

Werk

Jahr: 1939

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:15

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0015

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015

LOG Id: LOG_0036

LOG Titel: Über Kopfwellen in der Seismik

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

Über Kopfwellen in der Seismik

(Auf Grund funkenkinematographischer Modellversuche)

Von O. v. Schmidt, Berlin-Gatow. — (Mit 9 Abbildungen)

Es wird auf Grund von Schlierenaufnahmen gezeigt, daß die Kopfwellen — gemäß der Theorie des Verfassers — sowohl bei der Grenzschicht flüssig-flüssig, als auch fest-flüssig photographisch nachweisbar sind. Durch die Kopfwellen im Wasser kann der Verlauf von longitudinalen und transversalen Wellen in undurchsichtigen festen Körpern nachgewiesen werden. Weiterhin zeigt sich, daß die transversalen Wellen (im Gegensatz zu den longitudinalen) ein Modell des Erdkernes aus Metall nicht durchlaufen, sondern dasselbe an der Oberfläche entlang umkreisen. Es wird gezeigt, daß nicht nur die neue Wellenfront, sondern auch die reflektierten und durchgehenden Wellenfronten als Kopfwellen aufgefaßt werden können, und daß es sich bei den Kopfwellen um eine gesetzmäßige Erscheinung der allgemeinen Wellenlehre handelt.

In einer früheren Arbeit „Zur Theorie der Erdbebenwellen“*) hatte ich den Gedanken ausgesprochen, daß sich die bisher ungeklärte Grenzwellen der Sprengseismik als ein Vorgang auffassen läßt, welcher der Kopfwelle eines Geschosses vollkommen analog ist. Es sollte demnach durch die Welle im Medium mit der Schallgeschwindigkeit v_2 ($v_2 > v_1$) eine geradlinige Kopfwelle im langsameren Medium nachgezogen werden, und zwar genau wie in der Ballistik entsprechend dem Ansatz: $\sin \alpha = v_1/v_2$.

Zur weiteren Klärung dieser Hypothese mußte die Frage entschieden werden, ob dieses Phänomen nur an der Grenze fest-fest auftritt, also Richtigkeit und damit Transversalwellen voraussetzt, oder ob es sich — wie schon in der angeführten Arbeit vermutet — um ein allgemeingültiges Gesetz der Wellenlehre handelt.

Zur Entscheidung der Frage, ob die Kopfwellen auch in flüssigen und gasförmigen Körpern auftreten, habe ich in Zusammenarbeit mit Prof. Schardin und mit Unterstützung der Forschungsabteilung des Reichsluft-

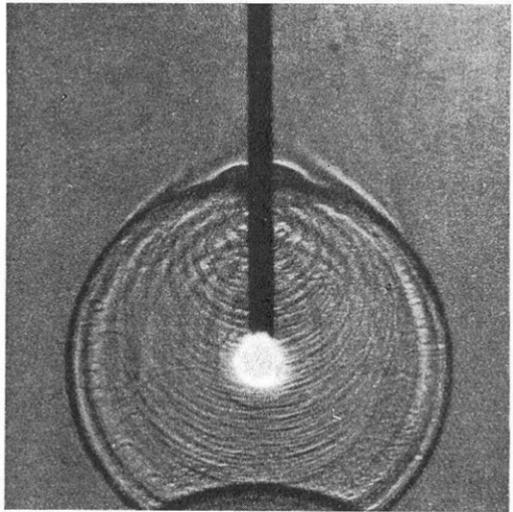


Fig. 1. Ausbreitung einer Knallwelle in einem Wassertrog. Man sieht in der Mitte den Knallfunken, konzentrisch die Primärwelle und unten die am Gefäßboden reflektierte Wellenfront

*) Zeitschr. f. Geophys. 12, 199 (1936).

fahrtministeriums eine große Serie von Schlierenaufnahmen im Ballistischen Institut der Luftkriegsakademie Berlin-Gatow ausgeführt. Die Einzelheiten der zur Anwendung gelangten Kranz-Schardinschen funkenkinematographischen Methode sind in der Arbeit von Cranz und Schardin*) näher beschrieben; wichtig für den Geophysiker ist hierbei lediglich die Tatsache, daß nach dieser Methode die Ausbreitung von Knallwellen in Gasen und Flüssigkeiten photographisch abgebildet werden kann.

So ist beispielsweise in Fig. 1 die Ausbreitung einer Knallwelle in einer wasser-gefüllten Küvette zu sehen:

Konzentrisch zum Knallfunken sieht man die kreisförmige Wellenfront und in diesen Primärkreis hereingeklappert die Front der Reflexionswelle. Nach den bisherigen Anschauungen der Akustik müssen diese Wellenfronten auch nach

beliebig vielen Reflexionen stets Kreissegmente bleiben, eine geradlinige Wellenfront würde ein Hinweis auf ein neuartiges Phänomen sein.

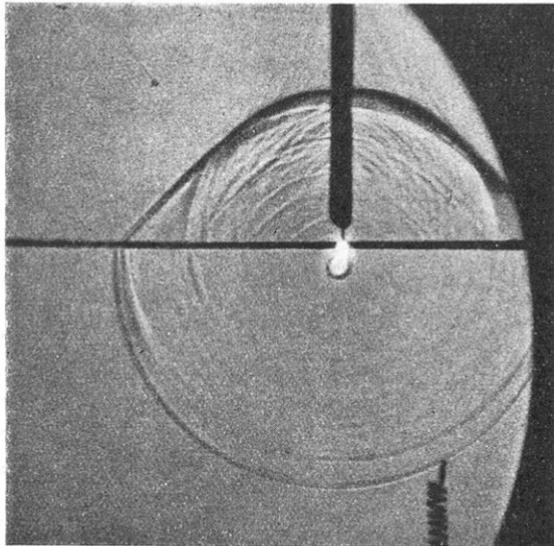


Fig. 2. Die Kopfwelle, falls Knallfunke in der Grenzschicht. Oben Xylol (1175 m/s), unten NaCl-Lösung (1600 m/s). Die untere Kugelwelle, die sich mit Überschallgeschwindigkeit rel. zum Xylol ausbreitet, zieht eine Kopfwelle nach sich. Winkel gegen die Grenzschicht = 47° . $\sin \alpha = v_1/v_2$

Die Kopfwelle an der Grenze flüssig-flüssig. Der grundlegende und prinzipiell Neues bringende Versuch besteht in folgendem:

In die Küvette kommen zwei Flüssigkeiten, unten Kochsalzlösung mit einer Schallgeschwindigkeit von 1600 m/s, oben Xylol mit 1175 m/s, das Knallzentrum, also der Funke, kommt genau in die Grenzschicht der beiden Flüssigkeiten.

Nach der bisherigen Anschauung müßte sich nun im unteren Medium ein größerer Halbkreis ausbilden, im oberen Medium ein

kleinerer Halbkreis entsprechend den beiden Geschwindigkeiten 1600 und 1175 m/s. Weiter dürfte dagegen auf dem Bilde nichts zu sehen sein.

Unsere Schlierenaufnahme, Fig. 2, zeigt uns jedoch, daß der untere Halbkreis infolge seiner Überschallgeschwindigkeit relativ zum Xylol, im letzteren eine Kopfwelle nach sich zieht, vollkommen analog der Kopfwelle eines Geschosses,

*) Zeitschr. f. Phys. 56, 147 (1929).

wobei auch hier der Winkel α zwischen Kopfwellen und Grenzschicht dem Gesetz gehorcht:

$$\sin \alpha = v_1/v_2.$$

Auch in einer weiteren Beziehung stimmt die Analogie mit der Kopfwellen vollkommen: Das Auftreten der Kopfwellen ist an Überschallgeschwindigkeit

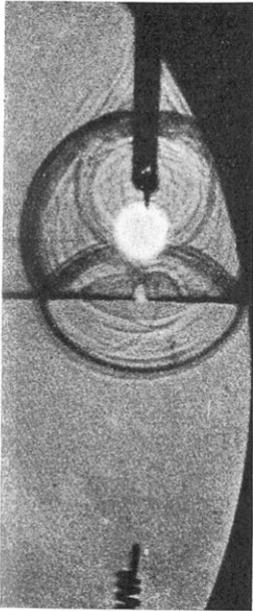


Fig. 3

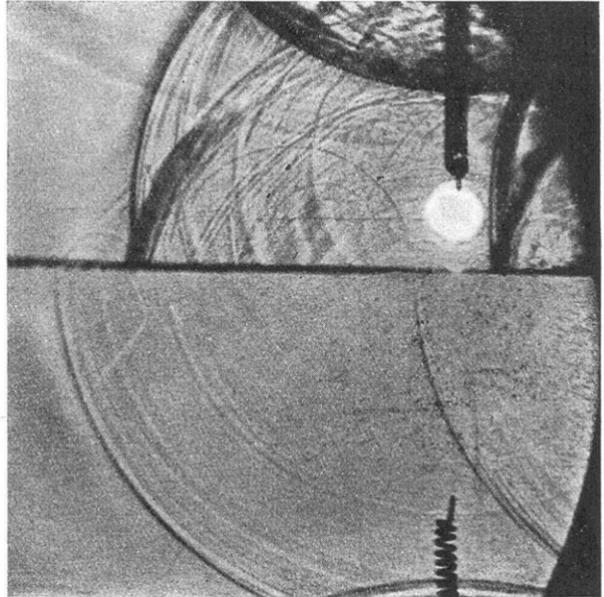


Fig. 4

Fig. 3. Erstes Stadium der Reflexion. Der Knallfunke befindet sich im Xylol. Oberhalb der Grenzschicht: Primärwelle und Reflexionswelle. Unterhalb der Grenzschicht: Durchgehende Welle. Alle drei Wellen treffen in einem Punkt zusammen und sind auch in einem früheren Stadium sichtbar

Fig. 4. Zweites Stadium der Reflexion. Vom Grenzwinkel der Totalreflexion ab laufen die primäre und reflektierte Welle langsamer als v_2 ; die untere Welle läuft dagegen mit $v_2 > v_1$. Sie zieht daher eine Kopfwellen im Xylol nach sich

gebunden. Auch diese Bedingung ist erfüllt, es tritt im *unteren* Medium keine Kopfwellen auf, da die obere Welle relativ zum Kochsalz mit Unterschallgeschwindigkeit läuft.

Dieser erste Versuch entsprach noch nicht ganz der Anordnung, die wir von der Sprengseismik her im allgemeinen gewöhnt sind, denn im letzteren Falle liegt ja der Sprengort bekanntlich nicht an der Grenze beider Medien, sondern in der oberen, also langsameren Schicht. Es wurde daher beim nächsten Versuch der Funke in das obere Medium verlegt, unter Beibehaltung aller früheren Versuchs-

bedingungen. Die Fig. 3 zeigt uns die erste hierher gehörige Schlierenaufnahme: Maßgebend für die ganzen Vorgänge ist nun die Schnittgeschwindigkeit v^* der Primärwelle mit der Grenzschicht: anfangs ist v^* größer als v_1 und als v_2 , wir erhalten demnach zwei Kopfwellen, entsprechend der bekannten reflektierten Wellenfront und der ebenfalls bekannten durchgehenden Wellenfront. In einem späteren Stadium der Ausbreitung tritt der Zeitpunkt ein, in dem v^* genau gleich v_2 , jedoch noch größer als v_1 ist; dieses ist der abgebildete Augenblick, der gerade dem Beginne der Totalreflexion entspricht. Von nun ab ist v^* stets kleiner als v_2 , jedoch ständig größer als v_1 ; es wird also nur noch eine Kopfwelle in v_1 nachgezogen, sie entspricht der normalen reflektierten Welle. Die durchgegangene

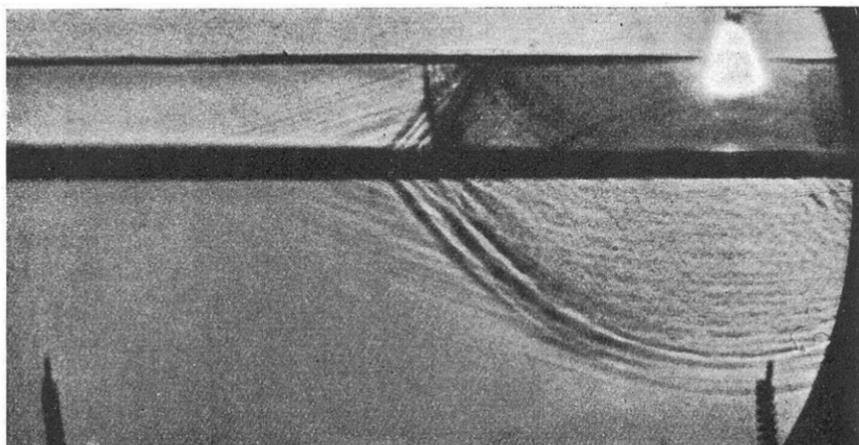


Fig. 5. Kopfwellen von einer Aluminiumstange ausgehend. Die flacheren Kopfwellen gehen von den Longitudinalwellen aus, die steileren von den Transversalwellen. Dann folgt die Primärwelle mit drei reflektierten Fronten. Das Bild ist gleichzeitig ein Modell der Sprengseismik

Wellenfront breitet sich nun selbständig mit ihrer Eigengeschwindigkeit v_2 weiter aus und zieht ihrerseits eine — vollkommen neuartige geradlinige — Kopfwelle nach sich, die in Fig. 4 deutlich zu sehen ist.

Es kann also aus den beiden Versuchsserien, die natürlich mehrfach unter den verschiedensten Bedingungen überprüft worden sind, folgender Schluß gezogen werden:

Die neue Kopfwelle tritt auch an der Grenze zweier Flüssigkeiten auf. Außerdem können die reflektierte und durchgehende Wellenfront stets als Kopfwelle aufgefaßt und berechnet werden.

Die Kopfwelle an der Grenze fest-flüssig. Im nächsten Versuch wurde eine Aluminiumstange ins Wasser getaucht und der Knallfunke im Wasser ausgelöst; wie aus Fig. 5 zu sehen ist, ziehen auch die Wellen des festen Körpers Kopfwellen

im Wasser nach sich, und zwar zwei, entsprechend den longitudinalen und transversalen Wellen des Aluminiums. Wir können also durch die Kopfwellen in der Flüssigkeit darauf schließen, wo sich im gegebenen Moment eine Schallwelle im festen, undurchsichtigen Körper befindet und außerdem durch den Winkel α berechnen, mit welcher Geschwindigkeit sich die Schallwelle fortpflanzt.

Die nächste Fig. 6 zeigt dieselbe Serie mit der Aluminiumstange, eine kurze Zeitspanne später: Nun hat die Kopfwelle die Primärwelle (also den Oberflächenimpuls) überholt, der Stoß von unten trifft früher ein, wie das aus der Seismik bei größeren Entfernungen allgemein bekannt ist.

Auch ein bisher nicht völlig geklärtes Phänomen ist durch das letzte Bild leicht zu erklären, nämlich die „Zitterkurve“, wie sie in Venezuela jedesmal

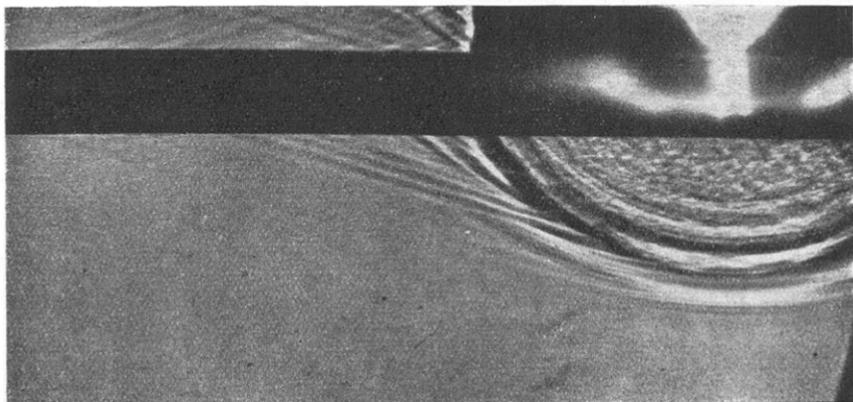


Fig. 6. Modell der Sprengseismik für geringe Teufen. Man sieht deutlich, daß die Kopfwelle mehrfach reflektiert ist und der zweite Stoß fast gleichzeitig mit der Primärwelle (Oberflächenstrahl) eintrifft

beobachtet wurde, falls in geringerer Tiefe eine festere Schicht, z. B. Kalkstein, vorhanden war und infolgedessen mehrfache Reflexion eintrat. Es sei speziell darauf hingewiesen, daß diese Mehrfachreflexionen sowohl von der Kopfwelle als auch von der reflektierten Welle ausgehen können, in der Fig. 6 sehen wir die zweite Reflexion der Kopfwelle fast gleichzeitig mit der Oberflächenwelle eintreffen.

Die Kopfwelle beim Wellendurchgang durch Kreisscheiben. Die Fig. 7 zeigt den Durchgang einer Schallwelle durch einen festen Körper, nämlich durch eine Plexiglasscheibe: man sieht deutlich wie oben und unten an den Austrittsstellen der Welle je eine Kopfwelle nachgezogen wird, und wie sich die Kopfwellen am linken Ende der Scheibe allmählich nähern, um ganz am Rande zusammenzufließen. In der Strahlenvorstellung ausgedrückt, gehen also die longitudinalen akustischen Strahlen durch die Mitte der Kreisscheibe hindurch. Dieser Vorgang

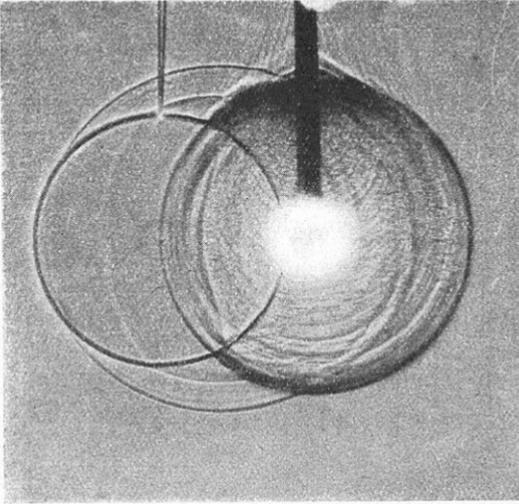


Fig. 7. Schallwellen und Kopfwellen bei Plexiglas. Durch einen zufälligen Doppelfunken sind zwei verschiedene Schallwellen im Plexiglas entstanden; jede von ihnen zieht oben und unten eine Kopfwelle nach sich

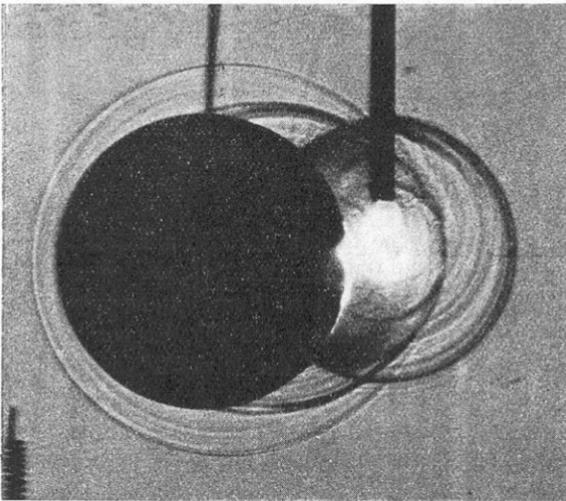


Fig. 8. Durchgang der Longitudinalwellen durch Messingscheibe. Das Bild stellt eine Fortsetzung des Vorganges der Fig. 7 dar. Die Longitudinalwellen haben sich vereinigt und laufen selbständig weiter, mit anderen Worten, die Strahlen passieren das Zentrum der Messingscheibe

ist in der nächsten Fig. (8), wo es sich um eine Messingscheibe handelt, noch deutlicher zu sehen, die vereinte Kopfwelle hat sich vollkommen selbständig gemacht und läuft als geschlossene Wellenfront unabhängig weiter.

Wir sehen in dieser Fig. (8) außer den besprochenen longitudinalen Kopfwellen deutlich auch noch die transversalen Kopfwellen auftreten, genau entsprechend den vorher geschilderten transversalen Kopfwellen bei der Aluminiumstange in Fig. 5. Wenn wir ein weiteres Stadium desselben Wellenvorganges betrachten, so sehen wir (Fig. 9), daß sich die transversalen Kopfwellen prinzipiell anders verhalten, denn wir beobachten *kein* Zusammenfließen der unteren und oberen Kopfwelle, sondern ein Überschneiden und Weiterwandern unter konstantem Winkel. Dieses würde in der Strahlenvorstellung bedeuten, daß die transversalen akustischen Strahlen (bzw. Bebenstrahlen) die Mitte des Messingkörpers überhaupt nicht passieren, sondern lediglich an der Oberfläche entlang laufen und die Scheibe auf diesem Wege umkreisen.

Dieses Resultat scheint für weitere Untersuchungen des Erdkernes von Bedeutung zu sein, denn bekanntlich

konnten transversale Bebenstrahlen, die den Erdkern passieren, bisher noch nicht einwandfrei nachgewiesen werden; auf Grund dieser Tatsache ist seinerzeit die Hypothese aufgestellt worden, daß sich der Erdkern — infolge Fehlens der Richtigkeit — wie eine Flüssigkeit verhält. Diese Hypothese scheint nun nicht mehr notwendig zu sein, da die transversalen Bebenstrahlen auch Erdkernmodelle aus Messing und Aluminium nicht durchdringen.

Der Energietransport in die Kopfwelle. Die rein bewegungsmäßigen Vorgänge sind somit in den Grundzügen geklärt, es verbleibt noch die Klärung des Energietransportes, da ja bekanntlich in der Sprengseismik eine erstaunlich geringe Abnahme der Energie in der Kopfwelle beobachtet wird.

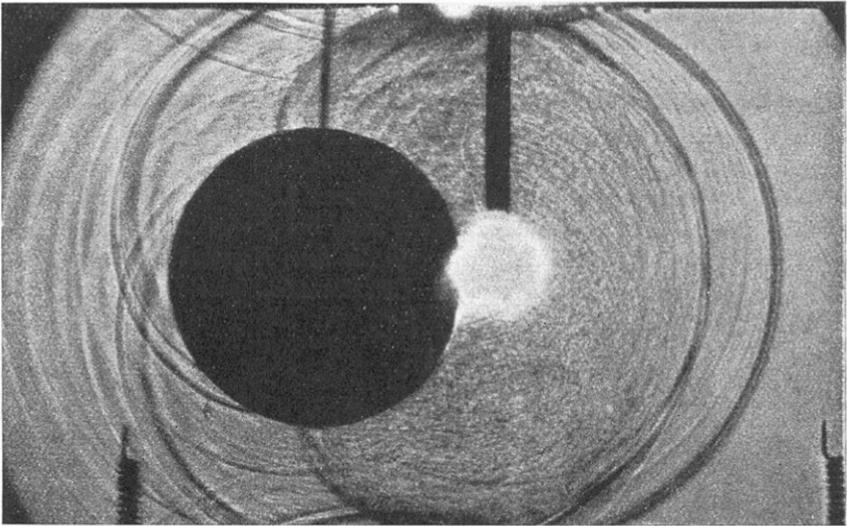


Fig. 9. Ausbleibender Durchgang der Transversalwellen. Ganz links die vereinigten Longitudinalwellen des vorigen Bildes. Die Transversalwellen vereinigen sich nicht, sondern überkreuzen sich. Die Strahlen umkreisen also die Messingscheibe. Das Bild ist als Erdkernmodell von Interesse

Der Vorgang verläuft aller Wahrscheinlichkeit nach wohl so, daß nach Berühren der Grenzschicht der Druck in der Primärwelle auf die reflektierte Welle und die durchgehende Welle verteilt wird. Es fließt somit in die durchgehende Welle Energie hinein, bis die Totalreflexion beginnt. Von diesem Moment ab trennt sich die durchgehende Welle von den beiden anderen, sie erhält keinen Energiezufluß mehr, sondern gibt im Gegenteil ihre Energie an die neue Kopfwelle im ersten Medium zurück. Wenn sich also die Kopfwelle in einem stark dämpfenden Medium fortpflanzt, so wird sie stets von neuem durch den Energievorrat der unteren Welle in weniger gedämpftem Medium nachgespeist.

Wellenaufteilung an Unstetigkeitsflächen. Die beschriebenen Kopfwellenversuche sind nun auch noch für die Grenzschichten fest-gasförmig, flüssig-gasförmig und gasförmig-gasförmig erweitert worden, auch in all diesen Fällen konnte das Auftreten der neuen Kopfwelle nachgewiesen werden. Wir sind daher zu dem Schluß berechtigt, daß das Auftreten der neuen Kopfwelle eine gesetzmäßige Erscheinung der allgemeinen akustischen Wellenlehre darstellt. Aus diesem Grunde ist es notwendig, die bekannten Formeln für die Wellenaufteilung von *Zöpritz**) und *Knott****) einer Neubearbeitung zu unterziehen, denn die bisherigen Formeln gingen in ihrem Ansatz von drei Wellenfronten aus, der einfallenden, der reflektierten und der durchgehenden, während die vorliegenden Schlierenaufnahmen zweifelsfrei zeigen, daß als vierte Wellenfront noch die neue Kopfwelle hinzutritt. Die notwendige Neuaufteilung der Wellenenergie bezieht sich nicht etwa auf die Sprengseismik allein, sondern auf die analogen Vorgänge der allgemeinen Seismik und auf jegliche akustische Totalreflexion.

Die Kopfwelle in der Optik. Die Wahrscheinlichkeit, daß das Kopfwellenphänomen auch bei der optischen Totalreflexion eine Rolle spielt, ist von mir schon in mehreren Arbeiten betont worden.

In einer noch unveröffentlichten gemeinsamen Arbeit von *Schardin* und mir konnten wir zeigen, daß die neue Kopfwelle auch bei der optischen Totalreflexion auftritt; *es ist hierdurch also erwiesen, daß die neue Kopfwelle eine gesetzmäßige Erscheinung darstellt, die für die gesamte Wellenlehre Gültigkeit hat.*

Berlin-Gatow, Luftkriegsakademie.

Der Einfluß eines mit der Tiefe veränderlichen Elastizitätsmoduls auf den Weg elastischer Wellen im Boden

(Mitteilung aus dem Inst. d. Deutsch. Forsch.-Ges. für Bodenmechanik, Berlin)

Von **A. Ramspeck**, Berlin-Charlottenburg. — (Mit 5 Abbildungen)

Wenn der Elastizitätsmodul in einem Boden mit der Tiefe stetig zunimmt, muß die Laufzeitkurve elastischer Wellen in diesem Boden eine krumme Linie werden. Die Theorie dieser gekrümmten Laufzeitkurven wird für den nichtgeschichteten und für den geschichteten Halbraum entwickelt. Ein Beispiel aus der Praxis beweist das gelegentliche Vorkommen krummliniger Laufzeitkurven.

Einleitung. 1. Belastungsversuche haben gezeigt, daß gelegentlich auf nicht bindigen Böden der Elastizitätsmodul auch bei kleinen Belastungen nicht konstant ist. So fand z. B. A. Föppl (Zentralbl. d. Bauv. 1897), daß die Einsenkungen

*) Gött. Nachr. VIIb, S. 57 (1919).

**) Phil. Mag. 1899.