

Werk

Jahr: 1935

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:11

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0011

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0011

LOG Id: LOG_0056

LOG Titel: Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts 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

Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen

XVIII. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bodenbewegung bei Sprengungen von der Ladung

Von **F. Rixmann**, Göttingen. — (Mit 9 Abbildungen)

Auf dem Muschelkalk des Hainberges bei Göttingen wurden zur Untersuchung der Abhängigkeit der Perioden von der Sprengmenge bei festem Spreng- und Beobachtungsort (Entfernung 105 m) die Ladungen von 150 g auf 3000 g Donarit I bzw. Schwarzpulver gesteigert. Eine systematische Änderung der Perioden der einzelnen Wellen tritt nicht ein. Die Energie nimmt bei gut durchfeuchtetem Sprengort proportional der Ladung zu. Bei trockenem Sprengort sind die Amplituden wesentlich kleiner; bei kleinen Ladungen um mehr als 50%. Die aus den Amplituden der drei Komponenten berechneten Azimut- und Emergenzwinkel zeigen keine Abhängigkeit von der Ladung.

Vorversuche

1. *Messungen mit hoher Registriergeschwindigkeit.* Zu Beginn der Untersuchungen der Bodenbewegung bei Sprengungen ergab sich die Aufgabe, für die optische Aufzeichnung der Bewegung eine genügend große Filmgeschwindigkeit zu beschaffen. Die maximale Geschwindigkeit bei den bereits vorhandenen Lichtschreibern betrug 10 cm/sec. Es war aber eine von 30 bis 50 cm/sec erforderlich,

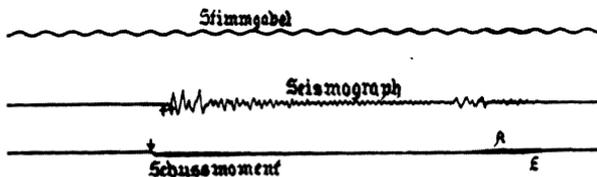


Fig. 1. Bodenerschütterung durch Fall eines Gewichtes in 6 m Entfernung auf rotierender Trommel aufgezeichnet. Stimmgabelschwingung = $\frac{1}{50}$ sec

um in den Seismogrammen die kurzen Perioden der Bodenbewegung mit der für die vorliegenden Untersuchungen notwendigen Genauigkeit ausmessen zu können.

Die Lauftrommel eines vorhandenen Lichtschreibers, die nach Ausschalten allen hindernden Räderwerkes mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 26 cm/sec rotierte, wurde mit Film bespannt. Es lief dann das aufgespannte Stück Film von 19 cm Länge vor der Messung beliebig oft an der Linse vorbei, wurde jedoch

erst im Moment der Erschütterung durch Schließen des Glühlampenstromkreises etwa $\frac{3}{4}$ sec lang belichtet.

Diese Methode der Aufzeichnung hat sich gut bewährt bei Aufnahme von Laufzeiten elastischer Wellen im Beton und Untergrund. Es mußte dazu in geringen Entfernungen von Meter zu Meter gemessen werden. Eine 7 kg schwere Eisenkugel wurde in 30 cm Höhe über dem Boden von einem Faden getragen, der bei gleichzeitiger Einschaltung der Beleuchtung durchtrennt wurde. Beim Aufschlag auf dem Zementboden schloß die Kugel durch einen Kontakt den Relaisstromkreis. Die Bewegung des Bodens wurde von einem Vertikalseismographen mit 15000facher Vergrößerung angezeigt. (Fig. 1.)

Bei *A — E* überdecken sich Anfang und Ende der Belichtung. Die Registrierung der Stimmgabelschwingung (50/sec) zeigt die Konstanz der Papiergeschwindigkeit. Fig. 1 und 2 sollen die Leistungsfähigkeit dieser Einrichtung zeigen.

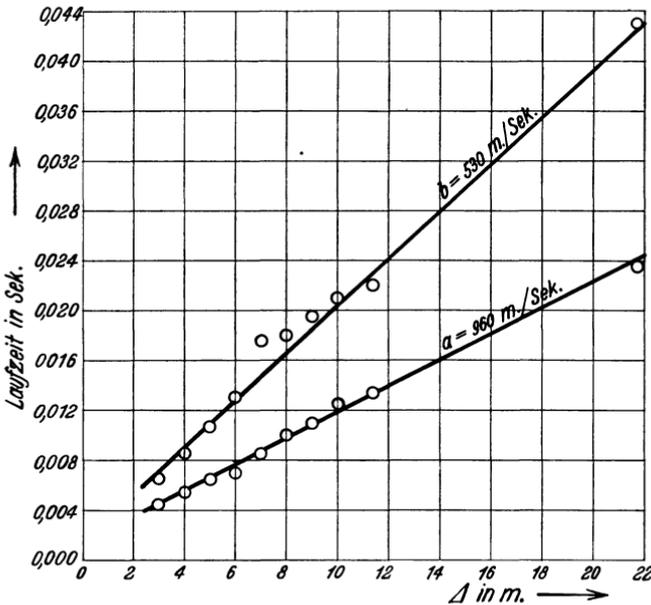


Fig. 2. Laufzeitkurve im Beton und Untergrund

2. *Über Relaisverzögerungen.* Zur vollen Ausnutzung der hohen Registriergeschwindigkeiten müssen die Relaisverzögerungen entsprechend gering sein. Ein Lautsprecherrelais war bei der Aufnahme der Laufzeitkurve im Neuen Erdbebenhaus auf Stromschluß beansprucht worden und wurde daher auch auf Stromschluß geprüft. Ein Bleigewicht von 300 g fiel in 20 cm Entfernung von der Masse eines kleinen Wiechertschen Vertikalseismographen auf ein am Boden liegendes Stannioblättchen und schloß dadurch den Relaisstromkreis. Den Moment des Aufschlags registrierte der Seismograph. Die Laufzeit der Er-

schütterungswelle betrug nach der im Erdbebenhaus gewonnenen und nach $\Delta = 20$ cm extrapolierten Laufzeitkurve weniger als 0.0004 sec. Bewegungen von Seismograph, Relais und Stimmgabel wurden optisch bei einer Registriergeschwindigkeit von 26 cm/sec aufgezeichnet.

Je vier Aufnahmen von zwei verschiedenen Relais zeigten Verzögerungen von höchstens 0.1 mm = 0.0004 sec. Weitere Prüfungen wurden nach anderen Methoden vorgenommen. Sie führten zu gleichen Werten. Die Ablesegenauigkeit betrug ± 0.1 mm.

Untersuchungen über die Bodenbewegung bei Sprengungen

1. *Einführung.* Die Beobachtungen an Erdbeben haben gezeigt, daß die durchschnittliche Länge einer Periode der Bodenbewegung besonders in der Hauptphase und den Nachläufern eines Bebens eine wesentliche Zunahme mit wachsender Entfernung vom Epizentrum her aufweist. Als physikalischen Grund dieser Erscheinung sieht man die Wellenausbreitung in visko-elastischen Medien an¹⁾. Bei ebenen Wellen soll eine Vergrößerung der Wellenlänge L mit wachsender Laufzeit t vom Betrage $L_t = \sqrt{L_0^2 + \alpha t}$ eintreten. Gutenberg versucht an Hand von Bebenmaterial in roher Abschätzung die Brauchbarkeit dieser Formel nachzuweisen. Er glaubt damit die Zunahme der Perioden im wesentlichen auf einen in der obigen Formel durch α dargestellten Einfluß der Viskosität zurückführen zu können. O. Meisser²⁾, Brockamp³⁾, Müller⁴⁾ u. a. zeigen an Beobachtungen bei Sprengungen ebenfalls ein Anwachsen der Periode mit zunehmender Schußentfernung, das nach den experimentellen Daten in gleicher Weise einem parabolischen Gesetz zu folgen scheint.

Für eine Untersuchung der Änderung von Perioden ist es Voraussetzung, daß sich jede einzelne Welle von Station zu Station verfolgen läßt. Dies ist nun bei Erdbeben meistens nicht möglich — denn die Stationen sind zu weit voneinander entfernt —, wohl aber bei Sprengungen mit genügend kleinem Abstand der Beobachtungsstellen.

Bei Sprengungen werden aber mit zunehmender Beobachtungsentfernung auch größere Ladungen verwendet. Dann ist außer einer Beeinflussung der Perioden durch das durchlaufene Medium noch eine Einwirkung der wechselnden Sprengenergie in Betracht zu ziehen. Dies ist um so notwendiger, als Tams⁵⁾, Roesener⁶⁾ u. a. an Aufzeichnungen von Beben gleicher Herddistanz gezeigt haben, daß bei größerer Bebenstärke auch eine größere mittlere Periode festzustellen ist. Man muß wohl annehmen, daß bei Erdbeben und Sprengungen bestimmte oberflächennahe Schichten in Eigenschwingung geraten, und daß die dabei auftretende Frequenz von der Dicke der bewegten Schicht abhängt. Bei größerer Bebenenergie wird die Bewegung tiefer hinabreichen, also dickere Schichten erfassen, als bei geringerer. Dadurch sollten die Frequenzen abnehmen. Es wurde daher durch eine Reihe von Sprengungen verschiedener Ladung der Einfluß der Herdenergie auf die Periodenbildung untersucht.

2. *Abhängigkeit der Periode von der Ladung.* Zur Auslösung der Herdenergie wurden in den Untersuchungen Donarit I und Schwarzpulver verwandt, um außer dem Einfluß der Sprengmenge auch noch die Einwirkung der unterschiedlichen Brisanz feststellen zu können. Sämtliche Schüsse wurden zur möglichst gleichmäßigen Verdämmung in einem etwa 1.50 m hoch mit Sand angefüllten Sprengtrichter immer 70 cm tief vergraben. Beobachtet wurde in konstanter Entfernung von 105 m im Neuen Erdbebenhaus mit zwei völlig gleich gebauten Horizontalseismographen nach Angenheister und einem von Wiechert konstruierten Vertikalapparat. Die Instrumente besaßen zur Zeit der Messung folgende Konstanten:

Tabelle 1

Schuß-Nr.	Apparat	V	T_0	Dämpfung
1—5	H_1	16000	0.2	5 : 1
6—9				∞ : 1
10—11				6 : 1
1—5	H_2	16000	0.2	7 : 1
6—11				8 : 1
1—5	Z_4	13000	0.1	∞ : 1
6—11				12 : 1

Registriert wurde optisch bei einer Filmgeschwindigkeit von 32.5 cm/sec. Zunächst wurden beide Horizontalapparate parallel zueinander und in Richtung zum Schuß aufgestellt, um die Identität ihrer Aufzeichnungen zu prüfen. Es erwies sich bei Sprengungen mit 3000, 1500 und 300 g Donarit und 1500 g Schwarzpulver, daß sie eine völlig gleichartige Bewegung ausführten, wie im Film der Fig. 3 (3000 g Donarit) deutlich zu erkennen ist.

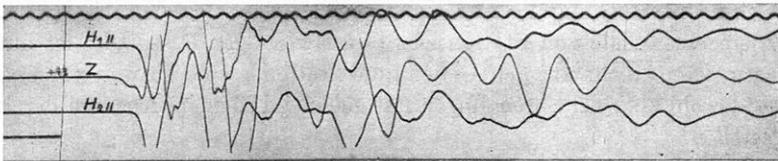


Fig. 3. Seismogramm einer Sprengung mit 3000 g Donarit Ladung in 105 m Entfernung (Stimmgabel: 50 Schwingungen pro Sekunde)

Bei den späteren Versuchen wurde ein Horizontalapparat (H_2) zur Messung der Querkomponente um 90° gedreht, so daß jetzt mit einer vollständigen 3-Komponentenstation beobachtet wurde. Die Ladungen betragen in dieser Meßreihe 150, 300 und 800 g Donarit und außerdem 800 und 3000 g Schwarzpulver.

Beim Vergleich der Schüsse zeigte sich nun, daß der Verlauf des Seismogramms trotz eines zehnfachen Ladungsunterschiedes von 3000 bis 300 g nahezu unverändert blieb. Es machen sich wohl kleine kurzperiodische Überlagerungen bemerkbar, die jedoch das Bild der Hauptschwingung nicht ändern. Selbst bei

150 g Donarit ist noch im Anfang des Seismogramms das gleiche Schwingungsbild wie bei größeren Ladungen wiederzufinden.

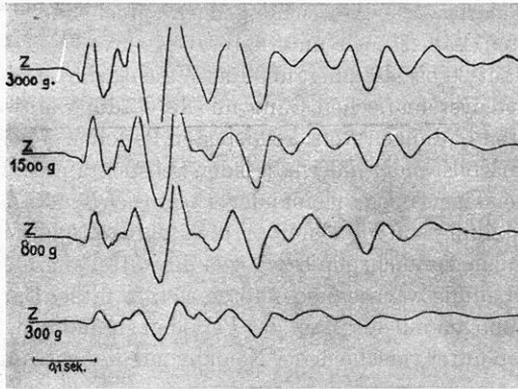


Fig. 4. Z-Komponenten der Sprengungen mit 3000, 1500, 800 und 300 g Donarit

Zur exakten Untersuchung dieses Ergebnisses wurden die Perioden aller Seismogramme auf 0.001 sec genau ausgemessen. Die Periodenlänge in Sekunden (Ordinate) wurde dann als Funktion der Zeit (Abszisse) dargestellt und zwar für jede Ladung eine besondere Kurve gezeichnet. Als Abszissenwert wurde die Ankunftszeit des oberen Umkehrpunktes jeder betrachteten Welle gewählt. Da

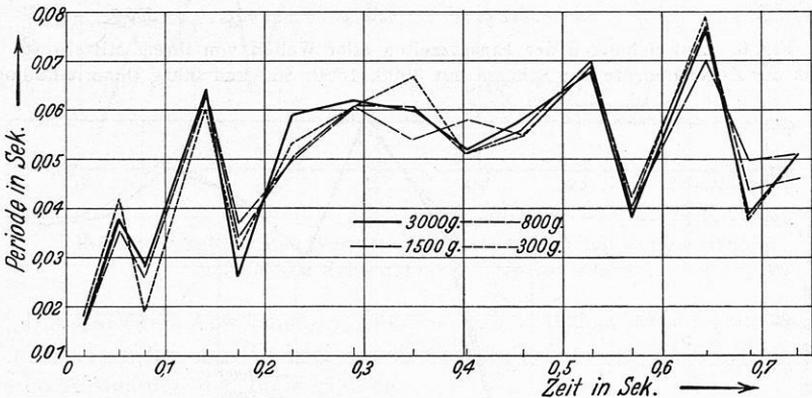


Fig. 5. Perioden von Schüssen mit 3000, 1500, 800 und 300 g Donarit Ladung als Funktion der Laufzeit (Z-Komponente)

diese Abszissen aber für entsprechende Umkehrpunkte bei den verschiedenen Sprengladungen nicht genau gleich sind, wurden sie zu einer mittleren Umkehrzeit der betreffenden Welle vereinigt, bei der dann die verschiedenen Periodenlängen

als Ordinaten eingezeichnet sind. Diese Abszisse entspricht dann bis auf eine additive Konstante der mittleren Laufzeit der betreffenden Welle.

Fig. 5 zeigt das Ergebnis für die Z-Komponente der Schüsse mit 3000, 1500, 800 und 300 g Donarit. Die Abweichungen entsprechender Perioden liegen in den weitaus meisten Fällen noch unterhalb 10% ihres Wertes und steigen nur in wenigen Fällen auf 20 bis 30% herauf. Das Wesentliche ist, daß diese extremen Unterschiede keinen systematischen Gang mit der Ladung aufweisen, derart, daß etwa zu den kleinsten Ladungen stets die kleinsten Perioden gehörten. Sie kompensieren sich vielmehr vollständig innerhalb jeden Seismogramms, wie schon aus dem Verlauf der einzelnen Kurvenzüge zueinander erkenntlich ist. Es geht dies noch deutlicher aus der Darstellung von Fig. 6 hervor, die die *Abweichungen* der Einsatzzeiten eines jeden Schwingungsumkehrpunktes gegen ihr Mittel angibt. Würde die Periodenlänge mit der Ladung wachsen, so müßten sich in dieser Darstellung die systematischen Abweichungen mit der Zahl der Perioden summieren, und die einzelnen Kurvenzüge würden unter verschiedener Neigung zur X-Achse auseinanderstreben.

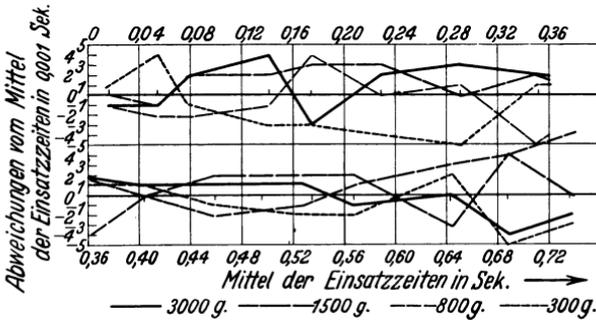


Fig. 6. Abweichungen der Einsatzzeiten aller Wellen von ihrem Mittelwert (aus der Z-Komponente der Schüsse mit 3000, 1500, 800 und 300 g Donarit Ladung)

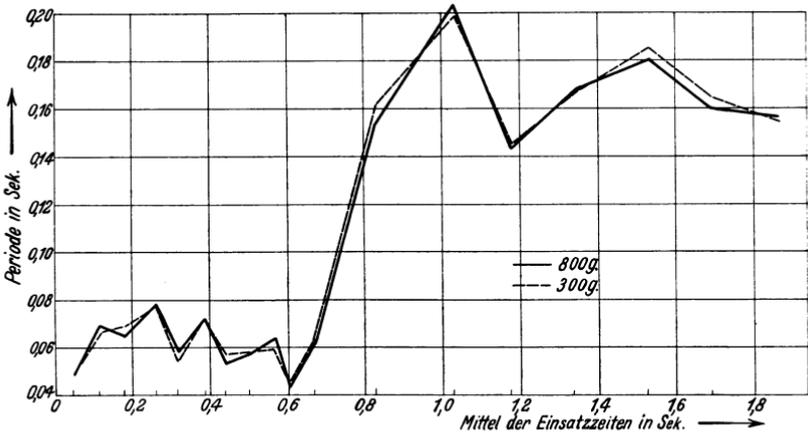


Fig. 7. Perioden der Querkomponente der Schüsse mit 300 und 800 g Donarit Ladung

Tatsächlich aber streben sie nicht auseinander, sondern schwanken um diesen Mittelwert und weichen nur in wenigen Punkten um 0.01 sec von ihm ab. *Eine generelle Abhängigkeit der Bodenperiode von der Ladung ist also nicht vorhanden.*

Diese Tatsache ist auch aus den Aufzeichnungen der *H*-Komponenten festzustellen. In ihnen wird jedoch nach dem Abklingen der Schwingungen kürzerer Periode noch eine auffallend langwellige Schwingung sichtbar, die vorher schon den kurzperiodischen Schwingungen überlagert ist. Sie tritt am deutlichsten in der Querkomponente auf und wurde aus 7 Perioden zu 0.17 ± 0.03 sec gemessen.

Die Übereinstimmung in den Schüssen mit 300 und 800 g Donarit liegt auch bei den langen Perioden von 0.17 sec innerhalb weniger Prozente. Es handelt sich bei dieser Periode vielleicht um die durch den Schuß angeregte Eigenperiode einer Bodenschicht, deren Dicke sich nach der Formel

$$T \cdot v = 2 d$$

für $v = 1000$ m/sec zu 85 m berechnen würde.

Durch die Verwendung der beiden sehr ungleichartigen Sprengstoffe konnte auch die Einwirkung der Brisanz auf die Bodenfrequenz gemessen werden. In Fig. 8 sind die Perioden je eines Schusses mit 3000 g Donarit und 3000 g Schwarzpulver verglichen.

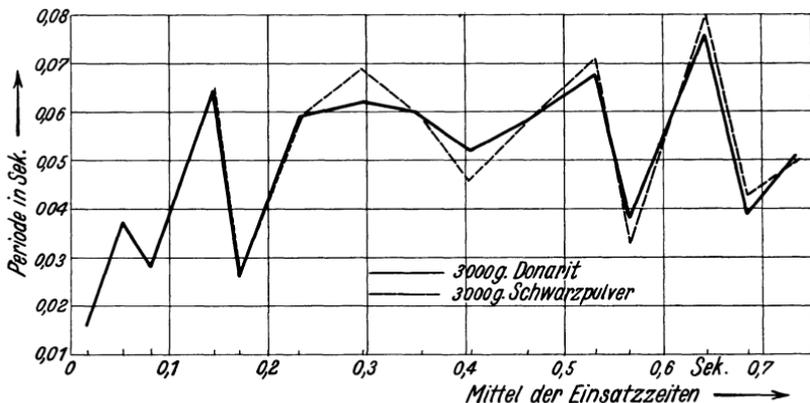


Fig. 8. Vergleich der Perioden von Sprengungen mit 3000 g Donarit und 3000 g Schwarzpulver. (Z-Komponente)

Die stärksten Abweichungen entsprechender Wellen übersteigen auch hier kaum 10%. Selbst der Wechsel eines Sprengstoffes hat also noch keinen Einfluß auf die Ausbildung der Bodenperiode.

3. *Abhängigkeit der Amplituden von der Ladung.* Bei den eben besprochenen Sprengungen erfolgte die Verdämmung der Ladung stets in der gleichen Weise. Die Entfernung vom Sprengort zur Beobachtungsstation wurde nicht geändert. Um den Zusammenhang zwischen der vom Boden aufgenommenen elastischen Energie und der jeweils benutzten Ladungsmenge zu untersuchen, wurde als Maß

der vom Boden geführten Schwingungsenergie die erste und zweite Amplitude der Bodenbewegung benutzt.

In Fig. 9 sind für die H_{11} -Komponente diese Werte eingetragen. Die mit \circ bezeichneten Punkte entstammen Sprengungen vom 13. und 14. März, die mit \bullet bezeichneten dagegen Sprengungen vom 22. und 23. Juni 1934. Durch die Meßpunkte sind Näherungskurven gezogen, und zwar für jede Schußserie getrennt. Die einander entsprechenden Kurven unterscheiden sich dabei um ungefähr konstante Ordinatenbeträge, sie sind gegeneinander um diesen Wert verschoben. Die Kurven je einer Schußserie lassen sich nun zwanglos so verlängern, daß sie sich auf der Abszisse schneiden, und zwar die eine Serie ziemlich genau im Nullpunkt des Koordinatensystems, was auch der Erwartung entspricht.

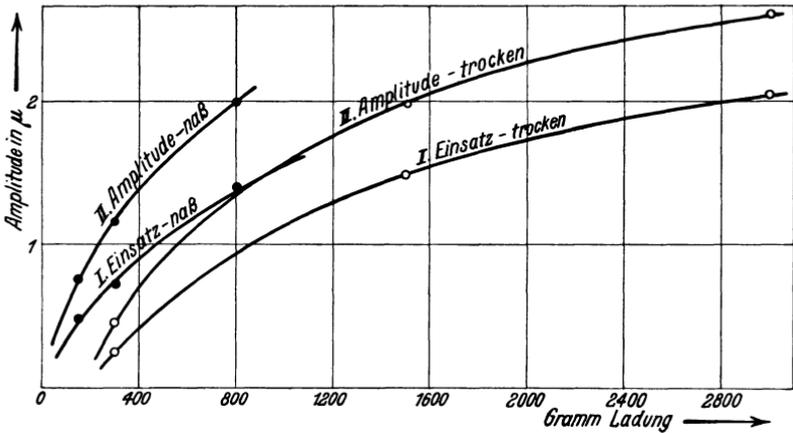


Fig. 9. Erste und zweite Amplitude der Bodenbewegung in der H_{11} -Komponente

$\circ \circ \circ$ Sprengungen im März, Sand im Sprengtrichter verhältnismäßig trocken
 $\bullet \bullet \bullet$ " " Juni, " " " " " sehr naß

Die Ursache für das abweichende Verhalten der Kurven ist wahrscheinlich im Sprengherd zu suchen und liegt in der verschiedenen Durchfeuchtung des Trichtersandes, der den Schuß einbettete. Die Sprengungen im Juni (\bullet Meßpunkte) erfolgten nämlich auf eine Niederschlagsmenge von 26 mm der zwei Vortage, wobei die Ladungen nahezu im Wasser lagen. In diesem Falle konnte sich die Schußenergie unmittelbar in einem elastischen Medium fortpflanzen, es traten keine Verluste auf; die Kurve mündet nahe dem Nullpunkt des Diagramms. Bei den Sprengungen im März (\circ Meßpunkte) war der Trichter sehr viel trockener, denn die Niederschlagsmenge der beiden Vortage betrug nur 3 mm. Hier endet die Kurve nicht mehr im Nullpunkt. Ein Teil der Energie der Explosion wird zur plastischen Verformung bzw. zur Vernichtung des Porenvolumens der umgebenden Sandmenge verbraucht. In trockenem Sand ist bei Ladungen über 300 g die erste Amplitude durchweg um 0.5μ , die zweite um 0.7μ kleiner. Diese Beträge entsprechen der ersten und zweiten Amplitude bei Explosion von 150 g Donarit in

nassem Sand. Jene 150 g Donarit komprimieren den trockenen Sand so weit, daß er nun gegen weitere Kompression denselben Widerstand leistet wie in nassem Zustande.

Tabelle 2 zeigt die Unterschiede zwischen der Wirkung einer bestimmten Ladung in trockenem und nassem Sand in anderer Darstellung. Den Näherungskurven in Fig. 9 sind die Amplitudenwerte für bestimmte Ladungen entnommen.

Tabelle 2

Ladung in g	Amplitude in μ				Amplitudenverhältnis			
	trocken		naß		trocken		naß	
	A_1	A_2	A_1	A_2	$A_{1(L)}$	$A_{2(L)}$	$A_{1(L)}$	$A_{2(L)}$
150	0.0	0.0	0.48	0.75				
300	0.24	0.44	0.71	1.15	0.0	0.0	0.68	0.65
300	0.24	0.44	0.71	1.15				
600	0.70	1.07	1.15	1.71	0.34	0.41	0.62	0.67
400	0.43	0.70	0.90	1.39				
800	0.93	1.35	1.40	2.00	0.46	0.52	0.64	0.70
600	0.70	1.07						
1200	1.29	1.76			0.54	0.61		
1000	1.13	1.58						
2000	1.73	2.27			0.65	0.70		
1500	1.48	1.98						
3000	2.03	2.60			0.73	0.76		

Ladung in g	$\frac{A_1}{A_2}$		Ladung in g	$\frac{A_1}{A_2}$	
	trocken	naß		trocken	naß
150	0.0	0.64	1000	0.72	—
300	0.55	0.62	1200	0.73	—
400	0.62	0.65	1500	0.75	—
600	0.65	0.65	2000	0.76	—
800	0.69	0.70	3000	0.78	—

Aus ihnen ist das Verhältnis der ersten bzw. zweiten Amplitude bei einer bestimmten Ladung zu der entsprechenden Amplitude bei der doppelten Ladung ($A_{1(L)} : A_{1(2L)}$) bzw. $A_{2(L)} : A_{2(2L)}$ und das Verhältnis der ersten und zweiten Amplitude bei ein und derselben Ladung abgeleitet.

Das Verhältnis $A_L : A_{2L}$ wächst bei trockenem Sand rasch mit der Ladung. Bei den größten benutzten Ladungen (1500 und 3000 g) beträgt es 0.73 bzw. 0.76, während 0.71 zu erwarten ist, wenn die Amplitude proportional der Wurzel aus der Ladung (oder die Energie direkt proportional der Ladung) anwächst. Für nassen Sand ist das Verhältnis $A_L : A_{2L}$ schon bei den kleinsten benutzten Ladungen (150 und 300 g) nahezu 0,71, nämlich 0.70 maximal, 0.66 im Mittel. Das Verhältnis der ersten und zweiten Amplitude bei demselben Sprengschuß erweist sich als weniger abhängig davon, ob der die Ladung einbettende Sand trocken

oder naß ist. Einen anderen Einfluß der Durchfeuchtung von Sandböden auf die Ausbreitung der Energie bei Sprengungen hat Reich ⁷⁾ bei Sperenberg untersucht. Er stellte fest, daß die Longitudinalgeschwindigkeit in Sandböden mit wachsender Durchfeuchtung sich der Geschwindigkeit im Wasser nähert.

Es schien von Interesse, die Abhängigkeit der Amplitude von der Sprengmenge auch über den ersten Einsatz hinaus für den weiteren Verlauf der Bewegung zu verfolgen. Hierfür wurden die Amplituden eines besonders geeigneten Stückes der Seismogramme bei drei Sprengungen desselben Tages verglichen. Die Zunahme der einzelnen Amplituden mit der Ladung erfolgte jedoch so unregelmäßig, daß sich daraus ein bestimmtes Ergebnis nicht gewinnen ließ.

4. *Azimat- und Emergenzwinkel.* Die Auswertung der Registrierungen mit drei Komponenten in 105 m Entfernung ergab, daß die erste Bewegung in der Vertikalebene durch Spreng- und Beobachtungsort erfolgte. Die beobachteten Azimutabweichungen von maximal 5° lagen innerhalb der Fehlergrenze für die Orientierung der Horizontalseismographen. Bei der Berechnung des Emergenzwinkels zeigte sich die Schwierigkeit, daß die erste Bewegung des Z-Seismographen aus der Ruhelage in zwei Stufen erfolgt ist (s. Fig. 3). Infolgedessen könnte man über die Zuordnung der Ausschläge in H und Z im Zweifel sein. Der folgenden Berechnung sind zeitgleiche Punkte in der Registrierung zugrunde gelegt, nämlich die ersten Umkehrpunkte in H und die zweite Stufe des ersten Ausschlages in Z. Tabelle 3 zeigt, daß der Emergenzwinkel von der Ladung unabhängig ist.

Tabelle 3

Ladung in g	Scheinbarer Emergenzwinkel	Ladung in g	Scheinbarer Emergenzwinkel
	$\bar{e} = \frac{Z}{H}$		$\bar{e} = \frac{Z}{H}$
150	7°	800	13°
300	14°	1500	16°
300	9°	3000	15°

Die Messungen ergaben etwas andere Werte als frühere Messungen von H. K. Müller ⁸⁾ an der gleichen Stelle. Müller beobachtete Azimutabweichungen von 17° bis 27°, scheinbare Emergenzwinkel von 21° bis 24°. Auf einem benachbarten Profil, wo Sprengort und Beobachtungsort unmittelbar an der Erdoberfläche lagen und nicht, wie hier, in 2 bis 3 m Tiefe, erhielt Müller sogar einen Emergenzwinkel von 65° bei einer Herdentfernung von 100 m. Der große Wert des Emergenzwinkels ist durch die geringe Wellengeschwindigkeit in den obersten Metern bedingt. Diese kommt auch in dem größeren Wert für die Laufzeit (0.078 sec/105 m) gegenüber dem von mir gemessenen Wert (0.065 sec/105 m) zum Ausdruck. Es zeigt sich hier also sowohl im Emergenzwinkel wie in der Laufzeit der Einfluß der oberen wenige Meter betragenden Verwitterungsschicht.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. Angenheister angestellt. Ihm und Herrn Dr. R. Köhler bin ich für vielseitige Anregungen zu großem Dank verpflichtet.

Literatur

- 1) B. Gutenberg: Handb. d. Geophysik 4, 21f.
- 2) O. Meisser: Beiträge zu einer experimentellen Seismik, S. 71. Jena 1929.
- 3) B. Brockamp: Deutsche Grönlandexpedition Alfred Wegener 2, 117, Leipzig 1933.
- 4) H. K. Müller: Messungen auf dem Rhonegletscher. Zeitschr. f. Geophys. 8, 65 (1932).
- 5) E. Tams: Vergleichende Untersuchungen der Vorläufer- und Nachläuferperioden in den Hamburger Diagrammen von drei Beben der Nordenskiöld-See. Gerl. Beitr. z. Geophys. 17, 434.
- 6) F. Roesener: Vergleichende Untersuchungen über die Perioden der Erdbebenwellen mit besonderer Berücksichtigung der Nachläuferwellen. Gerl. Beitr. z. Geophys. 12, 2. Heft.
- 7) H. Reich: Über Versuche mit dem Schweydarschen Seismometer in der Umgebung von Berlin. Sitzungsber. d. Preuß. Geolog. Landesanstalt 1927, Heft 2, S. 157.
- 8) H. K. Müller: Beobachtung von Sprengungen in drei Komponenten. Zeitschr. f. Geophys. 8, 459 (1932).

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Februar 1935.

Zum 2-Schichten-Problem der angewandten Seismik

Von **Rolf Bungers**, Göttingen — (Mit 3 Abbildungen)

Bestimmung von Einfallswinkel und Tiefe einer schrägen Schicht im Untergrund. Die praktischen Anwendungsmöglichkeiten der Formeln werden erörtert. Kritik an der Konstruktion von geologischen Profilen aus Laufzeitkurven.

Bei dem Problem der angewandten Seismik, eine im Untergrunde verlaufende Schicht mit schräger, ebener Oberfläche durch das Laufzeitkurvenverfahren nachzuweisen, stößt man bekanntlich auf die Aufgabe, aus zwei „scheinbaren“ Neigungswinkeln ω_1 und ω_2 die Einfallsrichtung und den „wahren“ Neigungswinkel ω zu ermitteln. Formeln, die hierfür angegeben werden*), führen nur in erster Annäherung zu richtigen Werten; grundsätzlich gehen sie von einer nicht zutreffenden Annahme aus, die auch anderweitig bei Sprengproblemen zu Fehlern führt. Das wirkt sich vor allem auch bei Tiefenbestimmungen aus (vgl. hierzu die Bemerkung auf S. 211). Bei kleinem ω ist zwar der Fehler unerheblich; doch kann er bei größeren Neigungswinkeln beträchtlich werden. Deshalb sollen hier die Formeln durch richtige ersetzt werden, zumal sie genau so einfach sind wie die alten**).

*) Vgl. H. Haalek: Lehrb. d. angew. Geophysik 1934, S. 314.

***) Wie mir nach Abfassung der Arbeit bekannt wird, ist die Formel (3a) schon — wenn auch in anderer Weise — von F. Gassmann abgeleitet worden: „Seismische Bestimmung einer geneigten Grenzfläche von unbekannter Fallrichtung“, Beitr. z. angew. Geophysik 4 [3], 358 (1934).