wirksamen Hebel sich ändern. Wenn dieser Grund richtig ist, so muß diese Erscheinung auch bei anderen Seismographen mit ähnlicher Konstruktion zu beobachten

sein. In der Tat konnte ich einen solchen Zusammenhang angedeutet finden bei Wiecherts 1200-kg-Horizontalpendel. Nach dem Konstantenbuch des Göttinger Geophysikalischen Instituts zeigt sich dieser Zusammenhang bei einer Meßreihe von sieben aufeinanderfolgenden Tagen, besonders deutlich in der E-W-Komponente, weniger deutlich in der N-S-Komponente.

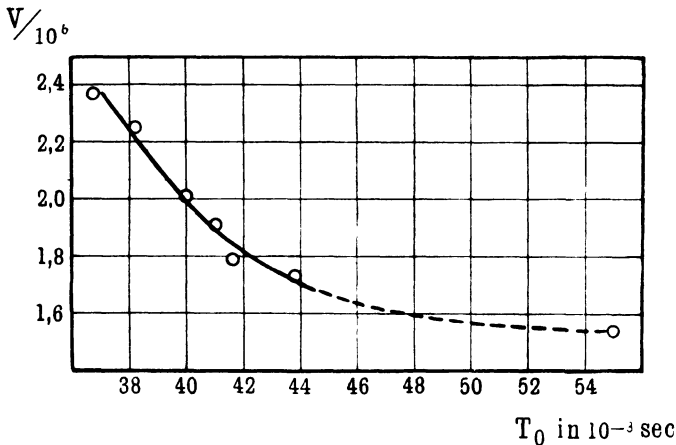


Fig. 1. Zusammenhang von Eigenperiode und Indikatorvergrößerung.

§ 4. Bodenunruhe. Eine Darstellung der Bodenunruhe bei dem neuen Seismographen ist nicht beabsichtigt, die Bodenunruhe soll nur so weit besprochen werden, als sie sich bei den Fallversuchen störend bemerkbar macht.

Die ersten Fallversuche wurden bei möglichst großer Eigenperiode, etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{8}$ Sekunde vorgenommen: „Weiche Regulierung“. Wie schon Herr Geheimrat Wiechert in seinen oben zitierten Abhandlungen ausführt, zeigt dann das Seismometer keine Bodenruhe mehr, stets ist der Lichtpunkt in mehr oder weniger starker Zitterung begriffen. Es zeigte sich, daß die Bodenunruhe in den späten Abendstunden und in tiefer Nacht sehr viel kleiner wurde, die Tagesunruhe also als Betriebsunruhe der 2 bis 4 km entfernten Stadt anzusprechen ist, doch blieb stets auch nachts noch ein Rest von Unruhe vorhanden, so daß feinere Einzelheiten bei den Fallversuchen verloren gingen. Auch die Jahreszeit scheint von Einfluß zu sein, in den Sommermonaten bis spät in den Herbst hinein ist die Bodenunruhe kleiner als sonst.

Die bei der Bodenunruhe auftretenden Perioden wechseln sehr stark. Besonders auffallend ist eine Periode von etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde, doch wurden mitunter auch Perioden von $\frac{1}{10}$ Sekunde gemessen. Diesen großen Schwingungen sind kleinere überlagert von ungefähr $\frac{1}{50}$ - bis $\frac{1}{20}$ -Sekunden-Periode. Die ersten Fallversuche, die nach einigen Vorversuchen in tiefer Nacht vorgenommen wurden, ergaben, daß durch die fallenden Gewichte fast ausschließlich ganz kleine Perioden von schätzungsweise $\frac{1}{50}$ Sekunde ausgelöst wurden. Die noch vorhandene Bodenunruhe ließ nicht erkennen, ob auch größere Perioden auftraten, jedenfalls mußte ihre Amplitude kleiner sein als die Amplitude der Bodenunruhe.

Diese Verhältnisse ergaben die Möglichkeit, die schädliche Bodenunruhe aus dem Seismometer „herauszuregulieren“. Es bedeute T_0 die reduzierte Eigenperiode, V die Indikatorvergrößerung, T die Periode der registrierten Bodenbewegung und \mathfrak{B} die wirkliche Vergrößerung, mit der diese Bodenbewegung von der Periode T aufgezeichnet wird. Beträgt die Periode der Bodenbewegung T ein Vielfaches der Eigenperiode T_0 des Seismometers, so kann angenähert gesetzt werden *):

$$\mathfrak{B} = V \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^2.$$

Bei der weichen Regulierung betrug die Eigenperiode T_0 etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde, die Periode T der besonders schädlichen Bodenunruhe ebenfalls etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde und die Amplitude dieser Bewegung etwa 5 bis 10 mm, gemessen von der Ruhelage aus, nachts etwas kleiner. Das Verhältnis $\frac{T_0}{T}$ beträgt 1, es ist also annähernd $\mathfrak{B} = V$. Wählen wir nun eine Einregulierung des Seismographen auf

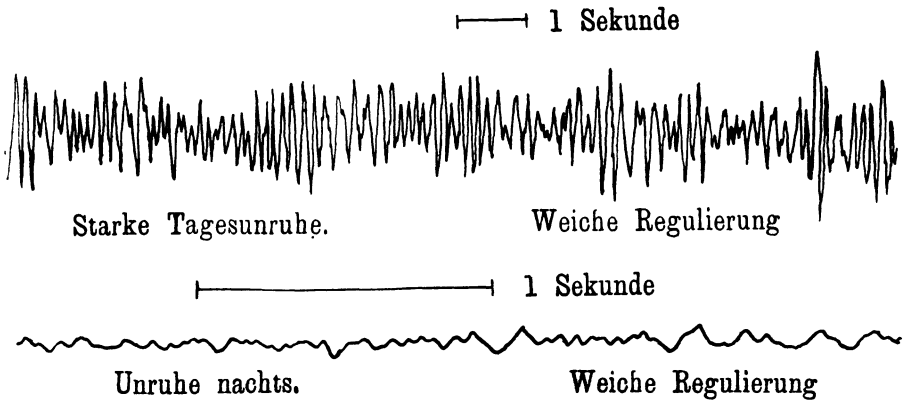


Fig. 2. Bodenunruhe. Natürliche Größe.

eine Eigenperiode T_0 von etwa $\frac{1}{25}$ Sekunde, „harte Regulierung“, so beträgt das Verhältnis $\frac{T_0}{T}$ jetzt $\frac{1}{5}$, die wirkliche Vergrößerung für die Bodenbewegung der Periode $T = \frac{1}{5}$ Sekunde sinkt auf den 25. Teil. Die Amplitude von 5 bis 10 mm wird also auch auf den 25. Teil verkleinert, also auf etwa 0.2 bis 0.4 mm.

In der Tat zeigte sich, als nach einem kleinen Umbau am Seismographen die Eigenperiode T_0 auf $\frac{1}{25}$ Sekunde gebracht werden konnte, daß die Bodenunruhe auch am Tage nicht mehr störend wirkte. Unterstützend trat hinzu, daß nun eine größere Registriergeschwindigkeit von etwa 5 bis 7 cm/sec gewählt werden konnte. Der Lichtpunkt beschrieb nun eine gerade Linie, in der nur hin und wieder kleine Schwingungen von etwa $\frac{1}{60}$ -Sekunde-Periode und einer Amplitude von höchstens $\frac{1}{4}$ mm auftraten. Durch Erschütterungen im Uhrwerk des Lichtschreibers können diese kleinen Schwingungen nicht hervorgerufen sein.

*) E. Wiechert. Theorie der automatischen Seismographen. S. 79.

Solche Lichtschreiberstörungen habe ich nur einmal beobachtet, als ich einen Lichtschreiber von normal 1.5 cm/sec Laufgeschwindigkeit auf 4 bis 5 cm/sec brachte und ihn dadurch etwas überanstrengte. Aber die dadurch hervorgerufenen Schwingungen waren sehr viel kleinerer Periode, sie machten sich nur in einer Verbreiterung des Lichtpunktes bemerkbar und konnten nur mit einer scharfen Lupe aufgelöst werden. Bei den Hauptversuchen stand ein guter Lichtschreiber von normal 5 bis 7 cm/sec Laufgeschwindigkeit zur Verfügung.

§ 5. Drei Sprengversuche und Bestimmung der Laufgeschwindigkeit der Wellen. Zu den kleinen Sprengversuchen wurden Feuerwerkskörper, sogenannte Kanonenschläge benutzt; es sind dies würfelförmige Pappkartons von etwa 10 cm Kantenlänge, allseitig mit kräftigem Bindfaden umwickelt und dann geleimt. Die Füllung besteht nach den Angaben des Herstellers aus 110 g Schwarzpulver. Für die Sprengversuche wurde elektrische Zündung gewählt, die vom Erdbebenhause aus unter Beobachtung geeigneter Vorsichtsmaßnahmen bedient werden konnte. Als Sprengstelle wurde der auch bei den Fallversuchen benutzte, mit Sand gefüllte Trichter in 125 m Entfernung vom Seismometer gewählt. Beim ersten Sprengversuch wurde der Kanonenschlag etwa 0.70 m tief in den Kies eingegraben, beim zweiten Versuch auf die Oberfläche der Kiesfüllung aufgelegt, und schließlich beim dritten Versuch fand die Sprengung 2 m über dem Erdboden in der Luft statt. Zwei Herren, die als Praktikanten im Institut arbeiten, beobachteten den Verlauf der Sprengungen. Danach wurde bei der Sprengung des 0.70 m tief eingegrabenen Kanonenschlages eine Sandwolke etwa 5 m hoch geschleudert. Dann fielen die Sandkörnchen gleich einem Sandregen wieder herab, die Hauptmassen wieder in den Trichter hinein, nur wenig Sand fiel weiter als 2 m von der Sprengstelle entfernt nieder. Zusammengeballte Sandmassen, die bei ihrem Auftreffen auf den Erdboden ein zweites „Erdbeben“ hätten verursachen können, wurden nicht beobachtet. Der ausgeworfene Trichter hatte einen Durchmesser von etwa 60 cm und eine Tiefe von ebenfalls 60 cm. Die Schallwirkung war sehr schwach, der Ton des Knalles ganz dumpf. Im Erdbebenhause waren von den vier Türen, die man passieren muß, um in den Instrumentenraum zu gelangen, die drei inneren geöffnet, nur die äußere war zum Schutz gegen Tageslicht und Luftzug geschlossen. Der Schall dieser Sprengung war im Erdbebenhause aber nicht zu hören. Beim zweiten Versuch, bei dem der Kanonenschlag auf dem Erdboden aufliegend zur Explosion kam, ergab sich kein Aufspritzen des Sandes; der Knall war heller. Im Erdbebenhause beobachtete ich scharf den Lichtpunkt, der die Registrierung bewirkt. Es erfolgte zunächst einer kleiner Ausschlag, entsprechend der Ankunft der seismischen Wellen. Kurz darauf wurde ein zweiter größerer Ausschlag bemerkt und genau gleichzeitig der Knall der Explosion im Erdbebenhause gehört, etwas dumpf. Infolgedessen kann bei dem Bebenbild der zweite größere Ausschlag mit der Ankunft der Schallwellen am Erdbebenhause gleichgesetzt werden. Die Bestimmung der Laufgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen geschieht nun folgendermaßen:

An dem Tage, an dem die Versuche vorgenommen wurden, herrschte vollkommene Windstille, so daß der Wind auf die Schallgeschwindigkeit keinen

Einfluß ausüben konnte. Die Lufttemperatur betrug 10°C . Für die Schallgeschwindigkeit ergibt sich daraus der Wert 338 m/sec . Den 125 m langen Weg von der Sprengstelle bis zum Erdbebenhause legen die Schallwellen also zurück in 0.370 Sekunden. Die Differenz der beiden Einsätze des Seismogramms, von denen der erste der Ankunft der longitudinalen seismischen Wellen und der zweite der Ankunft der Schallwellen entspricht, beträgt 0.296 Sekunden, und für die Laufzeit der longitudinalen Wellen erhält man $0.370 - 0.296 = 0.074$ Sekunden. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen in den obersten Muschelkalkschichten des Göttinger Hainberges berechnet sich demnach zu 1690 m/sec .

Beim dritten Sprengversuch, bei dem der Kanonenschlag 2 m über dem Erdboden zur Explosion gebracht wurde, haben wir ein ähnliches Ergebnis. Der

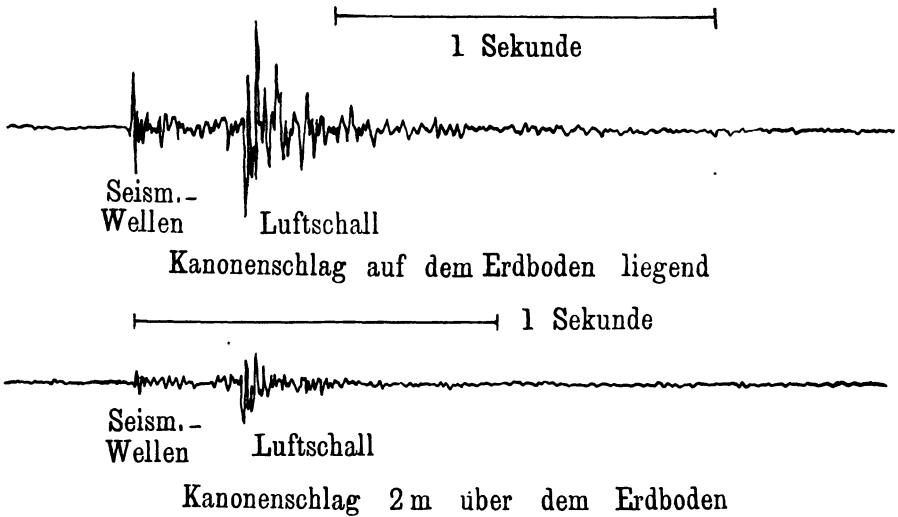


Fig. 3. Sprengungen (Kanonenschläge), 125 m vom Millionenseismometer entfernt. — Harte Regulierung. Natürliche Größe.

erste Einsatz, hervorgerufen durch die Ankunft der longitudinalen seismischen Wellen, ist diesmal entsprechend kleiner, der zweite Einsatz entspricht wieder der Ankunft der Schallwellen. Die Differenz der beiden Einsätze ist 0.289 Sekunden. Diese Differenz muß kleiner sein als beim vorigen Versuch, da der Schall erst 2 m von dem Kanonenschlag zur Erde in Luft zurücklegen mußte, bevor die seismischen Wellen erzeugt wurden. Es handelt sich bei dem ersten Einsatz um Luft-Erd-Wechselwellen. Diese eben erwähnten 2 m durchläuft der Schall in 0.006 Sekunden. Die Laufzeit der longitudinalen seismischen Wellen für die 125 m lange Strecke beträgt demnach $0.370 - (0.289 + 0.006) = 0.075$ Sekunden, und die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergibt 1670 m/sec . Die Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden letzten Versuche ist sehr gut, die Differenz der Laufzeit von 0.001 Sekunden liegt durchaus innerhalb der Genauigkeit, mit der das Seismogramm ausgemessen werden kann. Weitere

Laufzeitmessungen wurden bei den Fallversuchen nicht vorgenommen, es fehlten die Vorrichtungen, die es gestatteten, den Augenblick des Aufprallens des Fallgewichts mit der erforderlichen Genauigkeit auf das Registrierpapier zu übertragen.

Ein Vergleich der drei Sprengversuche untereinander und mit den Fallversuchen gibt Aufschluß über die Wirkung der Sprengung in Abhängigkeit von der Lage des Sprengstoffes. Das Bebenbild der Sprengversuche mit oberirdischer Lagerung, einmal 2 m über dem Erdboden, das andere Mal auf dem Erdboden aufliegend, ist nach der Größe der Amplituden vergleichbar mit Fallversuchen von 10 kg in etwa $\frac{1}{2}$ m bzw. 1 bis 2 m Fallhöhe. Ganz anders beim dritten Versuch, bei welchem der Kanonenschlag 0.70 m tief eingegraben war. In der ersten Sekunde gehen die Ausschläge nach beiden Seiten über das photographische Papier hinaus, ähnlich wie bei den größeren Fallversuchen, in der zweiten und dritten Sekunde sind die Amplituden annähernd doppelt so groß wie bei dem größten Fallversuch: 117 kg Fallgewicht und 11 m Fallhöhe. Bei derselben Pulvermenge wird beim Eingraben unter sonst gleichen Umständen die Einwirkung auf den Seismographen schätzungsweise 50- bis 100 mal größer sein als bei oberflächlicher Lage des Sprengstoffes. Dieses Ergebnis erläutert den Mißerfolg der seismischen Beobachtung bei größeren, meteorologischen Zwecken angepaßten Sprengungen in Holland im Herbst 1922, Jüterbog am 3. Mai 1923 und Zentralfrankreich Mai 1924. Bei diesen Sprengungen wurden 1000 bis 10 000 kg oberflächlich gelagerten Sprengstoffes zur Explosion gebracht. Infolge der oberflächlichen Lage wurde nur sehr wenig Energie in Gestalt seismischer Wellen fortgeleitet, so daß in Göttingen seismische Wellen nicht mit Sicherheit zu beobachten waren.

O. Hecker*) hat 1897 und 1898 größere Sprengungen von 1500 kg brisanten Sprengstoffes, oberirdisch gelagert, mit Seismographen geringer Empfindlichkeit, etwa vier- bis siebenfacher Vergrößerung, registriert. Diese Registrierungen beziehen sich nur auf die langsam sich fortpflanzenden Oberflächenwellen. Der longitudinale erste Einsatz ist nur in einem Falle durch Beobachtung eines Quecksilberhorizontes festgestellt und eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 1430 m sec gefunden worden. Der Untergrund bestand aus Sandboden, der mit Grundwasser durchsetzt war.

Über petrographisch-geophysikalische Grenzfragen.

Von **R. Brinkmann** in Göttingen.

Die Ergebnisse der neueren petrographisch-geologischen Forschungen, vor allem über Eruptionsfolgen und Differentiationen lassen den Schluß zu, daß in gewisser Tiefe eine zusammenhängende Magmazone von mittlerer Zusammensetzung existiert, deren Spaltung durch tektonische Vorgänge veranlaßt und geleitet wird.

Der beträchtliche Umfang, den das geologische Tatsachenmaterial im Laufe der Zeit erreicht hat, veranlaßte letztlich mehrfach zu einer Behandlung allgemein-

*) O. Hecker: Ergebnisse der Messung von Bodenbewegung bei einer Sprengung. Beiträge z. Geophysik, Bd. IV u. VI, 1900 u. 1904.