

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_0022

LOG Titel: Über die Verwendung verschiedenartiger Explosionen zur Erregung seismischer Wellen

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

- ⁹⁾ E. Schopper: Zeitschr. f. Phys. **93**, 1 (1933).
¹⁰⁾ E. Mach: Anzeiger d. Wiener Akad. 1876.
¹¹⁾ K. W. F. Kohlrausch: Handb. d. Experimentalphys. XV.
¹²⁾ Pahl u. Hasemann: Naturw. **23**, 318 (1935).
¹³⁾ E. G. Steinke: Ergebn. d. exakt. Naturw. XIII, S. 129 (1934).
¹⁴⁾ G. Kirsch: Geologie u. Radioaktivität 1928.
¹⁵⁾ V. Aigner: Bericht über die Untersuchungen der objektiven Wüschelrute nach de Vita 1932.
¹⁶⁾ Buth: E. T. Z. LI, S. 1171 (1930).
¹⁷⁾ K. Kähler: Einführung in die atmosphärische Elektrizität 1929.
¹⁸⁾ P. E. Dobler: Physikalischer und photographischer Nachweis der Erdstrahlen. Franken-Verlag Sommer u. Schorr, 1929.
¹⁹⁾ J. N. Hummel: Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen **1**, 73 (1935).
²⁰⁾ G. Suckstorff: Zeitschr. f. Geophys. **11**, 95 (1935).

Über die Verwendung verschiedenartiger Explosionen zur Erregung seismischer Wellen

Von St. von Thyssen — (Mit 8 Abbildungen)

Zuerst werden einige für die praktische Sprengseismik wichtige sprengtechnische Gesichtspunkte erörtert. Versuche zur Erregung elastischer Wellen mit Hilfe der aufgespeicherten Energie komprimierter Gase und in Stahlrohre eingeschlossener Treibmittel werden beschrieben. Es ergibt sich, daß der „seismische Wirkungsgrad“ von brisanten Sprengstoffen bei der Überführung der Sprengkraft in seismische Energie gering ist. Es wird ferner gezeigt, daß die Explosion von verhältnismäßig geringen, in Stahlrohre eingeschlossenen Mengen Schwarzpulver genügt, um brauchbare Reflexions-Seismogramme zu erzeugen.

I. Allgemeiner Teil. In der einschlägigen Literatur findet sich verhältnismäßig wenig Material, welches die Vorgänge, die sich unmittelbar bei der Erzeugung von elastischen Wellen im Boden vermittelt künstlicher Erdbeben abspielen, behandelt. Man hat sich im allgemeinen damit abgefunden, die künstlichen Erdbeben auf die einfachste Art durch die Explosion*) von Sprengstoffen zu erzeugen, ohne aber gerade die für die Sprengseismik oft wichtigen sprengtechnischen Gesichtspunkte besonders zu berücksichtigen. Für die Zwecke der kleinen Seismik will man bekanntlich insbesondere longitudinale elastische Wellen innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches erzeugen, während man bei Spreng-

*) Die bei der Explosion entwickelte Energie wird, soweit sie nicht für andere Arbeitsleistung verbraucht wird, auf das umgebende Medium (Luft, Erde, Wasser usw.) übertragen. Diese Übertragung geschieht nicht etwa durch die direkte Massenbewegung, das Abströmen oder den statischen Druck der entwickelten Gase, sondern kommt vielmehr dadurch zustande, daß die dem Sprengstoff zunächstliegende Schicht des Mediums stark zusammengedrückt wird. Die Kompression überträgt sich dann auf weitere Schichten, so daß sie die Form einer stets größer werdenden Kugelschale annimmt.

gungen für technische und andere Zwecke doch ganz andersartige Arbeitsleistungen erstrebt.

Im allgemeinen verwendet man in der kleinen Seismik (Refraktions- und Reflexions-Seismik) zur Erregung elastischer Wellen möglichst brisante Sprengstoffe, daher Sprengmittel, bei welchen die explosive Umwandlung mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit abläuft. Je größer die Brisanz, desto größer ist auch die Wirkung, und zwar insbesondere auf die *nächste* Umgebung*). Die Wirkung der brisanten Sprengstoffe beruht mehr auf deren großem Effekt als auf der großen Energie. Deshalb ist auch der seismische Effekt brisanter Sprengstoffe in bezug auf deren Energieinhalt bzw. deren Arbeitsvermögen unverhältnismäßig gering. Während Schießpulver z. B. die Steinkohle in wenige grobe, umfangreiche Stücke sprengt, würde die gleiche Menge hochbrisanter Sprengstoffe vielleicht einen kleineren Raumteil Kohle freigeben, diese aber dafür zu Staub zermahlen. Die nach außen gerichtete Kraft würde von der nächsten Umgebung gleichsam aufgesogen und träte nicht mehr in Erscheinung wie bei der Pulverladung**).

Wenn gerade brisante Sprengstoffe den weniger brisanten bei der Sprengseismik vorgezogen werden, wo geschieht dieses wohl hauptsächlich aus den folgenden Gründen:

1. Das Sprengmoment ist sehr kurz und läßt sich daher gut definieren; 1 kg Gelatine-Dynamit in Würfelform explodiert in etwa $\frac{1}{60000}$ sec, was einer Detonationsgeschwindigkeit***) von 6000 m/sec entspricht.

2. Der Energieinhalt ist groß. Der Energieinhalt von 1 kg Gelatine-Dynamit beträgt 1395 Kal. der von 1 kg Schwarzpulver nur 665 Kal.

3. Die Sprengwirkung ist bedeutend und soll verhältnismäßig unabhängig von der Verdämmung sein. Der Brisanzwert †) von Gelatine-Dynamit beträgt 112, der von Schwarzpulver 1.4.

Bei näherer Betrachtung dieser Gründe lassen sich aber auch einige Gesichtspunkte aufwerfen, welche die Verhältnisse wesentlich zu ändern vermögen. Für die seismische Praxis ist z. B. ein Sprengmoment von etwa $\frac{1}{1000}$ sec schon ausreichend. Was bedeutet ferner ein großer Energieinhalt, wenn nur ein ganz geringer Bruchteil der zur Verfügung stehenden Energie seismisch ausgenutzt werden kann? Endlich wird die Meinung, daß nur das langsam explodierende Schwarzpulver eines Einschusses bedarf, die brisanten Sprengmittel dagegen nicht, durch

*) Kast: Spreng- und Zündstoffe, S. 33.

**) Stettenbacher: Schieß- und Sprengstoffe. S. 23.

***) Der Zustand der Explosion stellt nach Kast einen Übergangszustand mit veränderlicher Geschwindigkeit dar, der in den mit konstanter Geschwindigkeit ablaufenden Endzustand „Detonation“ übergeht.

†) Der Brisanzwert eines Sprengstoffs berechnet sich nach Kast mit Hilfe der Formel $1.0333 \cdot v_0 \cdot \alpha \cdot T \cdot \Delta \cdot \vartheta$, wobei Δ die Ladedichte und ϑ die Detonationsgeschwindigkeit bedeutet.

allgemeine sprengtechnische Erfahrungen widerlegt. Selbst hochbrisante Militärpreßkörper vergasen nie so schnell, daß sie nicht ihre Kraft unter einem festen Hindernis viel wirksamer entfalten.

Besonders aufschlußreich sind hierzu die Zahlen der Bleiblockweitung von Gelatine-Dynamit mit verschiedenen Besatzarten. 10 g dieses Sprengstoffs erweitert den Bleiblock ohne Besatz 178 cm³, mit Wasserbesatz 313 cm³, mit Sandbesatz 383 cm³, mit Lehmbesatz 439 cm³ und mit Zementbesatz 442 cm³*). Danach beträgt die Aufweitung im Bleiblock mit Sandbesatz schon über das Doppelte von der ohne Verdämmung. Noch gegensätzlicher aber werden diese Erscheinungen bei besonders zähem und festem Material, wie Stahl und Gußeisen**). Für die praktisch günstigste Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit eines Sprengstoffes ist es nicht günstig, wenn die Wandungen des Laderaumes dem Druck der Explosionsgase nachgeben, schon ehe der Maximaldruck erreicht ist. Wenn der Einschluß des Sprengstoffes immer vollkommen dicht wäre, so ist es gleichgültig, ob der Sprengstoff brisant oder nicht brisant ist bzw. schnell oder langsam vergast.

Es wird heute bei sprengseismischen Arbeiten zwecks besserer Ausnutzung der Sprengkraft in mehr oder weniger tiefen Bohrlöchern (etwa von 2 bis zu 30 m „geschossen“, wobei allerdings auch die störenden Oberflächenwellen (Rayleighwellen) weitgehend unterdrückt werden können. Die Verdämmung aber, — sollte selbst das Bohrloch ganz mit Wasser gefüllt sein, — genügt im allgemeinen noch bei weitem nicht zur Erzielung eines einigermaßen günstigen Wirkungsgrades bei der Überführung von Sprengkraft in seismische Energie (siehe II. Teil der Arbeit). Auch hier, wie in der breiten Praxis, weicht der Widerstand der Verdämmung meist zu rasch, als daß der erreichbare Maximaldruck seismisch ausgenutzt werden kann. Selbst unter den günstigsten Verhältnissen, wie dieses z. B. bei Sprengarbeiten in Granit der Fall sein würde, würde die Ausnutzung höchstens 15 bis 20 % der rechnungsmäßigen Leistungsfähigkeit betragen [Wärme- und Druckaufsaugung im Bohrloch***)]. Dieser Prozentsatz ist für die normalen seismischen Sprengungen in Bohrlöchern naturgemäß noch bedeutend geringer. Einzig beim Sprengen größerer tief angebohrter Eisenmassen könnten Sprengkraftnutzungen bis zu einem Drittel angenommen werden, und man nähert sich dann der Effektgrenze der Treibmittel und Brennstoffe, die im Gewehrlauf und Dieselmotor denselben Betrag von etwa 32 % erreichen. Obgleich die Verdämmung die Detonationsgeschwindigkeit und damit auch die Brisanz vermindert, hält sie die Energiemenge, daher die arbeitsleistenden Explosionsgase derart zusammen, daß jene Brisanzverkleinerung durch die vollkommene Umsetzung des Sprengvolumens weit überwogen wird †).

*) Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengwesen 1927, S. 346—348.

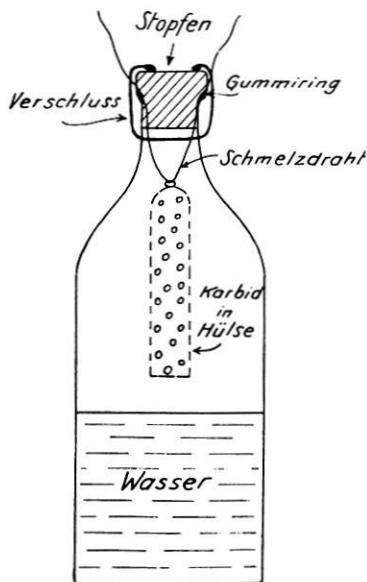
***) Stettenbacher: Schieß- u. Sprengstoffe, S. 378.

****) Stettenbacher: ebenda, S. 94.

†) Zeitschr. f. Schieß- u. Sprengwesen 1919, S. 238. Stettenbacher, S. 379.

Ausgehend von diesen Gesichtspunkten, und unter Berücksichtigung der verhältnismäßig geringen Sprengstoffmengen, die in der Reflexionsseismik gebraucht werden, — höchstens bis zu einigen 1000 g, — lag die Möglichkeit nahe, gerade hier das Arbeitsvermögen der Sprengstoffe für seismische Zwecke durch künstliche Verdämmung etwa mittelst fester Glas- oder Stahlkörper besser auszunützen. Es schien dann auf diese Art auch die Möglichkeit gegeben, die verhältnismäßig ungefährlichen und billigen Treibmittel, die bekanntlich in bezug auf ihre Schlag- und Reibungsempfindlichkeit zu den handhabungssichersten Sprengstoffen gehören, der Reflexionsseismik nutzbar zu machen, indem diese z. B. in genügend dickwandigen Glas- oder Stahlkörpern fest verdämmt zur Explosion gebracht würden. Die Explosionsgeschwindigkeit der Treibmittel würde zur Erzielung eines genügend kurzen Sprengmomentes von mindestens $\frac{1}{1000}$ sec ausreichen. Kast*) hat schon 1920 festgestellt, daß die Explosionsgeschwindigkeit von Schwarzpulver bei einer Ladedichte von 1.06 in Glasröhren 380 m/sec, in starken Mannesmannröhren 420 m/sec beträgt. Wird beispielsweise ein 25 cm langes Stahlrohr verwendet, so erfolgt die Explosion dieser Sprengstoffstrecke schon in etwa $\frac{1}{1600}$ sec. Diese Explosionsgeschwindigkeit ist aber für seismische Zwecke mehr als ausreichend.

Auf die Nutzbarmachung der aufgespeicherten Energie von komprimierten Gasen für die Erregung seismischer Wellen sei in dieser Verbindung hingewiesen. Hochgespannte Dämpfe oder komprimierte Gase vermögen bekanntlich explosionsähnliche Erscheinungen hervorzurufen, wenn sie sich plötzlich ausdehnen. Jedoch findet dann, im Gegensatz zu den Sprengstoffen, am eigentlichen Ort des Vorganges im Explosionsmoment ein Druckabfall statt, wie dieses z. B. bei Dampfkesselexplosionen, Explosionen von Stahlflaschen mit komprimierten Gasen, gefrierendem Wasser usw. der Fall ist.



Sprengflasche (11)

Fig. 1. Sprengflasche

II. Versuchsteil. In starkwandigen Glasflaschen von 1 Liter Inhalt, die bei einem Innendruck von etwa 18 Atm. zersprangen, wurde durch die Einwirkung von Wasser auf Calciumkarbid der dazu erforderliche Überdruck erzeugt. Eine derartige Sprengflasche ist in Fig. 1 schematisch gezeigt.

*) Kast: Spreng- u. Zündstoffe.

Eine perforierte Blechhülse, die mit etwa 50 g Karbid gefüllt war, wurde vermittelt eines Schmelzdrahtes in der Flasche aufgehängt. Diese wurde halb mit Wasser gefüllt und mit einem festen Verschuß versehen. Mit Hilfe einer elektrischen Batterie, die mit den Enden des Schmelzdrahtes verbunden war, konnte dieser zum Zerreißen gebracht werden, worauf die Hülse mit Karbid mit dem Wasser in Berührung kam und die Gasentwicklung einsetzte. Der Gasdruck brachte dann die Flasche nach kurzer Zeit zum Zerplatzen.

Mit Hilfe solcher Sprengflaschen wurden zuerst auf feuchtem Sandboden in der Nähe von Hannover sprengseismische Versuche bis auf 100 m Abstand durchgeführt. Die Verdämmung der Sprengflasche erfolgte stets auf gleiche Weise,

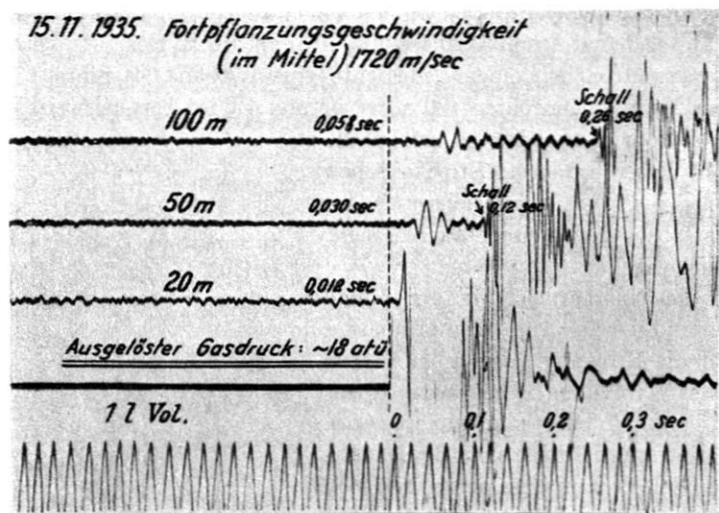


Fig. 2. Seismogramm, erzeugt durch das Auslösen eines Gasdruckes von etwa 18 Atmosphären

indem diese in ein 1 m tiefes Bohrloch (bis zum Grundwasserspiegel) versenkt wurde. Etwa 10 sec nach erfolgter „Zündung“ zersprang die Flasche mit einem dumpfen Knall, wobei etwas Erdreich emporgeworfen wurde.

Eines der dabei erhaltenen Seismogramme ist in Fig. 2 gezeigt.

Die errechnete Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 1720 m/sec läßt darauf schließen, daß die plötzlich ausgelöste Druckwirkung groß genug war, um die für seismische Zwecke erforderlichen Longitudinalwellen zu erzeugen. Auch der Schall konnte durch Rückwirkung auf die Seismographen *) in vorliegendem Seismogramm aufgezeichnet werden. Das Schlußmoment wurde vermittelt eines elektrischen

*) Es wurden drei elektrische Seismographen mit Zentralregistrierung verwendet (siehe auch Trappe: Berg- u. Hüttenmännische Zeitschr. Glückauf Nr. 25, 1935).

Erschütterungsmessers, der unmittelbar neben der Sprengflasche eingegraben war, festgehalten.

Um einen Zusammenhang zwischen der vom Boden aufgenommenen elastischen Energie und der Explosionsart zu finden, sind noch Vergleichssprengungen mit dem brisanten „Gelatine-Donarit“ unter denselben Versuchsbedingungen durchgeführt worden. Es ergab sich hierbei, daß rund 20 g dieses hochbrisanten Sprengmittels nötig waren, um die gleiche Amplitudengröße der registrierten Bodenbewegung zu erhalten. In jedem Falle wurde also im Boden, wenigstens der Größenordnung nach, ein und dieselbe Schwingungsenergie erzeugt und fortgeleitet. Eine einfache Rechnung zeigt, daß die Umsetzung der Explosion in elastische Wellen im Verhältnis zur aufgewandten Energie, also gewissermaßen der „seismische Wirkungsgrad“ von Gelatine-Donarit überraschend gering ist. Berechnen wir das in beiden Fällen zur Verfügung stehende theoretische Arbeitsvermögen der Sprengkörper, so erhalten wir etwa für

$$20 \text{ g Gelatine-Donarit} = 20 \cdot 1,295 \text{ Kal.} \cdot 426,9 = 11056,7 \text{ m/kg.}$$

Der in der Sprengflasche erzeugte Gasdruck von rund 18 Atm. vermag aber nur eine Arbeit von etwa

$$18 \cdot 0,5^*) \cdot 10,333^{**}) = 93 \text{ m/kg}$$

zu leisten. Die Arbeitsvermögen der Explosionen verhalten sich in beiden Fällen also wie 119 : 1, während der Seismische Effekt derselbe ist.

Anläßlich der Weiterführung der Versuche wurden zur Erzeugung des erforderlichen Gasdruckes das reichlich und verhältnismäßig gleichmäßig gaserzeugende Treibmittel wie Schwarzpulver verwendet, mit dessen Hilfe man leicht hohe Gasdrucke in entsprechend starkwandigen Stahlrohren entwickeln kann. Beim deutschen Infanteriegewehr beträgt der erzeugte mittlere Gasdruck beispielsweise 3201 Atm.***). Bei dieser Gelegenheit möchte ich nicht versäumen, darauf hinzuweisen, daß sehr gut die Möglichkeit bestehen kann, mit Hilfe anderer Vorrichtungen ebenfalls die für seismische Zwecke erforderlichen Gasdrucke zu erzeugen.

Schwarzpulver entwickelt bei der Explosion eine nutzbare Gasmenge von bloß 43%, während der feste Rückstand (Rauch) nahezu drei Fünftel des ganzen Pulvergewichtes beträgt. Ganz allgemein läßt sich sagen, daß die Explosionsgase ungefähr das 280fache Volumen der angewandten Pulvermenge ausmachen und bei der Ladedichte $\Delta = 1$ einen Druck von 6236 kg/cm² auf die Einschlußwände auszuüben vermögen. Der Explosionsgasdruck der Sprenggelatine erreicht dagegen etwa 100000 Atm.†).

*) Die Sprengflasche ist halb mit Wasser gefüllt und kann deshalb nur mit einem Volumen von etwa 500 ccm gerechnet werden.

***) 1 Liter/atm. = 10,333 kg/m.

***) Cranz: Lehrbuch der Ballistik. Berlin 1926.

†) Stettenbacher: Schieß- u. Sprengstoffe, S. 49.

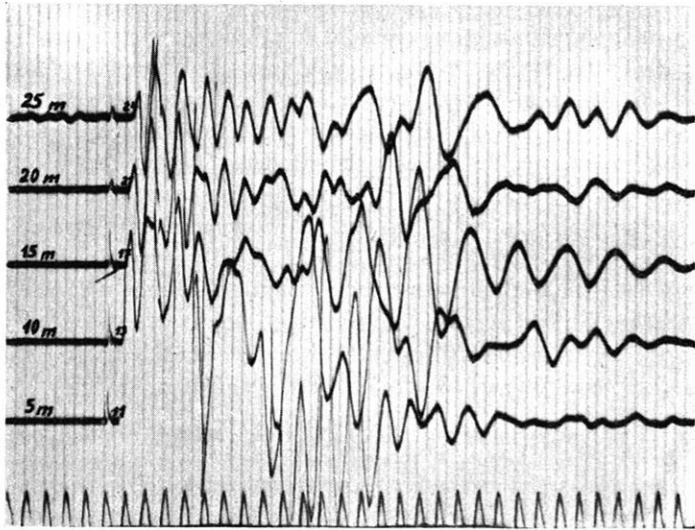


Fig. 3

Seismogramm, erzeugt durch Explosion von 45 g Schwarzpulver in einem Stahlrohr eingeschlossen.

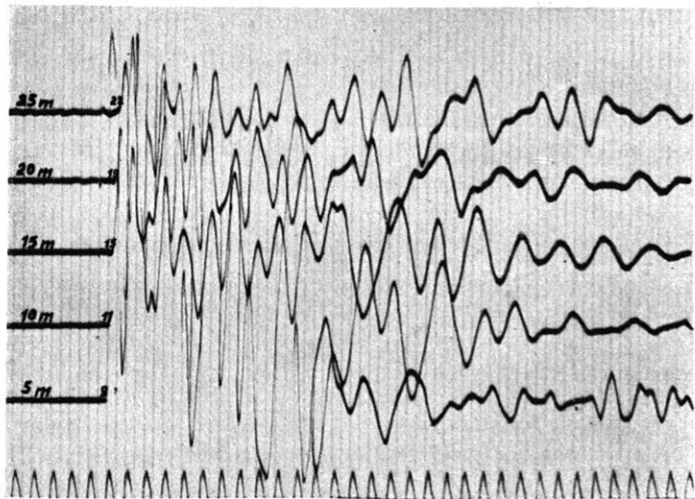


Fig. 4

Seismogramm, erzeugt durch Explosion von 62.5 g Gelatine-Donarit

Für die sprengseismischen Versuche wurden nahtlos gezogene, einseitig verschlossene, 25 cm lange Stahlrohre [aus hochwertigem Stahl*) von den Preß- und Walzwerken, Reisholz bei Düsseldorf, hergestellt], von 22 mm Außen- und 16 mm Innendurchmesser, also 3 mm Wandstärke, verwendet. Die Rohre konnten mit normalen Zündkerzen verschraubt werden. Die Zündung des Pulvers selbst erfolgte auf sehr einfache Weise, und zwar vermittelt elektrisch entzündbarem Blitzlichtpulver, wobei die Stromzufuhr durch die Zündkerze erfolgte. Bei der Explosion zerriß jedesmal ein Innendruck von schätzungsweise mehreren 1000 Atm. die Rohre, welche dabei fast immer in der Längsrichtung in drei oder vier Streifen zerteilt wurden. Das Schußmoment wurde festgehalten, indem das Rohr jedesmal mit dem Abrißdraht fest umwickelt wurde. Es wurde festgestellt, daß das Sprengmoment auf diese Weise verzögerungsfreier erhalten werden konnte als mit dem oft angewendeten Verfahren vermittelt einer zusätzlich in den Zündstromkreis eingeschalteten Abrißsprengkapsel, da die beiden Sprengkapseln meistens nicht genau gleichzeitig detonieren. Fig. 3 zeigt ein Seismogramm, das durch die Explosion einer solchen Stahlbombe mit einer Ladung von 45 g Schwarzpulver in trockenem Sandboden erhalten wurde.

Das in Fig. 4 gezeigte Vergleichsseismogramm wurde durch die Explosion von 62.5 g Gelatine-Donarit erhalten. Jedesmal ist in 1.5 m tiefen Löchern „geschossen“ worden. Die Amplitudengrößen der beiden Seismogramme verhalten sich etwa wie 1 : 2. Die beiden Seismogramme zeigen ferner fast dieselben charakteristischen Wellenzüge. Ich möchte auf die schon erwähnte Verzögerung der Sprengmomentsübertragung, die hier 2 sec beträgt, hinweisen, wie aus dem Seismogramm in Fig. 4 ersichtlich ist, da hier zum „Abriß“ eine in den Zündstromkreis geschaltete Sprengkapsel verwendet wurde.

Aus den beiden Seismogrammen und den verwendeten Sprengmitteln lassen sich interessante Vergleiche ziehen:

a) Das Arbeitsvermögen von 45 g Schwarzpulver beträgt $45 \cdot 0.665 \text{ Kal.} \cdot 426.9 = 12810 \text{ m/kg}$; von 62.5 Gelatine-Donarit etwa $62.5 \cdot 1.295 \text{ Kal.} \cdot 426.9 = 34.150 \text{ m/kg}$.

b) Die Vergasungsschnelligkeiten (Detonationsgeschwindigkeiten) betragen etwa 400 m/sec und 6000 m/sec.

c) Die jeweilige Sprengwirkung selbst wird am besten mit Hilfe der Brisanzwerte**) verglichen, wobei für Schwarzpulver der Wert $B = 1.4$ und für Gelatine-Donarit etwa $B = 70$ errechnet wird.

Das Seismogramm in Fig. 3 mit etwa der halben Amplitudengröße konnte also mit Sprengstoff von fast dreifach geringerem Arbeitsvermögen, von etwa

*) Die Elastizitätsgrenze von bestem Geschütz-Nickelstahl beträgt etwa 5000 kg/cm^2 . Die eigentliche Fließgrenze ist erst bei 6800 kg/cm^2 (L. Hähnert: Geschütz und Schuß. Berlin 1928. S. 147).

**) Siehe weiter oben.

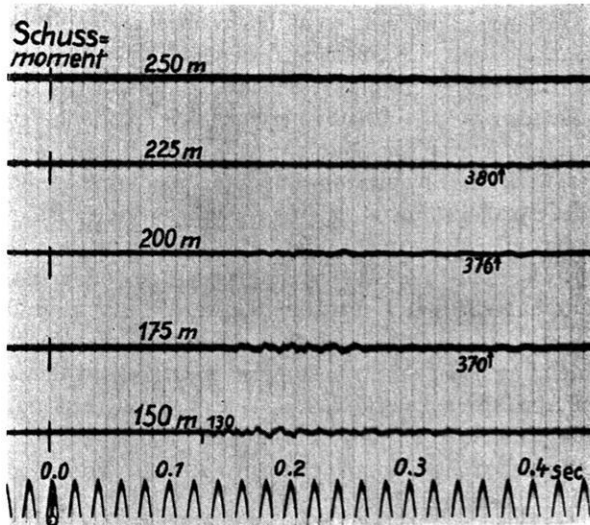


Fig. 5

Seismogramm ohne Karbonreflexion, erzeugt durch Explosion von 50 g Schwarzpulver in einem Glasrohr eingeschlossen

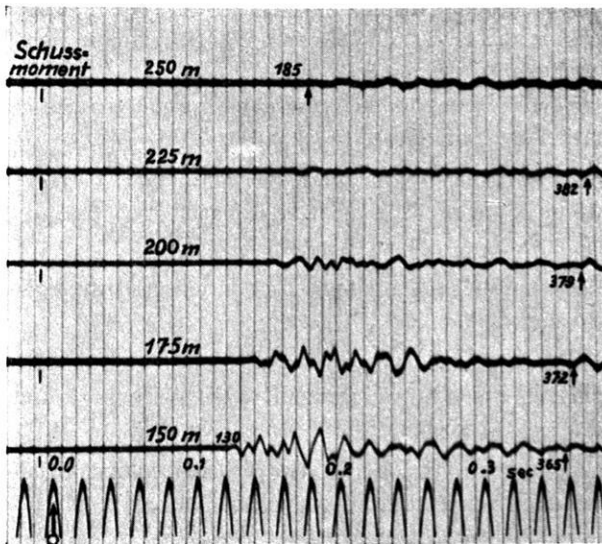


Fig. 6

Seismogramm mit Karbonreflexion, erzeugt durch Explosion von 45 g Schwarzpulver in einem Stahlrohr eingeschlossen

15fach geringerer Detonationsgeschwindigkeit und von 50fach geringerem Brisanzwerte erhalten werden. Eine Steigerung der Detonationsgeschwindigkeit und Brisanz bedeutet hiernach eben nicht immer eine Steigerung der seismisch ausnutzbaren Sprengkraft. Wohl spitzt sich die zerschmetternde Kraft in gewissem Sinne zu, jedoch nur einseitig, da sie mehr auf die nahe Umgebung des Sprengortes beschränkt bleibt. Die Explosionszeit von Gelatine-Donarit war im vorliegenden Falle vielleicht zu kurz, um im Boden wirkungsvoller elastische Wellen zu erregen. Für die eingehendere Behandlung dieser Fragen liegt zur Zeit allerdings noch nicht genügend Material vor*).

Es war vorauszusehen, daß Schwarzpulver in ein weniger widerstandsfähiges Glasrohr eingeschlossen eine geringere Explosionswirkung erzielen würde als in einem widerstandsfähigen Stahlrohr. Um die Wirkung vom Schwarzpulver, welches einmal in Glas- und dann in Stahlrohre eingeschlossen war, zu veranschaulichen, werden hier (Fig. 5 und 6) zwei Reflexionsseismogramme gezeigt, die anlässlich von Untersuchungen auf Karbon im Aachener Steinkohlengebiet aufgenommen wurden.

50 g Schwarzpulver wurden in ein für diesen Zweck hergestelltes Glasrohr von 4 mm Wandstärke durch Piceinverguß dicht verschlossen. Die Zündung erfolgte auf die schon oben beschriebene Weise, und zwar mit Hilfe eines entsprechend langen Zündkabels, da die so vorbereitete Bombe in ein Schußbohrloch von 25 m Tiefe bis unter den Grundwasserspiegel versenkt wurde. Das erhaltene Seismogramm zeigt allerdings eine nur verhältnismäßig geringe Wirkung. Reflexionen lassen sich ebenfalls nicht einwandfrei feststellen.

Eine bedeutend größere Wirkung wurde erzielt, — wie aus dem Seismogramm in Fig. 6 ersichtlich, — wenn das Schwarzpulver in ein Stahlrohr eingeschlossen, zur Explosion gebracht wurde. Die Reflexionen bei 0.382, 0.349, 0.372 und 0.365 sec sind jetzt deutlich zu erkennen. Ein Vergleichsseismogramm mit 65 g Dynamit „geschossen“, und zwar unter genau denselben Versuchsbedingungen, zeigt Fig. 7. Es lassen sich hier wieder ähnliche Betrachtungen über Energieinhalt, Sprengwirkung usw. wie schon weiter oben gezeigt, anstellen. Diese Vergleiche führen auch hier im Prinzip zu demselben Ergebnis: Der „seismische Wirkungsgrad“ von fest eingeschlossenem Schwarzpulver ist bedeutend größer als von der gleichen Menge Dynamit, wobei der letztere Sprengstoff auf normale Weise im Schußbohrloch verdammt ist.

Zum Schluß sei noch ein schönes Reflexionsseismogramm, welches in der Nähe von Wendeburg (Braunschweig) aufgenommen wurde, gezeigt (Fig. 8),

*) Es ist denkbar, daß mit Hilfe Sprengstoffs von 5000 bis 6000 m/sec Detonationsgeschwindigkeit in einem Medium von 1600 bis 2000 m/sec Laufzeit für elastische Wellen eine geringere seismische Wirkung erzeugt wird als in einem Medium von 5000 bis 6000 m/sec Laufzeit. Das würde bedeuten, daß um eine möglichst günstige seismische Ausnutzung eines Sprengstoffs in einem bestimmten Boden zu erzielen, die Geschwindigkeit der Detonationswelle angenähert gleich der Laufzeit seismischer (longitudinal) Wellen dieses Bodens sein sollte.

das durch die Explosion von 45 g Schwarzpulver, ebenfalls in einem Stahlrohr eingeschlossen, erhalten wurde.

Es wurde hierbei aus einem 12 m tiefen Bohrloch „geschossen“. Die vom Boden aufgenommene elastische Energie war groß genug, um noch in einer Tiefe

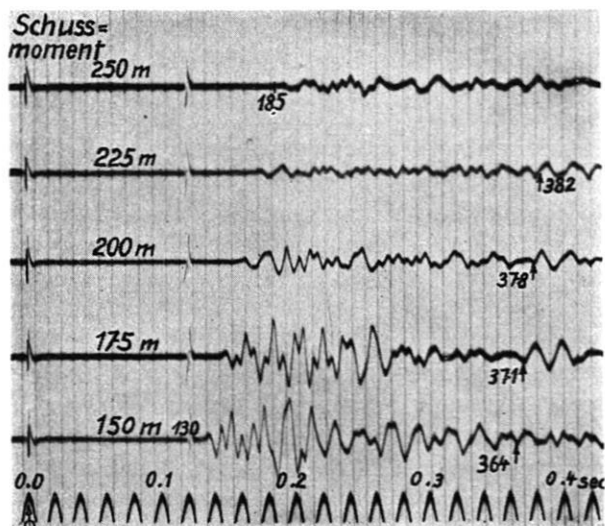


Fig. 7

Seismogramm mit Karbonreflexion, erzeugt durch Explosion von 65 g Dynamit

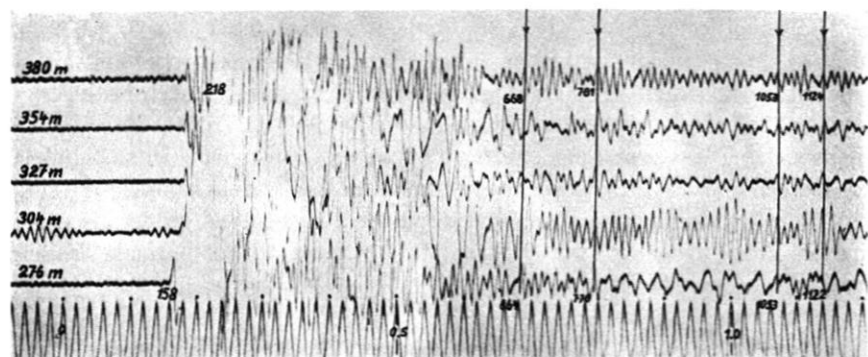


Fig. 8. Reflexionsseismogramm, erzeugt durch Explosion von 45 g Schwarzpulver in einem Stahlrohr eingeschlossen

von etwa 1000 m brauchbare Reflexionen zu erzeugen. Ein gleichwertiges Seismogramm benötigte zur Herstellung etwa 35 g Gelatine-Donarit.

Einige weitere Versuche, die unter verschiedenartigen Bodenverhältnissen durchgeführt wurden, ergaben alle ähnliche Ergebnisse, jedoch wäre es noch

verfrüht, Schlüsse von allgemeiner Gültigkeit zu ziehen. Aus den schon durchgeführten Versuchen lassen sich aber vielleicht schon folgende Ergebnisse zusammenfassend ableiten:

1. Es lassen sich für bestimmte seismische Untersuchungen die erforderlichen elastischen (longitudinalen) Wellen mit Hilfe der aufgespeicherten Energie von in Druckgefäßen komprimierten Gasen, die sich plötzlich ausdehnen können, verhältnismäßig einfach erzeugen.

2. Für reflexionsseismische Aufgaben und seismische Versuchszwecke, d. h. überall dort, wo verhältnismäßig geringe Sprengstoffmengen benötigt werden, können brauchbare Seismogramme mit Hilfe geringer Mengen Schwarzpulver (Treibmittel), die in Stahlrohren zur Explosion gebracht werden, verhältnismäßig einfach erhalten werden.

3. Der „seismische Wirkungsgrad“ von brisanten Sprengmitteln scheint sehr gering zu sein.

Seismische Bodenunruhe und Brandung

Von W. v. zur Mühlen — (Mit 2 Abbildungen)

Es werden für zwei Zeitabschnitte aus den Jahren 1930 und 1932 die Korrelationskoeffizienten zwischen seismischer Bodenunruhe in Hamburg, Potsdam, Taunus-Obs., Stuttgart, Straßburg und Kew einerseits und der Brandung im Norden und Westen Europas andererseits behandelt. Die Diskussion wird sowohl unter Berücksichtigung des gegenseitigen Stärkeverhältnisses der Brandungen bzw. der Größe ihrer Schwankungen als auch namentlich unter dem von Schwinner hervorgehobenen Gesichtspunkt etwaiger Beziehungen zum Verlauf des Grundgebirges durchgeführt. Nach kurzem Eingehen auf andere Möglichkeiten der Erklärung der Bodenunruhe wird schließlich unter Zusammenfassung beider Zeitabschnitte die tägliche Zyklonenlage im Norden Europas für die Tage der Maxima wie auch der Minima der Bodenunruhe in je einer Skizze festgehalten und erörtert.

Ausgangspunkt zu vorliegender Untersuchung waren die Arbeiten von E. Tams^{1, 2)} über Brandung in West- und Nordeuropa und Bodenunruhe in Hamburg, die durch die Beobachtungen von K. Jung⁴⁾ über die Bodenunruhe in Potsdam ergänzt wurden. Die Enge der dort gefundenen Beziehung zwischen Brandung an der norwegischen Küste und seismischer Unruhe, die ihren Ausdruck in hohen Korrelationskoeffizienten fand, scheint erneut die Hypothese von Wiechert, daß die Brandung an Steilküsten Ursache der Bodenunruhe weiter Gebiete sei, zu belegen. Das ist um so bemerkenswerter, als zahlreiche Beobachtungen (besonders angelsächsischer Autoren) gegen die Brandungshypothese sprechen, und die Bodenunruhe demnach auf andere Ursachen zurückzuführen sein möchte. Neben der Frage, ob die obenerwähnten engen Beziehungen sich hinsichtlich weiterer Gebiete und Zeitabschnitte verallgemeinern lassen, sind es die von R. Schwinner³⁾ entwickelten Vorstellungen über den Zusammenhang zwischen