

## **Werk**

**Jahr:** 1927

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:3

**Werk Id:** PPN101433392X\_0003

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X\\_0003](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0003) | LOG\_0008

## **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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Beobachtungen bei Sprengungen.

[Gehört zu den „Forschungsarbeiten bei Sprengungen“, unterstützt von der Notgemeinschaft Deutscher Wissenschaft\*].

Von **G. Angenheister**. — (Mit drei Abbildungen.)

Es wurden Seismogramme bei Sprengungen aufgenommen bis zu 1500 m Entfernung. Aus den Aufzeichnungen werden Laufzeitkurven für verschiedene Phasen abgeleitet und ihre Deutung versucht.

Künstliche Sprengungen versetzen den Untergrund in elastische Bewegung, die sich durch geeignete Seismographen aufzeichnen läßt. Die Diagramme dieser experimentellen Seismik zeigen ähnlich wie die Erdbebendiagramme wohl unterscheidbare Einsätze. Bei der Betrachtung eines einzelnen Diagrammes liegt es nahe — analog wie bei Erdbebendiagrammen —, diese Einsätze als longitudinale, transversale und Oberflächenwellen anzusprechen.

Beim Vergleich der Aufzeichnungen aus den verschiedenen Entfernungen von einigen hundert Metern treten jedoch erhebliche Schwierigkeiten hervor. Schon bei der Identifizierung der zusammengehörigen Einsätze; noch mehr bei der physikalischen Deutung der Wellennatur. Vor allem gilt dies, wenn nur Aufzeichnungen einer einzigen Komponente vorliegen; dann ist der Willkür viel Raum gegeben. Finden die Versuche statt auf einem Untergrund, der schon in den von den aufgezeichneten Wellen durchlaufenen Tiefen ausgesprochene Schichtung aufweist, so mehren sich die Einsätze und damit die Schwierigkeit ihrer Deutung. Gewiß gibt schon die bisher meistens benutzte Laufzeitkurve des ersten Einsatzes einen für die Schichtung des Untergrundes sehr wichtigen Anhalt. Gelingt es jedoch, die Wellennatur weiterer Einsätze zu deuten und die zusammengehörigen Einsätze in den Aufzeichnungen aus verschiedenen Entfernungen zu erkennen, so öffnen sich neue Wege zur seismischen Erschließung des Untergrundes.

Zum Studium der obigen Aufgabe ist eine systematische Untersuchung der Aufzeichnung der Bewegung in verschiedenen Entfernungen vom Sprengort, in jeder Entfernung mit drei Komponenten, erforderlich.

Für die Theorie der Erdbebenwellen haben experimentelle Arbeiten dieser Art eine große Bedeutung, denn die physikalische Natur der Erdbebenwellen ist noch keineswegs für alle Einsätze mit Sicherheit festgestellt.

Der praktische Wert der seismischen Aufschlußmethode für den Bergbau braucht nicht mehr besonders betont zu werden. Er ist durch die schönen Erfolge von Dr. L. Mintrop hinlänglich bekannt.

Ein Teil der elastischen Wellen, die bei Sprengungen aufgezeichnet werden können, dringt noch tiefer hinab, als die durch Bergbau erschließbaren Schichten liegen. Die Arbeiten, die in den letzten Jahren vom Geophysikalischen Institut

---

\*) Nach einem Vortrag, gehalten auf der Naturforscherversammlung in Düsseldorf, Sept. 1926; ergänzt durch spätere Aufzeichnungen.

in Göttingen unter der Leitung von Prof. Wiechert ausgeführt worden sind und über die Herr Prof. Wiechert ausführlich berichtet hat, deuten dies an. Es besteht somit berechnete Hoffnung, daß die seismische Methode als Hilfsmittel der geologischen Forschung die großen Probleme der Tektonik und des Aufbaues der Erdrinde lösen helfen wird.

Im folgenden soll über einige Vorversuche berichtet werden, die von der geophysikalischen Abteilung des Geodätischen Instituts in Potsdam angestellt wurden. Es sind Beobachtungen in der Nähe der Sprengstelle zwischen 235 und 1570 m, und zwar zunächst mit einer Komponente.

Es ist der Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zu verdanken, daß diese Arbeiten, die sich als ein Teil in ein größeres Arbeitsprogramm einfügen, ausgeführt werden konnten. Die Beobachtungen wurden bei den Sprengungen angestellt, die zu Schallbeobachtungen in Jüterbog stattfanden.

Zu den bisherigen Versuchen wurden drei verschiedene Typen von Seismographen benutzt. Sie besaßen eine Dämpfung, eine Vergrößerung von 100 bis 3000 und Eigenperioden zwischen 0.2 und 1 sec.

Die ersten Versuche wurden mit einem Blattfederseismographen angestellt, den schon Prof. Schweydar zu Erschütterungsmessungen gebaut hatte. Es wurden an diesem Instrument vor dem Gebrauch Änderungen an der Dämpfung und an der Koppelung vorgenommen. Die anderen Apparate wurden im Laufe des Jahres 1926 in der Werkstatt des Geodätischen Instituts gebaut.

Die Aufzeichnungen geschahen zum Teil photographisch, zum Teil durch Rußschreiber. Die benutzten Registriergeschwindigkeiten betragen bis zu 6 cm/sec. Der Zeitpunkt der Sprengung wurde auf dem Registrierstreifen aufgezeichnet.

Beim Bau dieser Instrumente und bei den Aufnahmen waren besonders Dr. Picht und seit Herbst 1926 Dr. Schneider, und unter ihrer Leitung die Mechaniker Lehmann und Rebenstorff tätig. Über die Instrumente wird später eingehender berichtet werden.

Im folgenden sind zwei Arten von Sprengungen zu unterscheiden: „Tiefensprengungen“, bei denen der Sprengstoff mehrere Meter tief im Boden eingegraben war ( $\Delta = 835$  m,  $\Delta = 1300$  m), und „Oberflächensprengungen“, bei denen der Sprengstoff auf der Erdoberfläche lag ( $\Delta = 235$  m,  $\Delta = 277$  m,  $\Delta = 285$  m,  $\Delta = 860$  m,  $\Delta = 1545$  m).

Auf den Seismogrammen heben sich einige Einsätze deutlich hervor. Seismogramme, die in gleicher Entfernung und gleichem Azimut vom Sprengherd aufgenommen wurden, sind in ihren Einsätzen überraschend ähnlich. Es handelt sich also um reproduzierbare Vorgänge. Jedem Einsatz kommt eine bestimmte Bedeutung zu. (Siehe die umstehende Fig. 1.)

Der Vergleich von Seismogrammen aus verschiedener Entfernung zeigt, daß bestimmte Einsätze sich mit einiger Sicherheit einander zuordnen lassen. Diese sind in den Seismogrammen und in der Laufzeitkurve mit (1), (2), (3), (4) bezeichnet.

Alle Laufzeitkurven sind im Beobachtungsintervall merklich geradlinig. Die Punkte (1) und (2) liegen nahezu je auf einer Geraden, die die Zeitachse bei

0.25 sec und 0.60 sec schneiden. Dies letztere bedeutet, daß die Bewegungen von einer tiefer liegenden Schicht getragen werden, die etwa bei 100 m Tiefe liegt.

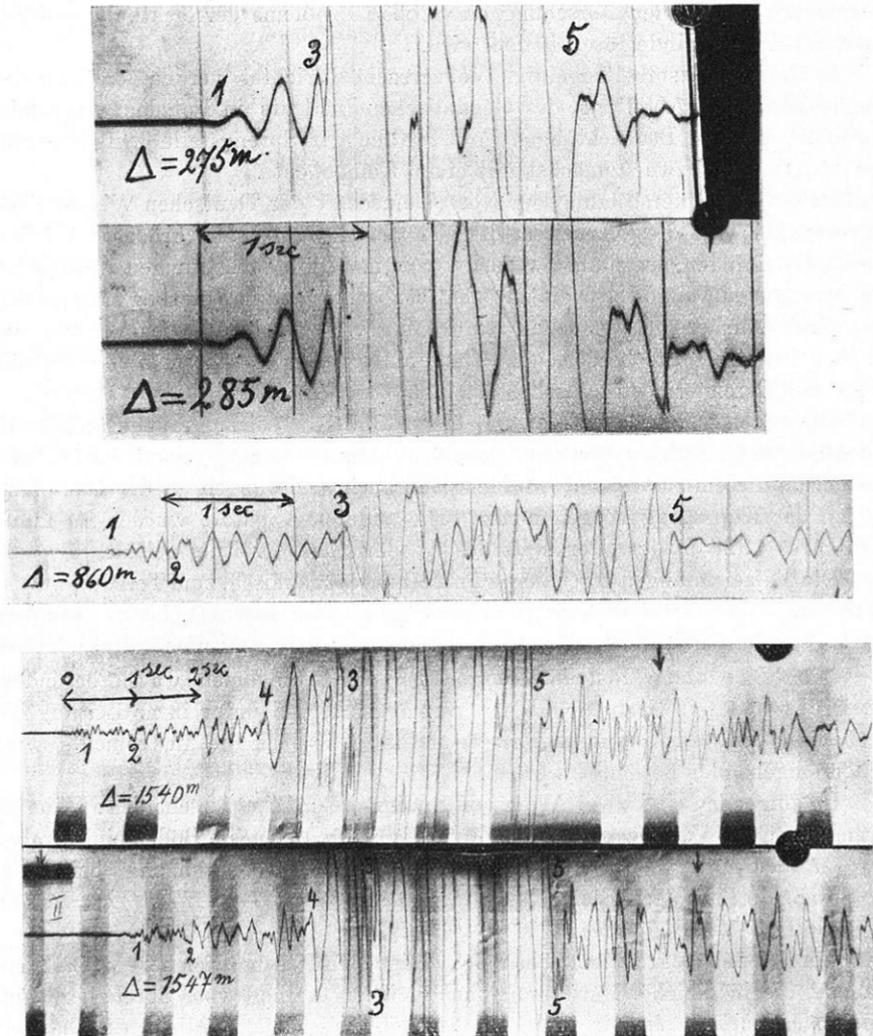


Fig. 1. Seismogramme von Sprengungen.  
Aufgenommen in verschiedenen Entfernungen vom Sprengort.

Die Energie wird dieser tieferen Schicht durch zwei verschiedene Bewegungsformen zugetragen, die die Deckschicht mit den Geschwindigkeiten von etwa 700 bis 800 m/sec und 300 bis 400 m/sec senkrecht durchdringen. In der tieferen Schicht laufen diese Bewegungen mit 1900 m/sec und 1260 m/sec.

Von den Punkten (3) liegen drei recht genau auf der Geraden durch den Nullpunkt, die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Luft entspricht. Es sind dies die Punkte  $\Delta = 285$ , 277 und 860 m, die zu Oberflächensprengungen gehören. Bei ihnen konnte sich eine starke Schallwelle in der Atmosphäre ausbreiten. Bei diesen Seismogrammen zeigen sich bei Eintritt der Phase (3) etwa sechs sehr kurze Schwingungen von ungefähr  $\frac{1}{100}$  sec Periode, die sehr wohl dem Explosionsschall entsprechen können. Diese Luftschwingungen haben vielleicht unmittelbar auf die Unterlage des Seismographen gewirkt, zu dem sie freien Zutritt hatten. Auch das Seismogramm der Oberflächensprengung  $\Delta = 1545$  m enthält zur Zeit der Ankunft des Luftschalles, 4.6 sec nach der Sprengung, auffällige Schwingungen von  $\frac{1}{20}$  sec, die der schon begonnenen stärkeren Bewegung (4) überlagert sind. Die Tiefensprengungen, bei denen der Sprengstoff 5 m tief eingegraben war ( $\Delta = 835$  m und  $\Delta = 1300$  m), zeigen solche kurze Schwingungen nicht. Die vorübergehenden Schallwellen üben auf den Boden — insbesondere auf Hindernisse, und ein solches war der Unterstand, in dem die Kurven aufgenommen wurden — einen Druck aus, der den Boden in Bewegung setzt. Dies ist auch durch andere Erfahrungen bestätigt. Infolgedessen setzt bei Oberflächensprengungen gleichzeitig mit den kurzen, durch den Luftschall erregten Schwingungen bei  $\Delta = 285$  m,  $\Delta = 860$  m und  $\Delta = 1545$  m eine stärkere Bodenbewegung ein.

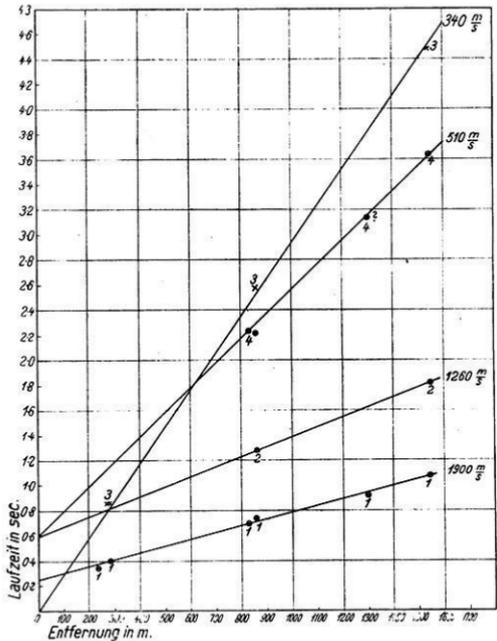


Fig. 2.

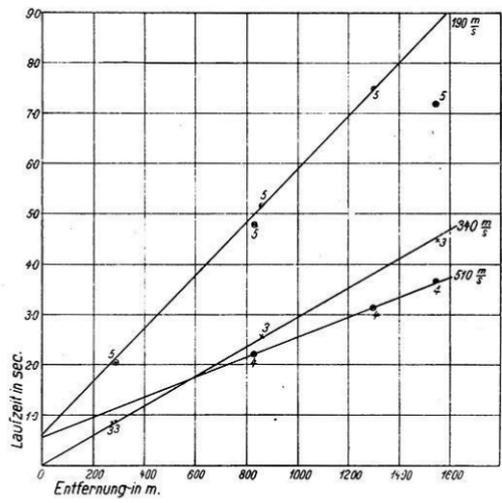


Fig. 3.

Fig. 2 u. 3. Laufzeitkurven der Bodenbewegungen bei Sprengungen.

Anderer Natur sind die großen Ausschläge der Bodenbewegung (4). Sie treten bei den Tiefensprengungen  $\Delta = 835$  m und  $\Delta = 1300$  m schon vor der Zeit auf, die dem Eintreffen des Schalles entspricht. Ihre Laufzeiten liegen auf einer geraden Linie, die die Kurve der Schallausbreitung (3) bei  $\Delta = 600$  m und die Zeitachse bei 0.6 sec schneidet. Diese Bewegung schreitet mit einer Geschwindigkeit von 510 m/sec fort.

Wir können beim Vergleich der Kurven somit außer anderen Einsätzen vor allem vier Phasen unterscheiden:

Phase	Periode in sec	Relative Amplitude	Geschwindigkeit in m/sec
(1)	0.05 bis 0.03	4	1900
(2)	0.2	30	1260
(3)	0.01 bis 0.05	2	333 (Luftschall)
(4)	0.2 „ 0.3	100-200	510

Der physikalische Charakter dieser Wellenzüge läßt sich mit Sicherheit erst angeben, wenn die Bodenbewegung in allen drei Komponenten gleichzeitig beobachtet ist. Dazu müssen weitere Beobachtungen abgewartet werden. Doch sei schon eine vorläufige Bemerkung erlaubt.

Die Verhältnisse der Perioden, Amplituden und Geschwindigkeiten von (1) und (2) sind ähnlich den entsprechenden Verhältnissen des I. und II. Vorläufers bei Erdbeben. Man könnte danach vermuten, daß (1) und (2) longitudinale und transversale Wellenzüge sind, die in derselben Schicht laufen. Ihr Geschwindigkeitsverhältnis ist 1.5. (2) und (4) schneiden die Zeitachse nahezu in demselben Punkt 0.6 sec. Vielleicht ist (4) eine Schichtschwingung, deren Erregung in einer unteren Schicht mit der Geschwindigkeit 510 m/sec fortschreitet. Nach Amplitude und Periode entspricht (4) den Hauptwellen bei Erdbeben.

Überraschend ist das plötzliche Abbrechen der Hauptphase (4). Die Zeitpunkte dieses Endes der Phase (4) sind in Fig. 2 als Funktion von  $\Delta$  eingetragen (5). Vier von den fünf Punkten liegen recht genau auf einer Geraden. Nur  $\Delta = 1545$  m liegt etwa 1.5 sec zu früh. Es liegt nahe, zu vermuten, daß die Bewegung (4) mit 510 m/sec in einer unteren Schicht fortschreitet und dabei die aufliegende Schicht zum Mitschwingen anregt, und daß die obere lockere Sandschicht dieses Mitschwingen selbständig fortleitet, und zwar mit einer wesentlich geringeren Geschwindigkeit. Die in der oberen Schicht an verschiedenen Punkten zwischen Herd und Station von unten her erregten Wellen treffen nach und nach auf der Station ein; zuletzt die nahe dem Herde erregten. Für die nahezu in demselben Azimut vom Herde gelegenen Punkte  $\Delta = 285$  m bis  $\Delta = 1300$  m läuft dieses Mitschwingen der oberen Schicht in ihr mit 190 m/sec, das ist die Geschwindigkeit, mit der das Ende (5) der Hauptwellen (4) fortschreitet.  $\Delta = 1545$  m lag in einem fast  $150^\circ$  abweichenden Azimut; man kann das verfrühte Ende von  $\Delta = 1545$  m dann erklären, wenn man in diesem Azimut eine etwas größere Geschwindigkeit, 229 m/sec, annimmt. Es scheint danach, daß in der unteren Schicht die Bewegung in dreifacher Form fortschreitet, die dem I. und II. Vorläufer und den Hauptwellen bei Erdbeben ent-

spricht, und daß sie die obere Schicht zum Mitschwingen anregt. Mitschwingen der obersten Schicht ist außer bei (4) auch bei anderen Phasen wirksam. Die Bewegungsform des Mitschwingens ist dabei auch von der Art der Bewegung in der unterliegenden, der energieführenden Schicht, also von der Art des Anstoßens abhängig. Die Periode des Mitschwingens wird, soweit sie freie Schwingung ist, von den Dimensionen und der Geschwindigkeit der Deckschicht abhängen. Die Bewegungsform, die aus der unteren Schicht empordringt, kann dadurch entstellt werden; auch bei den ersten Ausschlägen einer Phase. Das ist bei der Ableitung der Wellennatur aus der Form der Aufzeichnung zu bedenken.

Die hier bisher ausgeführten Beobachtungen deuten also an, daß der wesentlichste Vorgang folgender war: Die Energie durchdringt in verschiedener Form und mit verschiedener Geschwindigkeit senkrecht die Deckschicht und erregt die entsprechenden Bewegungen in einer festeren unteren Schicht. Jede dieser Bewegungen schreitet in der unteren Schicht selbständig fort und erregt dabei von unten her die Deckschicht zum Mitschwingen. Für jede Form der Bewegung und auf dem ganzen Wege strahlt also die untere Schicht senkrecht Energie nach oben. Eigene Versuche mit einem Horizontal- und einem Vertikalseismographen, über die noch berichtet wird, scheinen dies zu bestätigen. Die großen von Schweydar und Reich\*) beobachteten Emergenzwinkel sind wohl gleichfalls in diesem Sinne zu deuten. Das Mitschwingen schreitet selbständig in der Deckschicht fort, jedoch mit geringerer Geschwindigkeit als die anregende Bewegung in der unteren Schicht. Die Dauer der Hauptphase wird daher um so länger je größer  $\angle$ . Sie läßt sich aus  $\angle$  und den beiden Geschwindigkeiten in der unteren und oberen Schicht berechnen. Die Hauptphase zeigt regelmäßige Schwingungen von etwa  $\frac{1}{4}$  sec Periode, die Eigenschwingungen einer lockeren oberen Sandschicht sein können. Ihre Dicke ergäbe sich zu 25 m.

Außer den hier angegebenen Einsätzen treten in den Aufzeichnungen noch weitere Einsätze auf, die durch Bewegung in noch tieferen Schichten mit erheblich größerer Geschwindigkeit hervorgerufen sind. Sehr überraschend folgt aus ihnen, daß schon in der geringen Tiefe zwischen 400 und 500 m die hohe Geschwindigkeit von fast 5000 m/sec auftritt. Doch müssen hierzu noch Bestätigungen abgewartet werden.

Nach Fertigstellung der Arbeit teilte mir Herr Dr. Reich mit, daß in der Nähe des Geländes eine Bohrung bis 145 m Tiefe besteht, die bei 97 m das Diluvium durchteuft hat und von 97 bis 127 m Septarienton (Mitteloligocän) antraf; darunter von 127 bis 145 m Buntsandstein. Danach könnte in 500 m wohl Zechstein beginnen, erst Anhydrit (dem die obige Geschwindigkeit von 4500 m/sec entspricht), darunter Steinsalz. Die Bohrungen im Lager gehen weniger tief; sie fanden unter lockeren Sanden in 30 bis 35 m Tiefe festere Tone.

Potsdam, Geodätisches Institut, Januar 1927.

\*) Zeitschr. f. Geophys. 2, 351 (1926).