

Werk

Jahr: 1928

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:4

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0004

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0004

LOG Id: LOG_0025

LOG Titel: Angewandte Seismik (Zusammenfassender Bericht über Arbeiten von 1921 bis 1928)

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

bis 500 beliebige Lineareinheiten betragen, auszuwerten. Dazu ist nur notwendig, die Höhen H und J ebenfalls in denselben Einheiten auszudrücken. Sei z. B. gegeben, die Auswertung der Geländewirkung zwischen zwei konzentrischen Kreisen, deren Radien 10 und 100 m sind, zu verrichten. In diesem Falle ist die Lineareinheit gleich 0.2 m. Folglich müssen ebenfalls die Höhe J des Instrumentes und die Höhe H des Reliefs in Einheiten von 0.2 m ausgedrückt sein.

Werden Gradienten für ein neues Koordinatensystem x', y', z' berechnet, welches um den Winkel γ (in der Richtung des Abzählens des Winkels α oder in der Richtung von S zu W) gedreht ist, so können folgende Umwandlungsformeln

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 V}{\partial x' \partial z'} &= \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} \cos \gamma + \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} \sin \gamma \\ \frac{\partial^2 V}{\partial y' \partial z'} &= -\frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} \sin \gamma + \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} \cos \gamma \\ \frac{\partial^2 V}{\partial x'^2} - \frac{\partial^2 V}{\partial y'^2} &= \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \cos 2\gamma + 2 \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} \sin 2\gamma \\ 2 \frac{\partial^2 V}{\partial x' \partial y'} &= -\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \sin 2\gamma + 2 \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} \cos 2\gamma \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

benutzt werden.

Angewandte Seismik.

(Zusammenfassender Bericht über Arbeiten von 1921 bis 1928.)

Von **Oswald v. Schmidt**. — (Mit fünf Abbildungen.)

I. Teil: Untersuchungen bei einer verdeckten Schicht. A. Analytische Betrachtung der Laufzeitkurven in Abhängigkeit von den Untergrundverhältnissen. Bedeutung der „Schein-geschwindigkeit“, die nicht nur unendlich groß werden, sondern auch negative Werte annehmen kann. Mathematischer Anhang. B. Konstruktion der Untergrundverhältnisse aus den Laufzeitkurven. C. Experimentelle Ergebnisse: Oberflächengeschwindigkeit = 1600 bis 1700 m/sec als Durchschnitt von 13 Linien. Beispiel einer Tiefenberechnung und Werte für v_2 in der Heide. II. Teil: Untersuchung bei zwei verdeckten Schichten. III. Teil: Beschreibung verschiedener Neukonstruktionen. Erfahrungen aus der Feldpraxis.

Einleitung.

Die Anregung zu vorliegenden seismischen Arbeiten verdankt Verfasser Herrn Dr. Mintrop. Derselbe hat im Dezember 1920 seine ersten Untersuchungen für die Deutsche Erdöl A.-G. ausgeführt. Verfasser, dem ab 1921 die vergleichende Bewertung der verschiedenen geophysikalischen Methoden für die Deutsche Erdöl A.-G. oblag, erkannte den hervorragenden Wert der seismischen Methode und entwickelte in demselben Jahre — unabhängig von

Dr. Mintrop — Theorie und Apparaturen zwecks eingehender Prüfung der neuen Methode.

Herr Dr. Mintrop hat unbestreitbar das große Verdienst, als erster nachgewiesen zu haben, daß die Methode in der Praxis möglich ist. Die Nachbildung einer Methode, wie sie hier vorgenommen wurde, ist natürlich keine große Leistung; trotzdem legt Verfasser Wert auf die Feststellung, daß die nachfolgend beschriebenen Berechnungsmethoden und Apparate 1921 selbständig entwickelt worden sind ohne genauere Kenntnis der Apparaturen und Berechnungen von Dr. Mintrop.

Es wurden Sprengungen an folgenden Orten vorgenommen: In der Lüneburger Heide 1921 bis 1923, in Sperenberg 1924, in Rüdersdorf 1925, in Texas 1926. In vorliegender Arbeit sollen nur die Ergebnisse aus der Lüneburger Heide mitgeteilt werden.

Veröffentlichungen über die angewandte Seismik gab es 1921/22 noch nicht, erst seit etwa zwei Jahren sind eingehendere Arbeiten über das Gebiet erschienen¹⁾; alle diese Arbeiten berücksichtigen viel zu wenig den Begriff der Scheingeschwindigkeit, außerdem bringen sie Formeln für die Tiefenberechnung bei schrägen Schichten, die für die Praxis kaum zu brauchen sind. Auch die Berechnungen bei zwei verdeckten Schichten sind bisher noch nirgends veröffentlicht worden. In den angeführten Punkten und in der Konstruktion der Apparaturen hofft Verfasser einen Fortschritt zu bringen.

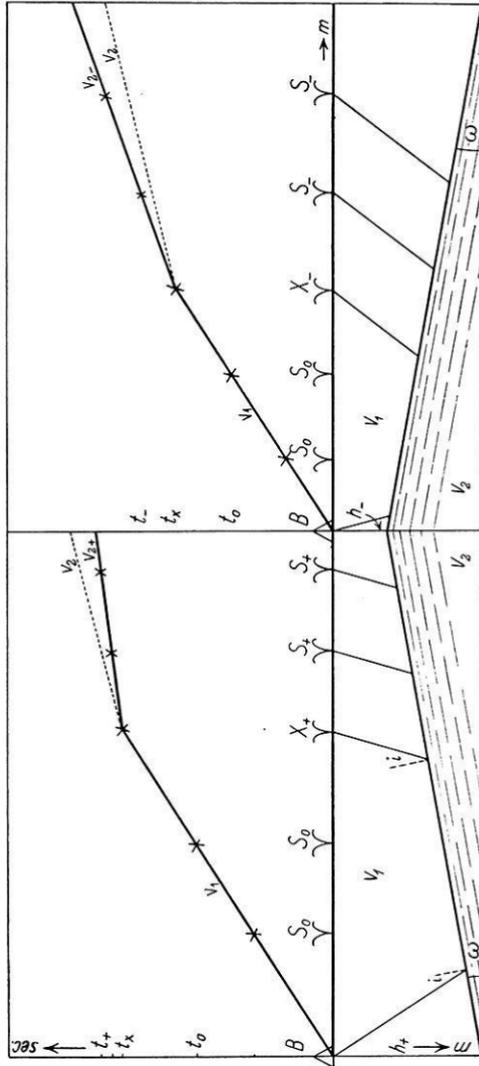
I. Teil: Untersuchungen beim Vorhandensein einer verdeckten Schicht.

A. Analytische Betrachtung. Gegeben seien die Verhältnisse im Untergrund, gesucht werde die dazu gehörige Laufzeitkurve. In Fig. 1 werde die oberste Schicht mit 1 bezeichnet, die zweite Schicht mit 2. Alle Geschwindigkeiten, Winkel usw. tragen die entsprechenden Indizes 1, 2. So sind die entsprechenden Geschwindigkeiten beispielsweise v_1 und v_2 .

Wenden wir uns nun dem Einfallswinkel ω der Schicht 2 zu; darunter sei die Neigung der Schicht 2 gegen die Erdoberfläche verstanden. In Fig. 1 links seien die Entfernungen der Sprengpunkte mit S_+ bezeichnet; je größer hierbei die Entfernung vom Beobachtungspunkt B wird, desto geringer wird auch die Tiefe der Schicht 1. Dieser Fall werde im folgenden stets als „steigendes Schießen“ bezeichnet; alle diesen Fall betreffenden Größen erhalten den Index „+“, so z. B. die Tiefe unter dem Zelte h_+ .

Der umgekehrte Fall ist in Fig. 1 rechts dargestellt: Mit zunehmender Entfernung vom Zelte werden die Tiefen größer, wir haben „fallendes Schießen“; alle Größen tragen den Index „-“, also speziell die Tiefe unter dem Zelte rechts h_- . Hiermit wären alle geologisch-physikalischen Größen gegeben, die Aufgabe der folgenden analytischen Betrachtung besteht darin, für verschiedene Winkel ω und verschiedene Geschwindigkeiten die dazugehörigen Laufzeitkurven zu berechnen.

Der Weg der kürzesten Zeit. Eine Laufzeitkurve erhält man bekanntlich dadurch, daß man die Entfernungen der einzelnen Sprengpunkte als Abszissen, die dazu gehörigen Laufzeiten als Ordinaten einzeichnet. Da es sich



Diese Auffassung, daß der Bebenstrahl den Weg der kürzesten Zeit nimmt, wird nicht von allen Autoren geteilt. Schweydar²⁾ nimmt z. B. auf Grund seiner Untersuchungen und theoretischen Überlegungen ein senkrechtes Einfallen des Bebenstrahls in Schicht 2 an, Reich neigt dagegen im zweiten Teile derselben Arbeit mehr zur oben dargelegten Ansicht.

Gegen die Anschauung von Schweydar sprechen Versuche des Verfassers mit extrem verschiedenen Sprengenergien. Wenn nach Schweydar der senkrechte Einfallswinkel sich aus Gründen der günstigeren Energieübertragung ergibt, so müßte bei großen Energieüberschüssen sich doch eine Annäherung an den Kurzzeitweg bemerkbar machen: die Laufzeiten müßten also kürzer werden. Derartige Einflüsse hat Verfasser auch bei 100facher Überladung der Sprengung nicht beobachten können. Es ist natürlich notwendig, daß die ersten Einsätze auch bei der schwächsten Ladung vollkommen deutlich ausgeprägt sind.

Es erscheint Verfasser dagegen nicht als ausgeschlossen, daß die Seismographen von Schweydar nicht genügend empfindlich für die geringen Sprengstoffmengen waren und demzufolge nur auf die transversalen Einsätze ansprachen. Schweydar findet nämlich als Oberflächengeschwindigkeit in Sperenberg etwa 1000 m/sec. Verfasser hat dagegen 1924 in Sperenberg 1700 m/sec gefunden. Es spricht also die größte Wahrscheinlichkeit dafür, daß 1700 die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen ist, da ja dann der Wert von Schweydar 1000 m/sec überraschend genau mit dem Werte für Transversalwellen des Verfassers = 1010 m/sec übereinstimmen würde. Näheres über Oberflächengeschwindigkeiten siehe Abschnitt „Experimentelle Ergebnisse“.

Die Laufzeit. Die nächste Aufgabe besteht darin, die Zeit t_u zu bestimmen, in der der Strahl längs dem Wege abc über Schicht 2 ankommt (siehe Fig. 5): die Zeit $t_u = \frac{a}{v_1} + \frac{b}{v_2} + \frac{c}{v_1}$. Eine recht langwierige, im Anhang ausgeführte Berechnung [siehe Formel (II) bis (VII)] ergibt:

$$t_+ = \frac{1}{v_1} [h_+ 2 \cos i \cos \omega + S_+ \sin(i - \omega)] \dots \dots \dots (1a)$$

Dieses ist die Grundformel für alle weiteren Berechnungen, und zwar gültig für das steigende Schießen.

Betrachten wir den umgekehrten Fall, daß nämlich Schicht 2 bei größerer Entfernung vom Zelte tiefer wird, also das sogenannte fallende Schießen, so müssen wir die Laufzeit nicht mehr auf h_+ , sondern auf h_- beziehen. Wir erhalten durch eine analoge Berechnung, wie in Formel (1a), die Formel (1b):

$$t_- = \frac{1}{v_1} [h_- 2 \cos i \cos \omega + S_- \sin(i + \omega)] \dots \dots \dots (1b)$$

Die Scheingeschwindigkeiten. Wenden wir uns nun dem wichtigsten Begriff der angewandten Seismik, der Scheingeschwindigkeit, zu. Unter derselben sei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des von unten kommenden Bebens

auf einem Abschnitt der Erdoberfläche verstanden. Wir definieren die Scheingeschwindigkeit bei steigendem Schießen:

$$v_{2+} = \frac{ds}{dt_+} \dots \dots \dots (2a)$$

und bei fallendem:

$$v_{2-} = \frac{ds}{dt_-} \dots \dots \dots (2b)$$

Die Scheingeschwindigkeiten v_{2+} und v_{2-} sind meistens konstante Größen, was sich ja auch aus der Form der Laufzeitkurve als geknickte Gerade ergibt. Es sei betont, daß der Quotient aus Gesamtabstand s durch die Gesamtzeit t nicht die Scheingeschwindigkeit im oben dargelegten Sinne bedeutet. Unter Scheingeschwindigkeit ist vielmehr immer nur die Geschwindigkeit von einem Knickpunkt bis zum nächsten zu verstehen.

Wir können bei steigendem Schießen statt der Formel (2 a) auch schreiben:

$\frac{dt_+}{ds} = \frac{1}{v_{2+}}$. Differenzieren wir also den in Formel (1a) für die Zeit t_u erhaltenen Ausdruck nach ds , so erhalten wir:

$$\frac{dt_+}{ds} = \frac{\sin(i + \omega)}{v_1} \quad \text{oder} \quad v_{2+} = \frac{v_1}{\sin(i - \omega)}$$

Berechnen wir in analoger Weise die Scheingeschwindigkeit für das fallende Schießen, so erhalten wir die analoge Formel: $v_{2-} = \frac{v_1}{\sin(i + \omega)}$. Die beiden äußerst wichtigen Formeln für die Scheingeschwindigkeiten seien nochmals wiederholt:

$$v_{2+} = \frac{v_1}{\sin(i - \omega)} \dots \dots \dots (3a)$$

$$v_{2-} = \frac{v_1}{\sin(i + \omega)} \dots \dots \dots (3b)$$

Diskussion der Scheingeschwindigkeit $v_{2+} = \frac{v_1}{\sin(i - \omega)}$. Be-

trachten wir die Formel (3 a) für das steigende Schießen daraufhin, welche Scheingeschwindigkeiten bei Variation der Größen i und ω sich überhaupt ergeben können. Es zeigen sich folgende, besonders charakteristische Fälle:

1. Der Neigungswinkel ω sei gleich Null, dann ergibt sich $v_{2+} = v_2$; die Scheingeschwindigkeit ist also in diesem Falle gleich der wahren Geschwindigkeit v_2 .
2. Der Neigungswinkel ω sei gleich i (siehe Fig. 2); dann ergibt sich die Scheingeschwindigkeit $v_{2+} = \infty$. Dieser Fall der unendlich großen Scheingeschwindigkeit wirkt beim erstmaligen Antreffen äußerst verblüffend, da die Laufzeit stets gleich bleibt, auch wenn der Sprengpunkt ums Doppelte oder Dreifache weiter entfernt ist.

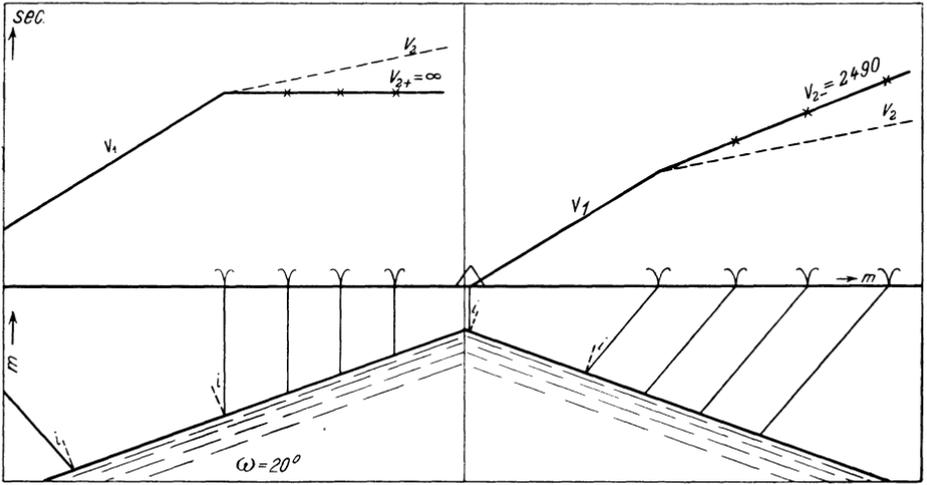


Fig. 2. Scheingeschwindigkeit $v_{2+} = \infty$, da $\omega = i$.
 $\omega = 20^\circ$; $i = 20^\circ$; $v_1 = 1600$ m/sec; $v_2 = 4680$ m/sec. (Das Zelt liegt links außerhalb der Figur.)

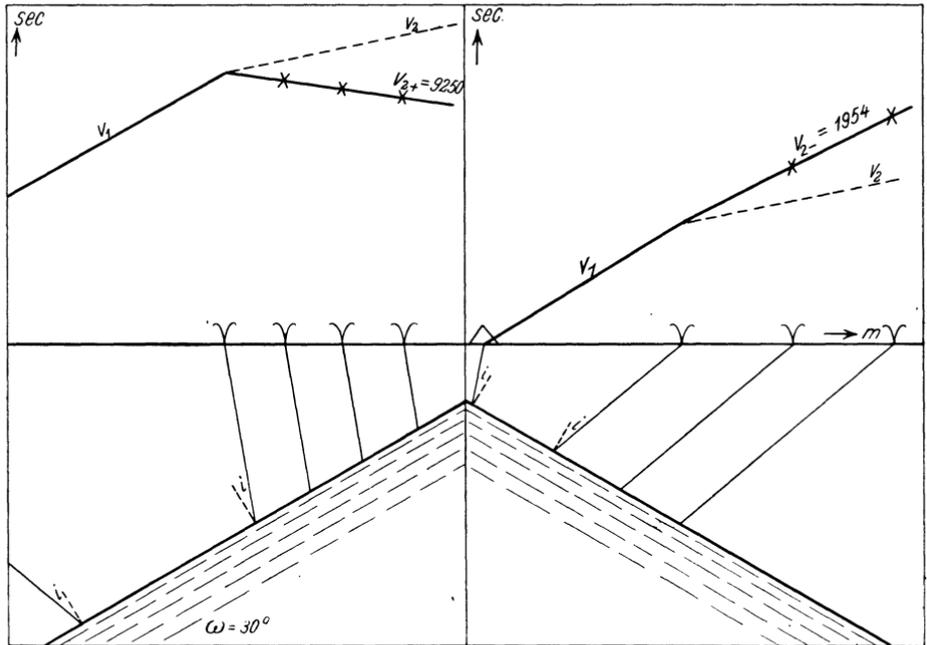


Fig. 3. Scheingeschwindigkeit $v_{2+} = \text{negativ}$, da $\omega > i$.
 $\omega = 30^\circ$; $i = 20^\circ$; $v_1 = 1600$ m/sec; $v_2 = 4680$ m/sec. (Das Zelt liegt links außerhalb der Figur.)

3. Der Neigungswinkel ω sei $> i$ (siehe Fig. 3). In diesem Falle wird die Scheingeschwindigkeit negativ. Die Laufzeit wird also bei größeren Entfernungen kürzer; ein ebenso verblüffendes Resultat wie im Falle 2.
4. Als Grenzfall, der allerdings nicht realisierbar ist, sei angenommen, daß der Neigungswinkel 90° betrage und der Winkel $i = 0$ sei. In diesem Falle würde die Scheingeschwindigkeit $v_{2+} = -v_1$ werden; die Größe stellt also den Grenzwert dar, der nicht überschritten werden kann.

Zusammenfassend können wir sagen: Die Scheingeschwindigkeit v_{2+} bei steigendem Schießen kann also variieren von v_2 über $\pm \infty$ bis zum Grenzwert

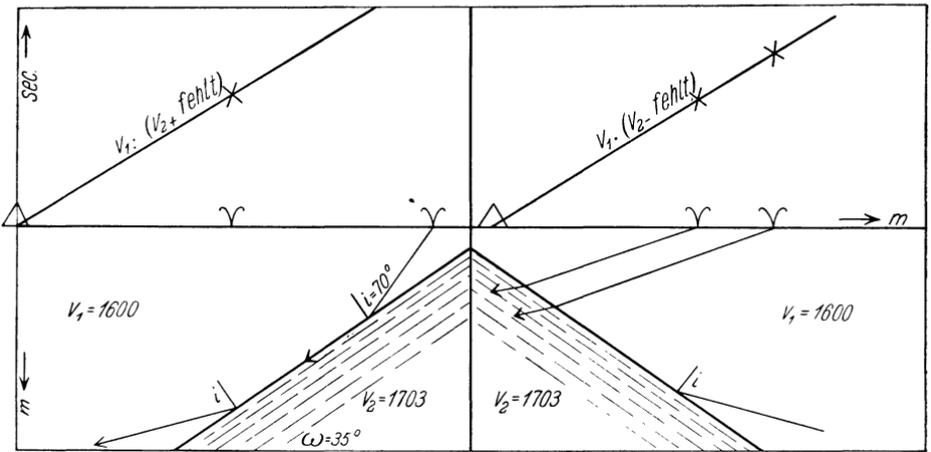


Fig. 4. Schicht 2 unerreichbar, da $\omega = i \geq 90^\circ$.
 $\omega = 35^\circ$; $i = 70^\circ$; $v_1 = 1600$ m/sec; $v_2 = 1703$ m/sec;
 v_{2+} und v_{2-} sind nicht darstellbar.

$-v_1$; letzterer Wert kann nie ganz erreicht, geschweige denn überschritten werden.

Diskussion der Scheingeschwindigkeit $v_{2-} = \frac{v_1}{\sin(i + \omega)}$ (Fig. 4).

Die Formel für die Scheingeschwindigkeit v_{2-} hat nur so lange Gültigkeit, als $(i + \omega) < 90^\circ$ ist. Mit wachsendem $(i + \omega)$ nähert sich der von der Sprengstelle ausgehende Strahl immer mehr einer Parallelen zur Erdoberfläche. Bei $(i + \omega) = 90^\circ$ müßte der ausgehende Strahl parallel zur Erdoberfläche laufen, was bei endlichen Schlußentfernungen unmöglich ist. Die Schicht 2 wird also bei $(i + \omega) \geq 90^\circ$ überhaupt nicht „gefaßt“, man erhält nur Werte für v_1 .

Zusammenfassend ergibt sich, daß v_{2-} variieren kann von $\frac{v_1}{\sin i}$ bis v_1 .

Hiermit sind die hauptsächlichsten Fälle für die analytische Betrachtung bei einer Schicht erschöpft. In nachstehendem Anhang ist die Ableitung für die Laufzeit t_u gegeben: sie ist ohne prinzipielles Interesse und ist für die Lektüre der folgenden Kapitel ohne Belang.

Anhang. Berechnung der Laufzeit t_u .

Gegeben sei: 1. Der Winkel der Totalreflexion i , wobei die Beziehung gelten soll $\sin i = \frac{v_1}{v_2}$.

2. Der Winkel des Einfallens der zweiten Schicht ω , also in Fig. 5 der Winkel zwischen b und der Oberfläche s .

Gesucht werde: Die Laufzeit t_u vom Sprengpunkt A bis zum Beobachtungspunkt B auf dem Wege über a, b, c .

Es sei ferner h_+ die Tiefe der Schicht unter dem Beobachtungspunkt, h_- unter dem Schußpunkt. Die Beziehung zwischen beiden Tiefen ergibt Formel (I).

$$h_- = h_+ - s \operatorname{tg} \omega \dots \dots \dots (I)$$

Man beachte, daß „bergauf“ h_+ konstant ist, „bergab“ h_- !

Die gesuchte Laufzeit t_u ergibt sich aus der Summe der Wege durch die entsprechenden Geschwindigkeiten:

$$t_u = \frac{a}{v_1} + \frac{b}{v_2} + \frac{c}{v_1} = \frac{a}{v_1} + \frac{b \sin i}{v_1} + \frac{c}{v_1} \dots \dots \dots (II)$$

$$a = \frac{\sin(90 + \omega) h_-}{\sin(90 - i)} = \frac{h_+ \cos \omega - s \sin \omega}{\cos i} \dots \dots \dots (III)$$

$$c = \frac{\sin(90 - \omega) h_+}{\sin(90 - i)} = \frac{h_+ \cos \omega}{\cos i} \dots \dots \dots (IV)$$

Zur Ermittlung von b seien die beiden in Fig. 5 punktiert gezeichneten Hilfslinien herangezogen $c' \parallel a$; $g \parallel b$; $g = b + e + d$; der g gegenüberliegende Winkel ist: $i - \omega + i + \omega + 90 - (i + \omega) = 90 + (i - \omega)$;

$$g = \frac{\sin[90 + (i - \omega)]s}{\sin(90 - i)} = \frac{\cos(i - \omega)s}{\cos i}; \quad d + e = 2c \sin i = \frac{2h_+ \cos \omega \sin i}{\cos i}.$$

$$b = g - (d + e) = \frac{s \cos(i - \omega)}{\cos i} - \frac{2h_+ \cos \omega \sin i}{\cos i} \dots \dots \dots (V)$$

Die gefundenen Größen für a, b, c in (II) eingesetzt ergeben:

$$t_+ = \frac{1}{v_1} \left[\frac{h_+ \cos \omega - s \sin \omega}{\cos i} + \frac{s \cos(i - \omega) \sin i}{\cos i} - \frac{2h_+ \cos \omega \sin^2 i}{\cos i} + \frac{h_+ \cos \omega}{\cos i} \right], \quad (VI)$$

$$t_+ = \frac{1}{v_1 \cos i} [2h_+ \cos \omega (1 - \sin^2 i) - s \sin \omega (1 - \sin^2 i) + s \cos i \cos \omega \sin i],$$

$$t_+ = \frac{1}{v_1} [2h_+ \cos \omega \cos i - s \sin \omega \cos i + s \cos \omega \sin i],$$

$$t_+ = \frac{1}{v_1} [2h_+ \cos \omega \cos i + s \sin(i - \omega)] \quad (\text{N.B. gültig für „bergaufschießen“}) \quad (VII)$$

Wird in umgekehrter Richtung geschossen, also „bergab“, so ist der Beobachtungspunkt über h_- , die variablen Sprengpunkte über h_+ ; setzt man in (VII) für h_+ die nach (I) bekannte Größe für h_- ein, so erhält man (nach entsprechender Umformung):

$$t'_- = \frac{1}{v_1} [2h_- \cos \omega \cos i + s' \sin(i + \omega)] \text{ (gültig für „bergab“) (VII a)}$$

B. Synthetische Betrachtung. Wenden wir uns nun der umgekehrten Betrachtungsweise zu, wie sie in der Praxis hauptsächlich von Interesse ist, daß nämlich nicht die Untergrundverhältnisse, sondern die Laufzeitkurven gegeben sind. Es sollen also die Tiefen und Winkel aus den gegebenen Laufzeitkurven berechnet werden.

Aus den beiden Gleichungen (3 a), (3 b) erhält man die beiden gesuchten Winkel i und ω folgendermaßen:

$$\sin(i - \omega) = \frac{v_1}{v_{2+}} \text{ (4 a)}$$

$$\sin(i + \omega) = \frac{v_1}{v_{2-}} \text{ (4 b)}$$

Durch Nachschlagen in den trigonometrischen Tafeln erhält man die Werte für $(i - \omega)$ und $(i + \omega)$; hieraus ergeben sich die Größen i und ω . Die wahre Geschwindigkeit v_2 ergibt sich aus dem Brechungsgesetz

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin i} \text{ (5)}$$

Entgegen einem verbreiteten Irrtum sei betont, daß die wahre Geschwindigkeit ebenso wie die wahre Zeit nicht durch Mitteln der Werte v_{2+} und v_{2-} bzw. t_+ und t_- gewonnen werden kann. Es müssen hierzu stets die Formeln (4) und (5) benutzt werden.

Es bleibt nur noch die Berechnung der Tiefen von Schicht 2 übrig (siehe Fig. 1). Der erste Ast der Laufzeitkurve gibt bekanntlich die Laufzeiten t_0 längs der Oberfläche an; der zweite Ast ergibt die Laufzeiten t_u , die über Schicht 2 gelaufen sind. Der Schnittpunkt beider Geraden gibt die Entfernung an, bei der die Laufzeit längs der Oberfläche gleich ist der Laufzeit über Schicht 2. Die Koordinaten des Knickpunktes seien x_+ und t_x ; wir können im Falle des Knickpunktes in Formel (1 a) für die Zeit t_x auch setzen: $t_x = \frac{x_+}{v_1}$. Dann erhalten wir

$$\frac{x_+}{v_1} = \frac{1}{v_1} [h_+ \cdot 2 \cos \omega \cos i + x_+ \sin(i - \omega)];$$

daraus läßt sich h_+ bestimmen,

$$h_+ = x_+ \frac{1 - \sin(i - \omega)}{2 \cos i \cos \omega} \text{ (Tiefe unter dem Zelte bei steigendem Schießen). (6 a)}$$

Analog ergibt Formel (1 b):

$$h_- = x_- \frac{1 - \sin(i + \omega)}{2 \cos i \cos \omega} \quad (\text{Tiefe unter dem Zelte bei fallendem Schießen}). \quad (6b)$$

Wenn Schicht 2 horizontal ist, also $\omega = 0$, so ergibt sich

$$h = x \frac{1 - \sin i}{2 \cos i} \quad \text{oder umgeformt} \quad h = \frac{x_1}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \dots \dots (7)$$

Dies ist die Formel für die Tiefe bei horizontal gelagerter Schicht 2, wie sie bei anderen Autoren angeführt wird; sie ist hier ein Spezialfall von Formel (6).

Beispiel einer Berechnung von i, ω, v_2, h . Gegeben seien die beiden Laufzeitkurven mit nachstehenden Werten (siehe Fig. 1, die eine winkelgetreue Darstellung des Zahlenbeispiels ist).

Für steigendes Schießen:

$$\begin{aligned} v_1 &= 1600 \text{ m/sec,} \\ v_{2+} &= 6190 \quad \text{„} \\ x_+ &= 215 \text{ m.} \end{aligned}$$

Für fallendes Schießen:

$$\begin{aligned} v_1 &= 1600 \text{ m/sec,} \\ v_{2-} &= 2790 \quad \text{„} \\ x_- &= 155 \text{ m.} \end{aligned}$$

Berechnung von i und ω :

$$\sin(i - \omega) = \frac{1600}{6190} = 0.2587 = \sin 15^\circ; \quad (i - \omega) = 15^\circ$$

$$i = 25^\circ, \quad \omega = 10^\circ.$$

$$\sin(i + \omega) = \frac{1600}{2790} = 0.574 = \sin 35^\circ; \quad (i + \omega) = 35^\circ$$

Berechnung von v_2 :

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin i} = \frac{1600}{0.4226} = 3790 \text{ m/sec.}$$

Berechnung von h_+ :

$$h_+ = x_+ \frac{1 - \sin(i - \omega)}{2 \cos i \cos \omega} = 215 \frac{1 - 0.2587}{2 \cdot 0.906 \cdot 0.985} = 89.2 \text{ m.}$$

Zum Schluß des vorliegenden Abschnittes eine Zusammenstellung der wichtigsten Typen von Laufzeitkurven mit den dazugehörigen Untergrundverhältnissen:

Steigend:

wenn $v_{2+} = v_{2-}$, so ist $\omega = 0$,
 „ $v_{2+} > v_{2-}$, „ „ $\omega < i$,
 „ $v_{2+} = \infty$, „ „ $\omega = i$,
 „ v_{2+} negativ, „ „ $\omega > i$,
 „ $v_{2+} \approx -v_1$, „ „ $\omega \approx 90^\circ$,
 „ v_{2+} nicht darstellbar, „ „ $\omega \approx 90 - i$,

Fallend:

wenn $v_{2-} = v_{2+}$, so ist $\omega = 0$,
 „ $v_{2-} < v_{2+}$, „ „ $\omega < i$,
 „ $v_{2-} \approx v_1$, „ „ $\omega \approx 90^\circ$,
 „ v_{2-} nicht darstellbar, „ „ $\omega > 90 - i$,
 „ v_{2-} ohne v_1 , „ „ Stand auf Ausstrich $\omega + i < 90^\circ$,
 „ v_1 „ v_2 , „ „ Stand auf Ausstrich $\omega + i \geq 90^\circ$.

Beschreibung der Apparatur. Es wurden in der Lüneburger Heide auf den Salzstöcken bei Wietze und Meißendorf etwa 20 Linien von 1000 bis 2000 m Länge abgeschossen. Bevor die Resultate angeführt werden, sei eine kurze Beschreibung der angewandten Apparatur gegeben.

Der Vertikalseismograph hatte eine Eigenschwingungsdauer von 0.211 sec, eine 20 000 fache Vergrößerung und variable Öldämpfung.

Um eine möglichst genaue Zeitmessung zu haben, wurden die Zeitmarken auf zwei vollkommen unabhängige Arten hervorgerufen. Erstens unterbrach eine elektromagnetische Stimmgabel, die durch eine zweite gleichartige Stimmgabel angeregt wurde, einen elektrischen Primärkreis 100 mal in der Sekunde. Dieser Strom wurde herauftransformiert und gab dann äußerst feine und scharfe Durchschläge durchs Papier. Zweitens wurden die ganzen Sekunden durch einen eigens konstruierten Chronographen kontrolliert, der die absolute Sekundendauer mit einer Genauigkeit von 10^{-4} sec registrierte. Hierdurch war es möglich, Zeitunterschiede von einer zehntausendstel Sekunde festzulegen und bei 25 cm/sec Papiergeschwindigkeit für tausendstel Sekunden zu garantieren.

Auf die Übertragung des Sprengmomentes wurde besonders große Sorgfalt verwandt; sie geschah bei vorliegenden Versuchen elektromagnetisch durch Drahtübertragung. Vorversuche hatten ergeben, daß bei unsachgemäßer Anlage die Verzögerung infolge Selbstinduktion und remanenten Magnetismus bis zu 0.5 sec anwachsen konnte. Die Verzögerungszeit blieb dabei nicht konstant, sondern variierte um ± 0.1 sec, je nach angelegter Spannung und Elastizität der Relaisfeder.

Andererseits ist es möglich, die Fehler bei der elektrischen Übertragung auf 0.0001 sec herabzusetzen, so daß auch hier für die tausendstel Sekunden garantiert werden kann. Dieses wurde erreicht durch geringe Selbstinduktion im Stromkreise und Benutzung von speziellem Material mit allergeringstem Temperaturkoeffizienten. Bei Kontrollsprengungen direkt neben dem Seismographen stimmte der Sprengmoment bis auf 0.001 sec mit dem Bebenersatz überein. Beschreibung weiter vervollkommener Apparaturen siehe III. Teil.

Werte für die Oberflächengeschwindigkeit. Im allgemeinen lagen die Punkte mit einer der Apparatur entsprechenden Genauigkeit auf einer Geraden der Laufzeitkurve. Größere Abweichungen kamen merkwürdigerweise immer nur bei der Oberflächengeschwindigkeit vor, dagegen so gut wie gar nicht bei den v_2 -Werten. Da nur Seismogramme verwandt wurden, die Einsätze von mindestens 0.5 mm hatten und frei von Bodenunruhe waren, so sind diese Abweichungen sicher nicht durch Ablesefehler zu erklären, sondern müssen tiefer liegende Ursachen haben.

Als Beispiel einer besonders genauen Übereinstimmung der Oberflächengeschwindigkeit sei Linie 4 (Sperenberg) angeführt, alle Punkte bis 400 m liegen haarscharf auf einer Geraden. In Tabelle 1 sind die Geschwindigkeiten für die einzelnen Entfernungen von 10 bis 400 m zusammengestellt. Man sieht, daß der maximale Fehler nur um 1.7 Proz. von der mittleren Geschwindigkeit von 1752 m/sec abweicht.

Tabelle 1. Die Oberflächengeschwindigkeit für Linie 4 (Sperenberg).

S m	t 10^{-2} sec	v_1 m/sec	
10	0.6	1668?	} 1752 maximaler Fehler + 1.7 Proz.; - 1.2 Proz.
20	1.1	1820?	
40	2.3	1738	
100	5.6	1784	
150	8.6	1745	
200	11.5	1740	
250	14.0	1785	
305	17.5	1742	
400	23.1	1731	

Nachstehend weitere Werte von anderen Schußlinien in Sperenberg:

Tabelle 2.
Linie 1 (Sperenberg).

S m	v_1 m/sec	
20	} 1838 Durchschnitt	
50		
100		
150		
150		

Tabelle 3.
Linie 2 (Sperenberg).

S m	v_1 m/sec	
50	} 1670 Durchschnitt	
150		
200		
300		
300		

In der Lüneburger Heide wurden 12 Linien abgeschossen, bei denen die Entfernung x von 150 bis 530 m variierte, je nach Tiefe und Neigungswinkel der Schicht 2.

Tabelle 4. v_1 in der Lüneburger Heide.

v_1 m/sec	Anzahl der Punkte	v_1 m/sec	Anzahl der Punkte
1. 1800	4	6. 1500	1
2. 1700	2	7. 1470	5
3. 1600	10	8. 1460	1
4. 1550	2	9. 1350	2
5. 1520	2	10. 1290	3

Das arithmetische Mittel aller 32 Punkte ergibt 1550 m/sec; der wahrscheinlichste Wert ist dagegen 1600 m/sec.

Diese Geschwindigkeit von 1600 m/sec entspricht ohne Frage dem obersten Diluvium der Lüneburger Heide, welches dort eine Tiefe von 60 bis 90 m hat. Es wäre allerdings möglich, daß diese verhältnismäßig große Geschwindigkeit mit dem Grundwasser zusammenhängt, worauf Reich³⁾ hinweist. Die Gegensätze in den gemessenen Werten von v_1 bei Schweydar-Reich und Verfasser scheinen dadurch aber noch nicht geklärt, da Messungen im selben Gebiet von Sperenberg auch dieselben Oberflächengeschwindigkeiten hätten ergeben müssen.

Literatur.

1) Hubert: Zeitschr. f. Geophys. 1924/25, S. 141; Wiechert: Geol. Rundschau 1926, S. 339; Gutenberg: Lehrb. d. Geophys. 1926, S. 595; Schweydar und Reich: Gerl. Beiträge 1927, S. 121; Angenheister: Zeitschr. f. Geophys.

2) l. c.

3) Reich: Vortrag in d. Preuß. Geol. Landesanstalt 1927, Sitzungsberichte S. 157.