

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_0075

LOG Titel: Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen. XXVI. u. XXVII. Seismische Bestimmung der Lage einer geneigten ebenen Grenzschicht aus Laufzeiten und Amplituden

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

Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen

XXVI. u. XXVII. Seismische Bestimmung der Lage einer geneigten ebenen Grenzschicht aus Laufzeiten und Amplituden *)

Von M. Kamel und F. Faltas, Göttingen. — (Mit 8 Abbildungen)

Einleitung

Zur Bestimmung der Einfallrichtung und der Neigung einer ebenen Grenzfläche bei sprengseismischen Untersuchungen wurden bisher meistens nur Laufzeiten verwendet. Bei Registrierung der Bodenbewegung in drei Komponenten ist es jedoch möglich, die Richtung des auftauchenden reflektierten und gebrochenen Strahles zu bestimmen und zur Ermittlung der Lage der Grenzfläche zu verwenden**). Eine spezielle Methode hierzu wurde kürzlich von R. Bungers***) angegeben, aber noch nicht auf Sprengversuche angewandt. In der vorliegenden Arbeit soll die Frage nach der Bestimmung der Streichrichtung und des Einfallens einer ebenen Grenzschicht aus Amplitudenbeobachtungen von allgemeinerem Gesichtspunkt aus betrachtet und auf Sprengversuche des Göttinger Geophysikalischen Instituts angewandt werden. Das Problem kann durch Rechnung oder durch zeichnerische Konstruktion gelöst werden. Die rechnerische Bearbeitung des 2- und 3-Schichten-Problems (mit horizontaler Deckschicht) hat M. Kamel durchgeführt. F. Faltas gibt eine zeichnerische Methode für das 2-Schichten-Problem an.

I. Rechnerische Bestimmung

der Neigung und Einfallrichtung einer ebenen Grenzfläche aus der Richtung des auftauchenden, durch die untere Schicht gelaufenen Strahls

a) *2-Schichten-Problem*. Ist die Grenzfläche geneigt und liegt das Schußprofil nicht in der Einfallrichtung, so weicht die Horizontalprojektion des Strahles, wie schon R. Bungers bemerkt †), von der Profilrichtung ab. Der Winkel zwischen

*) Auszug aus zwei Dissertationen, erschienen in Neue Deutsche Forschung 1936, Berlin, Junker u. Dünnhaupt. XXVI. M. Kamel: Seismische Bestimmung des Einfallens und Streichens aus Amplituden. XXVII. F. Faltas: Konstruktive Ermittlung geneigter Schichten aus Laufzeitkurven und Azimutabweichungen.

***) Siehe hierzu H. K. Müller: Zeitschr. f. Geophys. 1935, S. 111.

***) Bestimmung von Schichtneigungen aus dem Emergenzstrahl bei Sprengungen. Zeitschr. f. Geophys. 11, 326—328 (1935).

†) Zeitschr. f. Geophys. 11, 326 (1935).

der Horizontalprojektion des Strahles und dem Profil sei als Azimutabweichung (a) bezeichnet (positiv nach links, gesehen vom Sprengpunkt zum Beobachtungsort). Das Azimut (A) des Profils wird positiv gezählt entgegen dem Uhrzeiger (von oben gesehen) von der Richtung der Schnittlinie der geneigten Grenzfläche mit der Oberfläche (Streichrichtung) zur Richtung des Profils (Schußpunkt—Zelt). Die Nullrichtung wird so festgesetzt, daß, wenn man ihr entgegenseht, die Schnittlinie der Grenzfläche mit der Oberfläche links liegt. Positives Azimut (zwischen 0 und 180°) entspricht fallendem Schießen (die Grenzfläche fällt vom Schußpunkt zum Zelt), negatives Azimut (zwischen 0 und — 180°) steigendem Schießen (die Grenzfläche steigt vom Schußpunkt zum Zelt). Der Winkel zwischen der Vertikalenebene durch das Profil und der Einfallsebene (die die Sprengbasis enthält und auf der geneigten Grenzfläche senkrecht steht) wird Basisabweichung* (b) genannt. b ist positiv, wenn a positiv ist und umgekehrt. ω ist die Neigung der Grenzschicht,

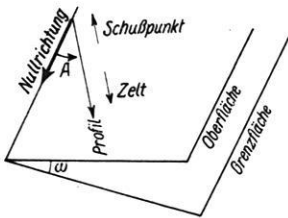


Fig. 1.
Definition des Azimuts



Fig. 2.
Der auftauchende Strahl und seine Komponenten. Einfallsebene schraffiert
 a = Azimutabweichung; e = Emergenzwinkel;
 b = Basisabweichung; i' = Inzidenzwinkel, gemessen in der Einfallsebene

ω' die scheinbare Neigung (in der Einfallsebene gemessen)**), i_2 der Grenzwinkel der Totalreflexion an der Grenzfläche ($\sin i_2 = v_1/v_2$; $v_{1,2}$ = Geschwindigkeit in der oberen und unteren Schicht). a und b sind mit dem Emergenzwinkel e durch die Beziehung

$$\sin a = \operatorname{tg} b \operatorname{tg} e$$

verknüpft. Sind H_{\parallel} und H_{\perp} die horizontalen Bodenverrückungen in der Schußrichtung und senkrecht dazu, sowie Z die vertikale Bodenverrückung, so ist

$$\operatorname{tg} a = \frac{H_{\perp}}{H_{\parallel}}, \quad \operatorname{tg} e = \frac{Z}{\sqrt{H_{\perp}^2 + H_{\parallel}^2}}, \quad \operatorname{tg} b = \frac{H_{\perp}}{Z}$$

(H_{\parallel} positiv in der Richtung vom Schußpunkt weg; H_{\perp} positiv nach links, vom Schußpunkt zum Zelt gesehen; Z positiv nach oben).

Der Reflexionsvorgang an der Erdoberfläche ist theoretisch zu berücksichtigen, doch macht er wenig aus.

*) Nach R. Bungers.

**) Die von R. Bungers eingeführte „scheinbare Neigung“ ist nicht dasselbe.

Nimmt man für den Strahlverlauf die Gültigkeit des Fermatschen Prinzips an, so ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} \cos \omega &= \cos \omega' \cdot \cos b \dots\dots\dots [\alpha] \\ \sin \omega' &= \sin A \cdot \sin \omega \dots\dots\dots [\bar{\alpha}] \\ \operatorname{tg} b &= \cos A \cdot \operatorname{tg} \omega \dots\dots\dots [\beta] \\ \sin e &= \cos \omega \left(\cos i_2 - \frac{\sin A \sin \omega \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 A \sin^2 \omega}} \right) \dots\dots\dots [\gamma] \\ \sin a &= \frac{\cos A \sin \omega \left(\cos i_2 - \frac{\sin A \sin \omega \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 A \sin^2 \omega}} \right)}{\sqrt{1 - \cos^2 \omega \left(\cos i_2 - \frac{\sin A \sin \omega \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 A \sin^2 \omega}} \right)^2}} \dots\dots\dots [\delta] \end{aligned}$$

Die Formeln $[\bar{\alpha}]$ bis $[\delta]$ lassen sich wesentlich vereinfachen, wenn die Neigung ω so klein ist, daß man $\cos \omega = 1$ und $\sin \omega = \omega$ setzen kann und ω^2 gegenüber 1 vernachlässigt werden darf. Dann ergibt sich:

$$\begin{aligned} \omega' &= \omega \cdot \sin A \dots\dots\dots [\bar{\alpha}'] \\ b &= \omega \cdot \cos A \dots\dots\dots [\beta'] \\ \sin e &= \cos i_2 - \omega \sin A \sin i_2 \dots\dots\dots [\alpha'] \\ a &= \omega \cos A \operatorname{tg} i_2 - 2 \omega^2 \cos A \sin A \dots\dots\dots [\delta'] \end{aligned}$$

$[\alpha]$ dient zur Bestimmung der Neigung ω , wenn die scheinbare Neigung ω' bekannt und die Basisabweichung b gemessen ist. ω' läßt sich durch Schießen eines Profils in beiden Richtungen aus Laufzeiten oder aus Amplituden*) bestimmen. Nach Berechnung von ω ergibt sich das Azimut A aus Formel $[\bar{\alpha}]$.

$[\beta]$ ist die Lösung von R. Bungers. Aus ihr läßt sich A und ω bestimmen, wenn man b in zwei Profilen mißt, die einen bekannten Winkel einschließen. Dieser Winkel ist beliebig, nur darf er nicht 180° betragen (Schießen eines Profils in beiden Richtungen). Am einfachsten wird es, wenn beide Profile senkrecht aufeinander stehen.

$[\gamma]$ und $[\delta]$ geben die entsprechenden Formeln bei Verwendung des Emergenzwinkels e und der Azimutabweichung a für zwei Profile, die einen bekannten Winkel bilden. i_2 läßt sich durch Schießen eines Profils in beiden Richtungen*) bestimmen. Da bei $[\gamma]$ und $[\delta]$ der Winkel zwischen den Profilen ganz beliebig ist (er darf auch 180° sein), genügt es hier, ein Profil in beiden Richtungen abzuschießen.

Auch andere Kombinationen sind denkbar. Man muß nur darauf achten, daß man zwei Beobachtungen zur Verfügung hat, um die beiden Unbekannten ω und A zu bestimmen. Am einfachsten jedoch ist das Abschießen eines Profils in beiden Richtungen unter Verwendung von $[\alpha]$ und $[\bar{\alpha}]$ oder das Abschießen von

*) Siehe weiter unten.

zwei Profilen nach Bungers, wobei die Formel $[\beta]$ verwendet wird. Im Abschnitt III sollen daher nur diese beiden Fälle besprochen werden.

Liegt das Schußprofil in der Einfallrichtung ($A = \pm 90^\circ$), so ergibt sich speziell:

$$a = b = 0,$$

$$\sin e = \cos(i_2 \pm \omega) = \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2} \cos \omega \mp v_1 \sin \omega}{v_2},$$

für das Schußprofil senkrecht zur Einfallrichtung ($A = 0$ oder 180°):

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} a &= \pm \operatorname{cotg} i_2 \sin \omega = \pm \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1} \cdot \sin \omega, \\ \sin e &= \cos i_2 \cdot \cos \omega = \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_2} \cdot \cos \omega, \\ b &= \pm \omega. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{oberes Vorzeichen} \\ \text{für } A = 0^\circ, \\ \text{unteres Vorzeichen} \\ \text{für } A = 180^\circ. \end{array}$$

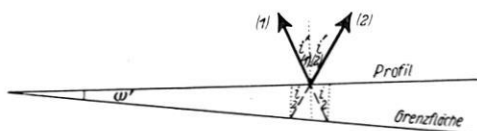


Fig. 3. Einfallsebene.

ω' = scheinbare Neigung, gemessen in der Einfallsebene

Die Bestimmung von ω' und i_2 aus Amplitudenbeobachtungen für ein in beiden Richtungen geschossenes Profil geschieht folgendermaßen:

Ist i' der Inzidenzwinkel an der Oberfläche, gemessen in der Einfallsebene, so wird

$$\operatorname{tg} i' = \frac{H_{\parallel}}{\sqrt{Z^2 + H_{\perp}^2}}.$$

Führt man das für beide Schußrichtungen aus ($i'_{(1)}$ und $i'_{(2)}$), so ergibt sich nach Fig. 3, wenn $i'_{(2)} > i'_{(1)}$ angenommen wird:

$$\omega' = \frac{i'_{(2)} - i'_{(1)}}{2} \quad \text{und} \quad i_2 = \frac{i'_{(1)} + i'_{(2)}}{2}.$$

b) 3-Schichten-Problem. Bei sprengseismischen Untersuchungen kommt es häufig vor, daß durch eine dünne horizontale Deckschicht mit kleiner Geschwindigkeit v_0 (z. B. Verwitterungsschicht) die Emergenzwinkel stark vergrößert werden*). Hierdurch wird die Basisabweichung verkleinert. Um den Einfluß einer solchen Deckschicht auf Bestimmung der Schichtneigung aus Amplitudenbeobachtungen

*) Vgl. O. v. Schmidt: Zeitschr. f. Geophys. 8, 376—396 (1932).

zu untersuchen, soll im folgenden die Theorie des 3-Schichten-Problems (mit horizontaler Deckschicht) behandelt werden*).

Eine einfache Behandlung gestattet dieses Problem nur dann, wenn das Schußprofil in der Einfallrichtung oder senkrecht dazu liegt. Hierfür ergeben sich folgende Beziehungen ($v_0/v_1 = \lambda$):

1. Schußprofil in der der Einfallrichtung ($A = \pm 90^\circ$):

$$a = b = 0,$$

$$\cos e = \lambda \sin(i_2 \pm \omega) = \frac{v_0(v_1 \cdot \cos \omega \pm \sqrt{v_2^2 - v_1^2} \cdot \sin \omega)}{v_1 v_2}.$$

2. Schußprofil senkrecht zur Einfallrichtung ($A = 0$ oder 180°):

$$\operatorname{tg} a = \pm \operatorname{ctg} i_2 \cdot \sin \omega = \pm \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1^2} \cdot \sin \omega,$$

$$\cos e = \lambda \sqrt{1 - \cos^2 i_2 \cos^2 \omega} = \frac{v_0 \sqrt{v_2^2 \sin^2 \omega + v_1^2 \cos^2 \omega}}{v_1 v_2},$$

$$\sin b = \pm \frac{\lambda \cos i_2}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 i_2}} \sin \omega = \pm \frac{v_0 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1 \sqrt{v_2^2 - v_0^2}} \cdot \sin \omega.$$

c) *Folgerungen für die praktische Durchführung von Sprengversuchen.* Die praktische Bestimmung von Schichtneigungen aus Amplitudenbeobachtungen erfolgt nach G. Angenheister am einfachsten in folgender Weise: Stellt man die Seismographen auf einen Kreis um den Schlußpunkt auf, so ergibt sich die Richtung des Einfallens daraus, daß bei dem Beobachtungsort, der vom Schlußpunkt gesehen in die-er oder in entgegengesetzter Richtung liegt, keine Azimutabweichung oder Basisabweichung auftritt. Man sucht also den Punkt des Kreises, bei welchem $H_\perp = 0$ ist. Dieser gibt die Einfallrichtung an. Durch Beobachtung von b in einem Punkt in der Richtung senkrecht zum Einfallen erhält man dann $\omega = \pm b$. Dieses Verfahren läßt sich verallgemeinern, indem man in dem Punkt senkrecht zur Einfallrichtung a oder e beobachtet (statt b) oder indem man in einem Punkt in der Einfallrichtung e bestimmt. Es ergeben sich dann folgende Beziehungen zur Berechnung von ω :

A. Beobachtungsort in der Einfallrichtung (oder entgegengesetzt), Messung von e :

a) bei 2 Schichten:

$$\sin \omega = \pm \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2} \cdot \cos e - v_1 \cdot \sin e}{v_2},$$

$$\cos \omega = \frac{v_1 \cos e + \sqrt{v_2^2 - v_1^2} \cdot \sin e}{v_2};$$

*) O. v. Schmidt: Theorie der 3-Schichten-Seismik, Zeitschr. f. Geophys. 7, 37—56 (1931), behandelt das allgemeinere 3-Schichten-Problem mit geneigten Grenzflächen gleicher Einfallrichtung, aber nur hinsichtlich der Laufzeiten.

b) bei 3 Schichten: durch Auflösung von

$$\cos e = \frac{v_0 \cdot (v_2 \cos \omega \pm \sqrt{v_2^2 - v_1^2} \cdot \sin \omega)}{v_1 v_2}$$

nach ω .

B. Schußprofil senkrecht zur Einfallsrichtung:

1. Messung von b :

a) bei 2 Schichten: $\omega = \pm b$,

b) „ 3 „ $\sin \omega = \pm \frac{v_1 \sqrt{v_2^2 - v_0^2}}{v_0 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \cdot \sin b$.

2. Messung von e :

a) bei 2 Schichten: $\cos \omega = \frac{v_2}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \cdot \sin e$,

b) „ 3 „
$$\begin{cases} \cos \omega = \frac{v_2}{v_0 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \sqrt{v_0^2 - v_1^2} \cos^2 e, \\ \sin \omega = \pm \frac{v_1}{v_0 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \sqrt{v_2^2 \cos^2 e - v_0^2}, \end{cases}$$

3. Messung von a :

bei 2 und 3 Schichten: $\sin \omega = \pm \frac{v_1}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \operatorname{tg} a$.

Hierbei ist das Vorzeichen (oberes oder unteres) so zu wählen, daß ω positiv und $< 90^\circ$ wird. Verwendet man das obere Vorzeichen, so fällt bei A die untere Grenzschicht vom Schußpunkt zum Beobachtungsort, bei B nach links, wenn man vom Schußpunkt zum Zelt sieht.

Bei zwei Schichten kommt man ohne Kenntnis der Geschwindigkeiten bzw. des Winkels i_2 aus, wenn man (nach G. Angenheister) beim Schießen senkrecht zur Einfallsrichtung die Basisabweichung benutzt (B 1 a). Es ist also in diesem Falle mindestens die H_{\perp} - und die Z-Komponente zu beobachten. Bei drei Schichten muß man das Verhältnis der Geschwindigkeiten v_1 und v_2 (in der mittleren und der unteren Schicht) oder i_2 kennen, wenn man beim Schießen senkrecht zur Einfallsrichtung die Azimutabweichung verwendet (B 3), also mindestens die beiden H-Komponenten beobachtet. In den übrigen Fällen müssen sämtliche Geschwindigkeitsverhältnisse bekannt sein. Man erhält sie, wenn nötig, durch zweifaches Schießen irgendeines Profils in beiden Richtungen aus den Laufzeitkurven. Oft kann man jedoch die Geschwindigkeiten als bekannt voraussetzen (z. B. wenn man die geologische Schichtenfolge kennt und es nur auf die Bestimmung der Lage der Grenzfläche ankommt).

II. Konstruktive Ermittlung einer geneigten Schicht aus Laufzeitkurven und Azimutabweichungen

Aus den Laufzeitkurven eines in beiden Richtungen abgeschossenen Profils ergeben sich nach bekannten Methoden*) bei ebener geneigter Grenzfläche die scheinbaren Emergenzwinkel \bar{e}_1 und \bar{e}_2 der auftauchenden Strahlen an der Oberfläche, sowie die Tiefen h_1 und h_2 der Grenzschicht unter den Beobachtungspunkten, gemessen in der Einfallsebene. Hieraus läßt sich, wie unten gezeigt wird, die in der Einfallsebene gemessene scheinbare Neigung der Grenzfläche ermitteln, Über die Lage der Einfallsebene (ob senkrecht oder schief) kann nichts ausgesagt werden. Hierzu sind ergänzende Beobachtungen nötig, z. B. die Azimutabweichungen a_1 und a_2 der auftauchenden Strahlen oder die Laufzeitkurven eines in einer Richtung abgeschossenen zweiten Profils. Dann läßt sich die Lage der Grenzfläche konstruktiv ermitteln.

a) *Konstruktion der Streichrichtung und des Einfallens der Grenzschicht aus Laufzeitkurven und Azimutabweichungen eines in beiden Richtungen geschossenen Profils.* In Fig. 4 seien I und II die Beobachtungsorte für die beiden Schußrichtungen des Profils. Das Profil 1 erstreckt sich von I in Richtung auf II und darüber hinaus, das Profil 2 von II nach I hin.

Aus den Azimutabweichungen a_1, a_2 und den scheinbaren Emergenzwinkeln \bar{e}_1, \bar{e}_2 kann man die auftauchenden Strahlen im Grundriß (Oberfläche) und in der in die Zeichenebene geklappten Einfallsebene zeichnen (Fig. 4, Mitte). In I und II werden im Grundriß die Azimutabweichungen a_1 und a_2 im Profil angetragen, entsprechend in der Einfallsebene die scheinbaren Emergenzwinkel \bar{e}_1 und \bar{e}_2 . Legt man die Zeichnung, wie üblich, so an, daß das Profil horizontal verläuft und entsprechende Punkte des Profils der Einfallsebene senkrecht unter den zugehörigen Punkten des Profils des Grundrisses liegen, so müssen, wenn die Grenzfläche eben ist und die Winkel a_1, a_2, \bar{e}_1 und \bar{e}_2 richtig bestimmt sind, die Schnittpunkte A und B der rückwärtigen Verlängerungen der auftauchenden Strahlen vertikal untereinander liegen. Ist das nicht der Fall, so sind die auftauchenden Strahlen in I und II windschief, was bei ebener Grenzfläche nicht eintritt und demnach auf eine gekrümmte Schichtgrenze schließen läßt. Der Schnitt der Verbindungslinie AB mit dem Profil I bis II sei im Grundriß und in der Einfallsebene mit H bezeichnet. Es sei noch bemerkt, daß im Raum der Punkt B senkrecht unter dem Punkt A liegt, und daß sich in der Einfallsebene bei B der Winkel $2i$ befindet ($i =$ Inzidenzwinkel an der Grenzfläche). Rechte Winkel sind durch \square bezeichnet.

Zur Konstruktion der wahren Emergenzwinkel e_1 und e_2 werden die durch die vertikale Kante AB , die auftauchenden Strahlen und die Oberfläche bestimmten Dreiecke $AB I$ und $AB II$ in die Zeichenebene geklappt (Mitte der Fig. 4, rechts

*) O. v. Schmidt: Zeitschr. f. Geophys. 4, 134ff.; H. Haalck: „Lehrbuch der angewandten Geophysik.“

und links unten). Man entnimmt aus dem Grundriß die Strecken AI und AII . Hieraus werden die rechtwinkligen Dreiecke ABI und $ABII$ konstruiert. e_1 und e_2 befinden sich bei I und II.

Es folgt zunächst die Bestimmung der Schnittlinie der Einfallsebene mit der Grenzfläche. In der Einfallsebene (Fig. 4, unten) werden die aus den Laufzeitkurven

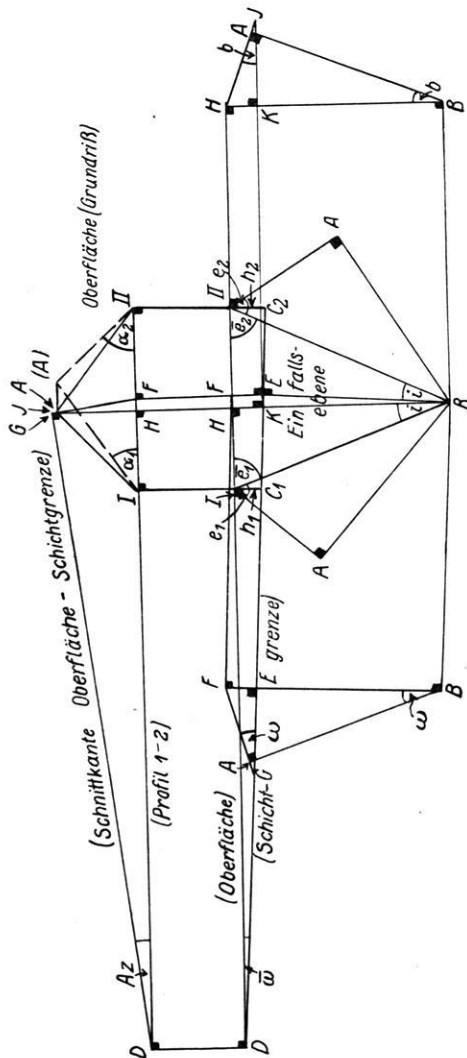


Fig. 4. Konstruktion der Lage der geneigten Schicht bei einem in beiden Richtungen geschlossenen Profil

bestimmten Tiefen h_1 und h_2 von I und II aus senkrecht nach unten abgetragen. Die Verbindungslinie der Endpunkte C_1 und C_2 stellt die gesuchte Schnittgerade dar. Ihr Neigungswinkel gibt die scheinbare Neigung $\bar{\omega}$, die mit dem aus den Laufzeitkurven berechneten Wert übereinstimmen muß. Verlängert man C_1C_2 bis zum Schnitt mit dem Profil 1, 2, so erhält man den Schnittpunkt D des Profils mit der Grenzfläche. Eine Kontrolle ergibt sich dadurch, daß das Lot auf C_1C_2 durch B den Winkel $I B II = 2i$ halbieren muß. Dieses Lot ist im Raum das Lot auf der Schichtgrenze. Sein Schnittpunkt mit der Grenzfläche bzw. der Oberfläche sei E bzw. F .

Zur Konstruktion der Streichrichtung (Schnittlinie zwischen der Grenzfläche und der Oberfläche) und des Einfallswinkels verwendet man die Vertikalenebene durch das Lot BEF . Diese steht senkrecht auf der Streichrichtung und geht im Grundriß durch den Punkt A . Überträgt man also den Punkt F in den Grundriß und verbindet ihn mit A , so ist AF die Richtung des Einfallens. Wird D

ebenfalls in den Grundriß übertragen, und fällt man von D das Lot auf AF (Fußpunkt G), so ist DG die gesuchte Schnittlinie der Grenzfläche mit der Oberfläche. Der Winkel bei D im Grundriß gibt das Azimut Az des Profils, bezogen auf die Streichrichtung, an. Zeichnet man nun das Dreieck AFB (Fig. 4, links unten), indem

man AF und BF aus der Mitte der Figur überträgt und bei A einen rechten Winkel konstruiert, so findet sich die wahre Neigung ω bei B . Außerdem kann man noch G aus der Mitte der Figur entnehmen und in der Teilfigur links unten von G aus das Lot auf BF fallen. Der Fußpunkt ist E . Die Strecke EF muß die gleiche sein wie in der Einfallsebene. Die wahre Neigung befindet sich nochmals bei G .

Hiermit ist die gestellte Aufgabe gelöst. Hat man auch die vertikale Komponente beobachtet, so läßt sich die Basisabweichung b (der Winkel zwischen der Einfallsebene und der Vertikalebene durch das Profil 1, 2) berechnen.

Nach Fig. 4 rechts unten läßt sich b in leicht ersichtlicher Weise aus dem Dreieck AHB konstruieren und mit dem berechneten Wert vergleichen. Der Winkel b befindet sich bei B . H ist der Fußpunkt des Lotes von A auf 1, 2 in dem oberen Teil der Fig. 4 (Grundriß). Die Strecke AH wird aus dem Grundriß entnommen. Mittels der Punkte J^* und K ist ebenso wie links unten mittels G und E eine Kontrolle möglich.

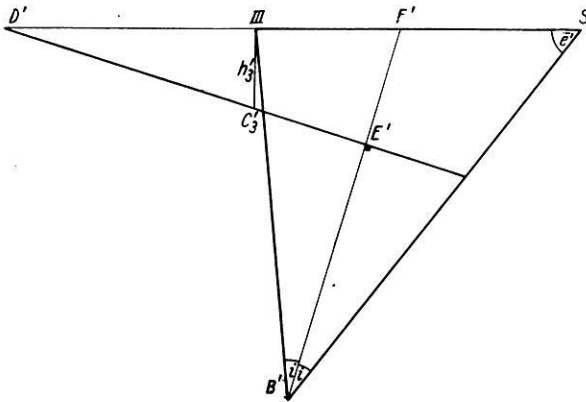


Fig. 5. Einfallsebene des Profils 3

b) *Konstruktion der Streichrichtung und des Einfallens der Grenzschicht nur aus Laufzeitkurven (ein Profil in beiden Richtungen, ein zweites in einer Richtung geschossen)*. Aus dem beiderseitigen Profil (nur Laufzeiten beobachtet) läßt sich der untere Teil (Einfallsebene) der Abb. 4 auf dieselbe Weise konstruieren wie früher, soweit er sich nur auf die Einfallsebene bezieht. Der Punkt D liefert wieder den Schnittpunkt des Profils 1, 2 mit der Grenzfläche, also einen Punkt der Schnittkante von der Grenzfläche mit der Oberfläche.

Für das einseitig geschossene Profil 3 mit dem Beobachtungsort III läßt sich der entsprechende Schnittpunkt D' konstruieren, da aus dem Profil 1, 2 der Grenzwinkel i der Totalreflexion bekannt ist ($i = \angle I BE = \angle II BE$ in Fig. 4). Die Konstruktion (in der Einfallsebene des Profils 3) zeigt Fig. 5. Auf der Profil-

* J ist im Grundriß der Schnittpunkt von HA mit DG (in Fig. 4 nur undeutlich wiedergegeben).

geraden zeichnet man den Beobachtungsort III und einen beliebigen Punkt S nach der Seite des Sprengpunktes hin. Von III senkrecht nach unten zeichnet man die aus den Laufzeitkurven des Profils 3 zu berechnende Tiefe h'_3 bis C'_3 , bei S trägt man an S III den ebenfalls aus den Laufzeitkurven erhältlichen scheinbaren Emergenzwinkel $\bar{\vartheta}'$ an*). Sodann konstruiert man das Dreieck III $B'S$, indem bei B' der bekannte Winkel $2i$ angebracht wird. Dieser wird halbiert und von C'_3 das Lot auf die Halbierungsgerade $B'F'$ gefällt. Der Fußpunkt sei E' . Die Gerade C'_3E' ist die Schnittlinie der Schichtgrenze mit der Einfallsebene des Profils 3, $B'E'F'$ ist im Raum das Lot auf der Grenzfläche. Bringt man C'_3E' zum Schnitt mit dem Profil III S , so erhält man in D' den gesuchten Schnittpunkt des Profils 3 mit der Grenzfläche.

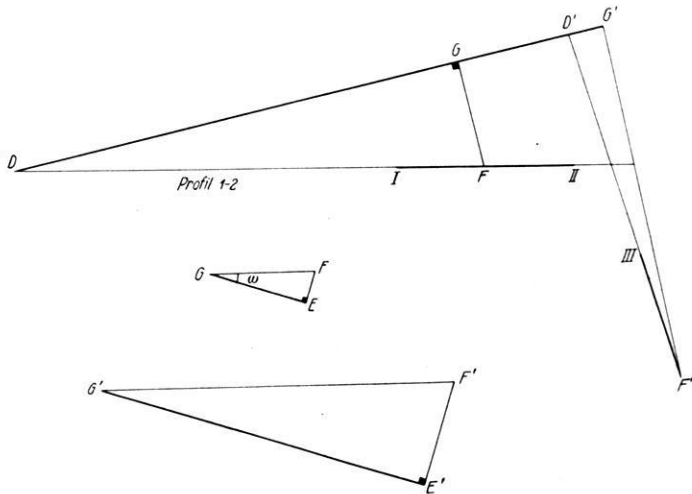


Fig. 6. Grundriß und Konstruktion der Neigung der Grenzfläche

Nunmehr kann man den Grundriß zeichnen (Fig. 6). Die Lage der Beobachtungspunkte I, II, III und der Profilgeraden ist gegeben. Aus Fig. 4 und 5 überträgt man die Punkte D und F sowie D' und F' . DD' ist dann die Schnittkante der Schichtgrenze mit der Oberfläche (Streichrichtung). Den Einfallswinkel ω erhält man ähnlich wie früher. Von F wird das Lot auf DD' gefällt (Fußpunkt G) und das Dreieck EFG mit dem rechten Winkel bei E konstruiert (Fig. 6, Mitte). EF entnimmt man aus Fig. 4. Der Winkel ω befindet sich bei G . Zur Kontrolle kann man dieselbe Konstruktion mit E', F' und G' durchführen (Fig. 6, unten). Hiermit ist die gestellte Aufgabe gelöst. Hat man auch Amplituden beobachtet, so kann man die Azimutabweichung a , Basisabweichung b und wahre Emergenzwinkel c konstruieren und mit den beobachteten vergleichen. Zur Konstruktion ist die Kenntnis der Punkte A (Profil 1, 2) und A' (Profil 3)

* Die Berechnung von h'_3 und $\bar{\vartheta}'$ aus dem einseitig geschossenen Profil 3 ist möglich, da v_2 und i aus Profil 1, 2 bekannt sind.

nötig. Man erhält zunächst H als Fußpunkt des Lotes von B auf (I, II) und überträgt H in den Grundriß. Errichtet man nun im Grundriß das Lot auf (I, II) in H , so schneidet dieses Lot die Linie FG in A (vgl. Fig. 4). Entsprechend verfährt man bei der Konstruktion von H' und A' in Profil 3. Alles weitere verläuft in gleicher Weise wie im Abschnitt a) beschrieben.

III. Anwendung auf seismische Sprengversuche

Es wurden in der Tongrube einer Ziegelei bei Göttingen in drei Profilen elastische Wellen durch künstliche Sprengungen hervorgerufen und diese elastischen Wellen mittels Seismographen aufgezeichnet. Alle Schüsse wurden in drei Komponenten registriert. Der Vertikalseismograph war nach Angaben von E. Wiechert, die beiden Horizontalseismographen nach Angaben von G. Angenheister gebaut.

Profil (1, 2) bildet ein in beiden Richtungen geschossenes Profil, das Profil 3 steht senkrecht dazu (Fig. 7). Bei jedem Profil blieb das Beobachtungszelt mit dem Seismographen unverändert, während die Sprengentfernung variiert wurde. Es bedeuten I den Standort des Zeltes für Profil 1, II und III den Standort für Profil 2 und 3. Profil 2 und 3 haben denselben Standort des Zeltes. Der Abstand zwischen I und (II, III) betrug etwa 30 m.

Bei allen Registrierungen wurden nur Laufzeit und Amplituden des ersten Einsatzes der longitudinalen Wellen ausgewertet.

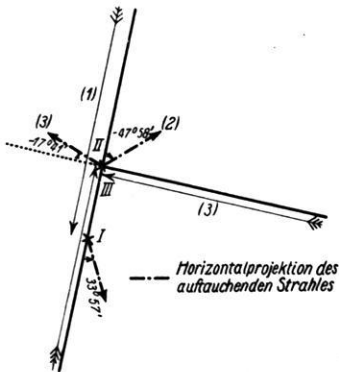


Fig. 7. Schußprofile in einer Tongrube bei Göttingen

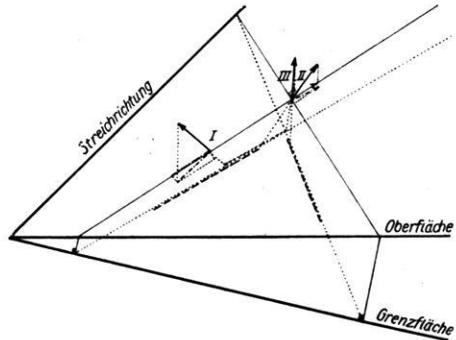


Fig. 8. Lage der Grenzfläche und der Schußprofile (schematisch)

a) Berechnung der Lage der Grenzfläche aus Amplitudenbeobachtungen (M. Kamel).

Für die Azimutabweichungen, Basisabweichungen und Emergenzwinkel der durch die untere Schicht gelaufenen Longitudinalwellen ergeben sich umstehende Werte*). Die Genauigkeit beträgt etwa $\pm 4^\circ$.

*) Mittel der Auswertung von M. Kamel u. F. Faltas auf ganze Grade abgerundet. In Abb. 7 sind die Werte für α von M. Kamel angegeben.

Profil		
1	2	3
$a_1 = 34^\circ$	$a_2 = -48^\circ$	$a_3 = -19^\circ$
$b_1 = 10^\circ$	$b_2 = -21^\circ$	$b_3 = -5^\circ$
$e_1 = 72^\circ$	$e_2 = 63^\circ$	$e_3 = 72^\circ$

Die Basisabweichungen b für Profil 1 und 2 müßten theoretisch ihrem absoluten Betrag nach gleich sein. Daß dies nicht der Fall ist, deutet auf eine Krümmung der Grenzfläche.

Es wurden zunächst die Azimute der drei Profile (A_1, A_2, A_3) und die Neigung ω aus den Basisabweichungen von Profil 2 und 3 berechnet. Es ergab sich:

$$A_1 = -13^\circ, A_2 = 167^\circ, A_3 = -103^\circ; \omega = 20^\circ.$$

Fig. 8 gibt schematisch die ungefähre Lage der Grenzfläche und der Profile. Aus den angegebenen Werten für A und ω wurden ferner die Emergenzwinkel für die drei Profile berechnet:

$$e_1 = 68^\circ, \quad e_2 = 63^\circ, \quad e_3 = 84^\circ$$

(gemessen $e_1 = 72^\circ, \quad e_2 = 63^\circ, \quad e_3 = 72^\circ$)

Die schlechte Übereinstimmung von e_3 mit dem gemessenen Wert deutet wieder auf eine gekrümmte Grenzfläche.

Ferner wurden A und ω aus den Profilen 1 und 2 mit Verwendung der scheinbaren Inzidenzwinkel i' (in der Einfallsebene) berechnet. $i'_{(1)}$ und $i'_{(2)}$ wurden aus Amplitudenmessungen abgeleitet. Es ergab sich:

$$i'_{(1)} = 13^\circ, \quad i'_{(2)} = 17^\circ, \quad i_2 = 15^\circ, \quad \omega' = 2^\circ;$$

$$\omega = 10^\circ, \quad \text{unter Benutzung von } b_1 \quad \left. \vphantom{\omega = 10^\circ} \right\} \text{Mittel } \omega = 15^\circ.$$

$$\omega = 20^\circ, \quad \text{unter Benutzung von } b_2 \quad \left. \vphantom{\omega = 20^\circ} \right\}$$

$$A_1 = -7^\circ, \quad A_2 = 173^\circ, \quad A_3 = -97^\circ.$$

Für die Emergenzwinkel erhält man:

$$e_1 = 70^\circ, \quad e_2 = 68^\circ, \quad e_3 = 88^\circ,$$

also wiederum schlechte Übereinstimmung für e_3 mit dem gemessenen Wert.

b) *Konstruktion der Lage der Grenzfläche aus den Auswertungen der Laufzeitkurven und der Azimutabweichungen von Profil 1 und 2* (F. Faltas). Die Auswertung der Laufzeitkurven von Profil 1 und 2 ergaben:

$$\bar{e}_1 = 70^\circ, \quad h_1 = 7.2 \text{ m},$$

$$\bar{e}_2 = 65^\circ, \quad h_2 = 10.5 \text{ m}$$

(vgl. Fig. 4).

Verwendet man für die Azimutabweichungen a_1 und a_2 die aus Amplituden abgeleiteten Werte, so zeigt sich, daß bei der Konstruktion (Fig. 4) die Punkte A und B nicht lotrecht übereinander liegen. Der Punkt A fällt an die mit (A) bezeichnete Stelle. Um die Konstruktion durchführen zu können, wurde der Punkt A soweit nach links verschoben, bis er senkrecht über B lag. Dann wurde die Konstruktion durchgeführt wie unter II a) beschrieben.

Als Ergebnis sind aus der Zeichnung folgende Werte zu entnehmen:

Azimut des Profils 1	$Az = -10^{\circ}$,
Neigung der Grenzfläche	$\omega = 21^{\circ}$,
wahre Emergenzwinkel	$\left\{ \begin{array}{l} e_1 = 62^{\circ}, \\ e_2 = 58^{\circ}, \end{array} \right.$
Basisabweichung	$b_1 = -b_2 = 20^{\circ}$.

Außer für e_1 und b_1 ist die Übereinstimmung mit den aus Amplitudenbeobachtungen abgeleiteten e - und b -Werten und mit den von M. Kamel errechneten Werten für A_1 und ω befriedigend.

Zusammenfassung

1. Als Fortsetzung einer Arbeit von R. Bungers leitet M. Kamel für das 2-Schichten-Problem der angewandten Seismik und das 3-Schichten-Problem (mit horizontaler Deckschicht) die Formeln ab, die zur Bestimmung der Streichrichtung und des Einfallens einer geneigten ebenen Grenzfläche aus Amplitudenbeobachtungen verwendet werden können.

2. F. Faltas gibt eine konstruktive Methode an zur Bestimmung der Streichrichtung und des Einfallens der Grenzfläche des 2-Schichten-Problems aus den Laufzeiten und den Amplituden der Horizontalkomponenten in einem nach beiden Richtungen geschossenen Profil und aus Laufzeiten allein bei einem noch beiden Richtungen und einem zweiten nur in einer Richtung geschossenen Profil.

3. Beide Methoden werden auf Sprengversuche des Göttinger Geophysikalischen Instituts angewendet. Der Vergleich der verschiedenen Methoden liefert meist befriedigende Ergebnisse.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Juli 1936.

Referate und Mitteilungen

Veröffentlichungen des Institutes der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo) an der Technischen Hochschule Berlin: Heft 4. *I. Die Anwendung dynamischer Baugrunduntersuchungen* (2. Bericht). Mitteilungen über gemeinsame Arbeiten der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik und des Geophysikal. Instituts der Universität Göttingen. *II. Über das Verhalten des Sandes bei Belastungsänderung und Grundwasserbewegung.* Von L. Erlenbach. Mit 56 Textabbildungen. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1936. Preis 8.— RM.

In dem ersten Teil „Anwendung dynamischer Baugrunduntersuchungen“ dieses 4. Heftes der Veröffentlichungen des Institutes der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik wird über die Ergebnisse einer Zusammenarbeit mit dem Göttinger