

Werk

Jahr: 1957

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:23

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0023

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0023

LOG Id: LOG_0050

LOG Titel: Fehler und Korrekturen bei seismischen Messungen in Gebieten mit bewegtem Oberflächenrelief

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 there 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

Fehler und Korrekturen bei seismischen Messungen in Gebieten mit bewegtem Oberflächenrelief ¹⁾

Von R. Meißner, Hannover ²⁾

Zusammenfassung: Die Fehler herkömmlicher Konstruktionsverfahren bei reflexions-seismischen Messungen in Gebieten mit bewegter Oberfläche werden mit Hilfe einiger Formeln analysiert. Die wichtigsten Fehler sind: a) Inhomogenitäten der Geschwindigkeit in und unter der Verwitterungsschicht und b) ein Einfluß der bewegten Topographie an sich bei einigen Konstruktionsverfahren. Verschiedene Methoden zur Ausschaltung dieser und anderer Fehler werden diskutiert und an Hand zweier Abbildungen anschaulich gemacht. Es zeigt sich, daß im allgemeinen die Konstruktion von einem ebenen Bezugsniveau, wenn möglich korrigiert durch zeitlichen bzw. räumlichen Ausgleich nach einem oberen als eben erkannten Horizont die fehlerfreiesten Ergebnisse liefert.

Abstract: The errors involved in the orthodox plotting methods usually employed for seismic reflection surveys in areas with rough topography are analyzed by means of some derivated formulas. The main errors are: a) near-surface variations of the velocity in the weathering layer and below; b) influence of the rough topography itself in some usual but incorrect plotting methods. Different ways to eliminate these and other errors are discussed and demonstrated by two figures. The best results are generally obtained when construction is made from a horizontal reference level and, if possible, a special temporal correction is added by means of a horizon in the upper layers which is known to be sectionally plane.

Es kommt in der Praxis bei seismischen Messungen immer wieder vor, daß Profile durch Gebiete mit starkem Oberflächenrelief und ungleich mächtiger Verwitterungsschicht hindurchgeführt werden müssen. Diese Oberflächeneinflüsse sollten natürlich in den Darstellungen der Profile und Tiefenlinienpläne weitestgehend ausgeschaltet sein. Die verschiedenen Verfahren hierzu werden vor allem deswegen problematisch, weil durch die bewegte Topographie unmittelbar oder mittelbar die Geschwindigkeiten der oberen 0 bis 500 m in oft nicht zu kontrollierender Weise beeinflußt werden. Dies geschieht z.B. unmittelbar

¹⁾Erweiterte Fassung eines auf der 12. EAEG-Tagung in Brüssel im Mai 1957 gehaltenen Vortrages.

²⁾Dr. Meißner, PRAKLA, Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung, Hannover, Haarstraße 5.

1. innerhalb von diluvialen Ablagerungen durch das oft sehr unterschiedliche Material mit wechselnden Geschwindigkeiten und
2. durch die wechselnde und oft nicht festzustellende Tiefe einer bestimmten Ablagerung (z. B. ist die Mächtigkeit einer Nagelfluhbank mit hoher Geschwindigkeit durch das Auswerten von ersten Einsätzen o. dergl. nicht festzustellen).

Ein mittelbarer Einfluß kann

3. durch den unterschiedlichen Auflagedruck (load-effect) ungleich mächtiger Ablagerungen auf die Geschwindigkeiten im Liegenden sowie
4. durch die unterschiedliche Grundwasserführung hervorgerufen werden.

Diese Einflüsse sollen zunächst mit Hilfe eines willkürlich gewählten Beispiels untersucht werden.

Während die Geschwindigkeitsverteilung im großen durch Bohrlochmessungen o. ä. als bekannt vorausgesetzt wird, werden für die oberflächennahe Geschwindigkeitsverteilung zwei grundsätzlich verschiedene Annahmen gemacht und deren Einfluß auf die Darstellung bekannter Horizonte durch einfache Konstruktionsmethoden geprüft. Zu Kapitel drei wird die Wahl dieser beiden verschiedenen Voraussetzungen für die oberflächennahen Geschwindigkeiten näher erläutert. Vor allem werden die bei den bekannten Konstruktionsarten entstehenden Fehler und ihre Ausschaltung untersucht.

Den Abbildungen 1 und 2 liegt dasselbe Oberflächenrelief zugrunde. Auch die Lage der beiden zu konstruierenden Horizonte (beide söhlig, bei NN bzw. 1500 m Tiefe liegend) sowie Lage und Abstand der eingezeichneten Schußpunkte sind dieselben. Unter einer oberen Schicht ($v = 1600$ m/sec, also z. B. diluvialer Schotter o. ä.) mit sehr geringer Geschwindigkeit, in der nur vereinzelt harte Bänke mit 3500 m/s (z. B. Nagelfluh o. ä.) auftreten, nehmen die Geschwindigkeiten nach unten langsam zu. Die Geschwindigkeitsverteilung entspricht der Kurve in Abb. 3. Der leichteren Berechnung wegen wurden z. T. die auf den Darstellungen bezeichneten Schichtgeschwindigkeiten benutzt, was jedoch an den Ergebnissen nichts ändert. Lediglich wird hierdurch die absolute Teufe der konstruierten Horizonte leicht verfälscht. Auch die Benutzung derselben Geschwindigkeitskurve einmal für die Konstruktion ab Bohrloch, einmal ab höher gelegenem Bezugsniveau ergibt kleine, jedoch völlig unwichtige, konstante Teufendifferenzen gegenüber der wahren Lage der Horizonte. Alle Inhomogenitäten oberhalb der Bohrlöcher werden wegen Kenntnis von Aufzeit und ersten Einsätzen als unwichtig angesehen und nicht berücksichtigt. Der besseren Übersicht halber wurden die Lote senkrecht unter den Schußpunkten aufgetragen. Die Konstruktion des Gleitens an Horizonten und die Konstruktion einer Durchschnittsgeschwindigkeit werden in Kapitel 4 erwähnt.

Kapitel 1

Abb. 1. Isotachen parallel einer mittleren Geländeoberfläche

Der Abb. 1 liegt die Vorstellung zugrunde, das unter der Verwitterungsschicht ruhende Material sei nahezu homogen und unbeeinflusst vom Belastungsdruck. Es sei ein kleiner überall gleicher Horizontalgradient der Geschwindigkeit vorhanden. Die Isotachen im Schnitt mit der Zeichenebene sind also Geraden und verlaufen etwa parallel einer mittleren Geländeoberfläche. (Der Fall, daß sie parallel zu NN laufen – kein Horizontalgradient – wird als Sonderfall später erwähnt). Falls die angeführten Voraussetzungen zutreffen, sind die durch die verschiedenen Konstruktionsarten verursachten Fehler der Horizontdarstellung zu beachten.

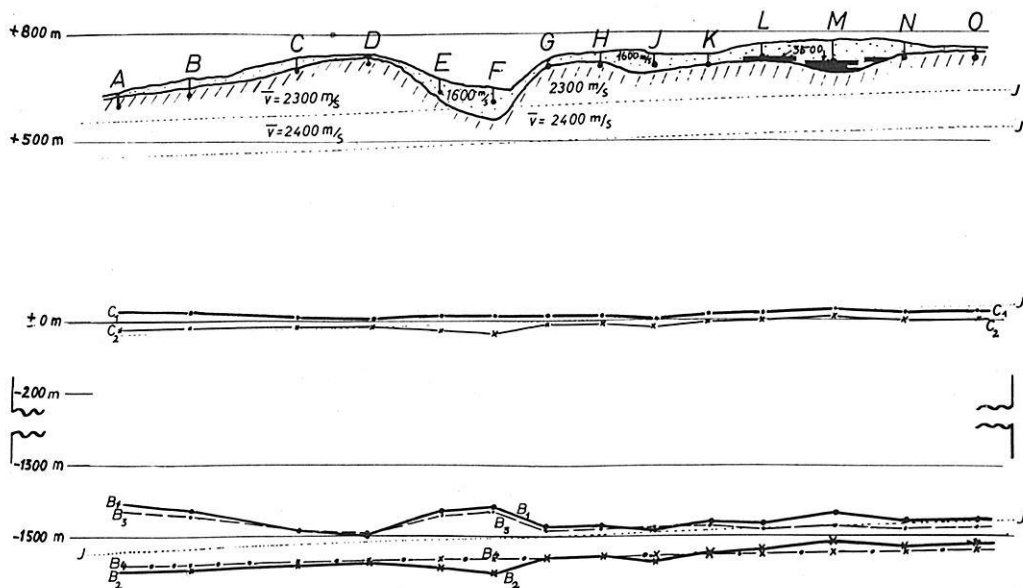


Abb. 1: Horizonte C = söhlig bei NN und B = söhlig bei 1500 m liegend nach verschiedenen Verfahren konstruiert. – Isotachen parallel einer mittleren Geländeoberfläche (punktiert)

C_1, B_1 = Konstruktion ab Bohrloch

C_2, B_2 = Konstruktion ab 800 m – Bezugsniveau

B_3 = Konstruktion ab Bohrloch nach zeitlichem Ausgleich durch Glätten von C_1

B_4 = Konstruktion ab Bezugsniveau nach zeitlichem Ausgleich durch Glätten von C_2

$\bar{v}$ = Zur Berechnung benutzte mittl. Geschwindigkeit, soweit sie von der Kurve Scherstetten (Abb.3) leicht abweicht.

*1.1. Horizonte C = NN und B = 1500 m, konstruiert ab
Bohrlochniveau (Horizonte B₁ und C₁)*

Es treten 3 Arten von Verfälschungen in der Horizontführung auf:

- a) Verbiegungen, bedingt durch die oberflächennahen Schichten kleinerer oder größerer Geschwindigkeit (Vgl. Sp. J bis M) = Inhomogenitätsfehler.
- b) Eine der Geländeoberfläche entgegenverlaufende Bewegung (Vgl. Sp. A bis E) = Konstruktionsfehler. (Beide Effekte wirken z.B. bei Sp. E bis G des C₁ Horizontes gegeneinander und lassen so das Horizontbild gerade erscheinen, während sie bei M gleichsinnig und leicht verstärkend zusammen wirken).
- c) Kontinuierlicher kleiner Fehler durch die bis in die Tiefe angenommene Schräglage der Isotachen bedingt (mehr theoretischer Natur) = Neigungsfehler.

Interessant ist vor allem das unterschiedliche Anwachsen der Fehler b) und a) mit der Tiefe.

Zu a)

Fehler a), der "Inhomogenitäts-Fehler", wächst proportional der Geschwindigkeit an der Stelle des zu konstruierenden Horizontes nach der Formel:

(a₁)

$$f_C = v_C \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

v_B = lokale Geschwindigkeit in der Teufe des Horizonts B

v_C = lokale Geschwindigkeit in der Teufe des Horizonts C

$$f_B = v_B \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

f_B = Teufenfehler Horizont B

f_C = Teufenfehler Horizont C

(a₂)

$$\frac{f_C}{f_B} = \frac{v_C}{v_B}$$

v_0 = von der normalen Anfangsgeschwindigkeit v_A abweichende Geschwindigkeit

Δh = Höhe des Gebiets abweichender Geschwindigkeit
(meist unbekannt)

(Ableitung der Formel siehe Fußnote)³⁾

³⁾ Herleitung der Formel a: Sprengpunkt X und Sprengpunkt Y liegen auf gleicher Höhe, jedoch sei unter Y eine Teufe Δh mit der Durchschnittsgeschwindigkeit

Diese und die folgenden Formeln gewinnen Bedeutung für die Beurteilung von Strukturen in tieferen Horizonten, die auf Grund von Glättung eines oberen Horizontes durch Unterschußkorrekturen korrigiert werden. (Vergl. auch 1.3. ff.).

Zu b)

Der Fehler b ist ein reiner "Konstruktionsfehler". Er ändert sich mit wachsender Teufe wesentlich anders als der "Inhomogenitätsfehler" a. (Im angeführten Beispiel bedeutend stärker. Man erhält hier die Formeln: 4)

$$F_C = \Delta H \cdot \left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right) \quad \begin{array}{l} \Delta H = \text{Höhendifferenz zwischen zwei Bohr-} \\ \text{löchern} \\ v_A = \text{Durchschnittliche Geschwindigkeit} \\ \text{im Bereich dieser Höhenänderung} \\ v_B = \text{lokale Geschwindigkeit in der} \\ \text{Teufe des Horizontes B} \end{array}$$

(b₁)

$$F_B = \Delta H \cdot \left(\frac{v_B}{v_A} - 1 \right)$$

$v_0 \neq v_A$. Folglich tritt unterhalb dieser Inhomogenitätsschicht der Geschwindigkeit ein Δt gegenüber Sprengpunkt X auf: $\Delta t = \frac{\Delta h}{v_A} - \frac{\Delta h}{v_0}$. Der Teufenfehler wird auf Grund

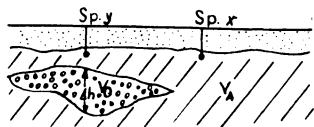


Abb. 1 a

der Geschwindigkeitskurve in der Teufe eines beliebigen Horizontes C zu:

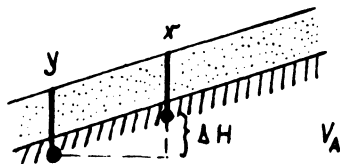
$$f_C = \Delta t \cdot v_C = v_C \cdot \Delta h \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

- 4) Herleitung der Formel b: Das Höherliegen des Sprengpunktes X gegenüber dem Sprengpunkt Y um ΔH bewirkt ein $\Delta t = \frac{\Delta H}{v_A}$, wobei v_A die Durchschnitts-

geschwindigkeit im Bereich dieser Höhenänderung ist. Wie bei a) geht diese Zeitdifferenz in der Geschwindigkeitskurve dort ein, wo der beliebige Horizont C konstruiert werden soll. So ergibt sich ein Fehler $\Delta t \cdot v_C = \frac{\Delta H}{v_A} \cdot v_C$, der durch

Einstechen des Zirkels um ΔH höher zu der Form führt

$$F_C = \frac{\Delta H}{v_A} \cdot v_C - \Delta H = \Delta H \left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right).$$



C ————— v_C

Abb. 1 b

$$(b_2) \quad \frac{F_C}{F_B} = \frac{v_C - v_A}{v_B - v_A}$$

v_C = lokale Geschwindigkeit in der Tiefe des Horizontes C

F_C = Teufenfehler Horizont C

F_B = Teufenfehler Horizont B

Im Falle des angeführten Beispiels ändert sich zwischen den Horizonten C und B:

$$\text{Fehler a) wie: } \frac{f_C}{f_B} = \frac{4500}{3000} = 1 : 1.5 \text{ und}$$

$$\text{Fehler b) wie: } \frac{F_C}{F_B} = \frac{4500 - 2300}{3000 - 2300} = \sim 1 : 3.2$$

Während also der von den oberflächennahen Inhomogenitäten verursachte Fehler a zwischen Horizont C und B nur um etwa 50% anwächst, ändert sich der durch die wechselnde Oberfläche bzw. Bohrlochhöhe hervorgerufene Fehler b um 220%. Daher also z.B. die starke fiktive Aufwölbung im Bild des B_1 -Horizontes unterhalb der Sprengpunkte E und F, die im C_1 -Horizont nicht auftritt.

Zu c)

Mit a), dem "Inhomogenitätsfehler" und b) dem "Konstruktionsfehler" sind zunächst die wichtigsten Fehlerquellen erkannt. Ein dritter, im allgemeinen nicht ins Gewicht fallender Fehler, ist im Beispiel durch die bis in die Tiefe angenommene gleiche Neigung der Isotachen bedingt. Er berechnet sich nach der gleichen Formel wie b)⁵⁾

$$(c_1) \quad \phi_C = \Delta \zeta \cdot \left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right) \quad \Delta \zeta = \text{Höhenänderung der Isotachen zwischen zwei Schußpunkten}$$

$$\phi_B = \Delta \zeta \cdot \left(\frac{v_B}{v_A} - 1 \right) \quad \text{Übrige Symbole wie Formeln a und b}$$

$$(c_2) \quad \frac{\phi_C}{\phi_B} = \frac{v_C - v_A}{v_B - v_A}$$

⁵⁾ Herleitung der Formel c: Zwischen zwei gleichhohen Schußpunkten steigen alle Isotachen um $\Delta \zeta$ an. Dies ergibt ein $\Delta t_A = \frac{\Delta \zeta}{v_A}$ längs aller Isotachen,

Die Ausschaltung dieses "Neigungsfehlers" c geschieht am besten durch spätere Interpolation der Horizonte (oder Isotachen) zwischen Tiefbohrungen. Die Konstruktion von einem geneigten Bezugsniveau ist arbeitsmäßig für die Praxis nicht zu empfehlen. Diese Methode würde auch versagen, wenn die Isotachen nicht (wie im Beispiel) parallel, sondern in verschiedenen Teufen verschieden steil geneigt sind, d.h.

$$\text{wenn } \frac{\partial \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)}{\partial z} \neq 0.$$

Es sei nur am Rande und ohne Ableitung erwähnt, daß in diesem Falle für die Teufe $z_N = \text{const.}$ zwischen Sprengpunkt X und Y ein Teufenfehler

$$(c_3) \quad \Delta t_{x,y} = \left(\sum_{\nu=1}^N \frac{\Delta z_{\nu} - \Delta z_{\nu-1}}{v_{\nu}} \right) - \frac{\Delta z_N}{v_N}$$

resultiert, wobei die Δz_{ν} die Teufendifferenz der Isotachen zwischen Sprengpunkt X und Y und v die zwischen zwei Isotachen auftretende Durchschnittsgeschwindigkeit darstellt.

Mit Hilfe der Formeln a, b und c können theoretisch alle Lotpunkte additiv berechnet und alle Fehler eliminiert werden.

1.2. Horizonte C_2 und B_2 , konstruiert ab Bezugsniveau

Durch die Auffüllung mit einer konstanten Geschwindigkeit (Geschw. der obersten konsolidierten Schicht, im Beispiel 2300 m/sec) bis zum Bezugsniveau tritt ein der Formel (b) entsprechender Fehler nicht auf. Die Konstruktion ab starrem Bezugsniveau hat also bei den der Abb. 1 zugrun-

wobei v_A die Durchschnittsgeschwindigkeit längs des obersten $\Delta \zeta$ darstellt. In der Teufe $z_c = \text{const.}$ muß jedoch von dem Δt_A ein $\Delta t_c = \frac{\Delta \zeta}{v_C}$ abgezogen werden.

Es ergibt sich also ein $\Delta \Delta t = \Delta t_A - \Delta t_c - \Delta \zeta \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_C} \right).$

Daraus folgt auf Grund der Geschwindigkeitskurve der Gesamtfehler c:

$$\phi_C = v_C \cdot \Delta \zeta \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_C} \right)$$

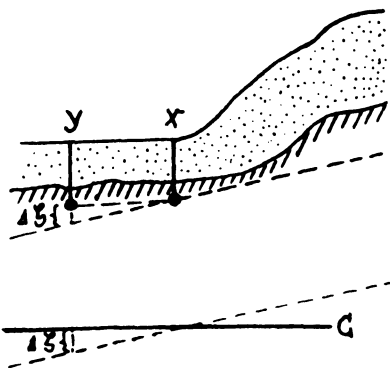


Abb. 1c

deliegenden Voraussetzungen eine Fehlerquelle weniger als die Konstruktion ab Bohrlochniveau. — Die fiktiven Verbiegungen der Horizontführung, bedingt durch die oberflächennahen Inhomogenitäten der Geschwindigkeit, berechnen sich genau so wie bei der Konstruktion ab Bohrloch:

$$(a) \quad f_C = v_C \cdot \Delta h \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

$$f_B = v_B \cdot \Delta h \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

$$\frac{f_C}{f_B} = \frac{v_C}{v_B}$$

Auch die Formel c behält ihre Gültigkeit.

$$(c) \quad \phi_C = \Delta \zeta \left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right)$$

$$\phi_B = \Delta \zeta \left(\frac{v_B}{v_A} - 1 \right)$$

$$\frac{\phi_C}{\phi_B} = \frac{v_C - v_A}{v_B - v_A}$$

Fehler c wird = 0 bei horizontalem Isotachenverlauf.

1.3. Horizont B₃, Korrektur durch Glättung bei Konstruktion ab Bohrloch

Man muß bei der Glättungskorrektur zunächst voraussetzen, daß die Horizonte einer bestimmten Teufe zumindest stückweise eben verlaufen. Ergeben sich trotzdem bei der Konstruktion dieser Horizonte Verbiegungen, so müssen sie rein fiktiver Natur sein, mittelbar oder unmittelbar durch die Topographie beeinflusst. Im Beispiel sei der Horizont C ein solcher stückweise ebener Horizont. Die Glättung durch "zeitlichen Ausgleich" geschieht am genauesten nach der Beziehung, daß aus der am C-Horizont beobachteten fiktiven Verbiegung f_C ein $\Delta t = \frac{f_C}{v_C}$ berechnet wird.

Dies ist natürlich gleich dem Δt der übrigen Horizonte und wird im allgemeinen als Unterschußkorrektur am Schußpunkt vermerkt. Man hat also:

$$(d) \quad f_B = f_C \cdot \frac{v_B}{v_C}$$

Diese Formel ist mit (a₂) identisch. D. h. alle Inhomogenitäten der Geschwindigkeit oberhalb des Horizontes C (Fehler a) werden durch diesen "zeitlichen Ausgleich" ausgeschaltet. (Vergl. Horizont B₃ unterhalb der Sprengpunkte G bis K).

Der übrige Verlauf des Horizontes B_3 zeigt jedoch noch äußerst starke fiktive Verbiegungen. Diese rühren ausschließlich vom Konstruktionsfehler b her, bzw. von dessen Verstärkung mit der Tiefe. Es ist selbstverständlich, daß der Fehler b gemäß Formel b durch den zeitlichen Ausgleich nach Formel (d) nicht ausreichend erfaßt wird.

*1.4. Horizont B_4 , Korrektur durch Glättung wie 1.3.
bei Konstruktion ab Bezugsniveau*

Die bei weitem beste Horizontdarstellung von Horizont B erhält man durch zeitlichen Ausgleich nach Glätten des Horizontes C_2 , also durch Konstruktion ab Bezugsniveau *UND* zeitlichen Ausgleich. Da ja Konstruktionsfehler b nicht auftritt und der "Inhomogenitätsfehler" a durch den zeitlichen Ausgleich nach (d) ausgeschaltet wird, bleibt nur noch der durch die Schräglage der Isotachen bedingte kleine Neigungsfehler c . Liegen die Isotachen horizontal, erhält man durch diese Konstruktion eine ideale Horizontdarstellung.

Kapitel 2

Abb. 2, Isotachen nach der Erdoberfläche infolge unterschiedlicher Belastung leicht gebogen

Ein Vergleich der Abb. 1 und 2 zeigt trotz der verschiedenen Isotachenführung im Verlauf der Horizonte nur kleine Unterschiede. Es kommt jedoch eine wichtige Fehlerquelle hinzu, die im folgenden beschrieben wird.

2.1. Horizonte C_1 , B_1 , Konstruktion ab Bohrloch

Die in 1.1. geschilderten Fehler sind auch bei diesem Isotachenverlauf grundsätzlich alle vorhanden. Die fiktiven Verbiegungen des B_1 und C_1 -Horizontes sind jedoch etwas kleiner als auf Abb. 1. Es tritt nämlich auf Grund der Verbiegung der Isotachen ein dem Konstruktionsfehler b entgegengesetzt gerichteter Fehler (e) auf:

Hat etwa Sprengpunkt X gegenüber einem gleichhohen Y auf Grund des Isotachenverlaufs in der Höhe des C -Horizonts ein gewisses $\Delta t = \text{const.}$

$\left(\frac{1}{v_x} - \frac{1}{v_y} \right)$ so ergibt sich ein Fehler $f_c = v_c \cdot \Delta t$.

Seine Fortsetzung mit der Tiefe berechnet sich also wie nach Formel a_2

(e)

$$\frac{f_C}{f_B} = \frac{v_C}{v_B}$$

Es läßt sich ferner zeigen, daß eine Konstruktion ab Bohrlochniveau nur dann fehlerfrei würde, wenn die Isotachen bis in alle Teufen den gleichen Verlauf wie das Bohrlochniveau hätten. Da dies jedoch in der Praxis nicht vorkommt, wird dieser Fall nicht näher untersucht.

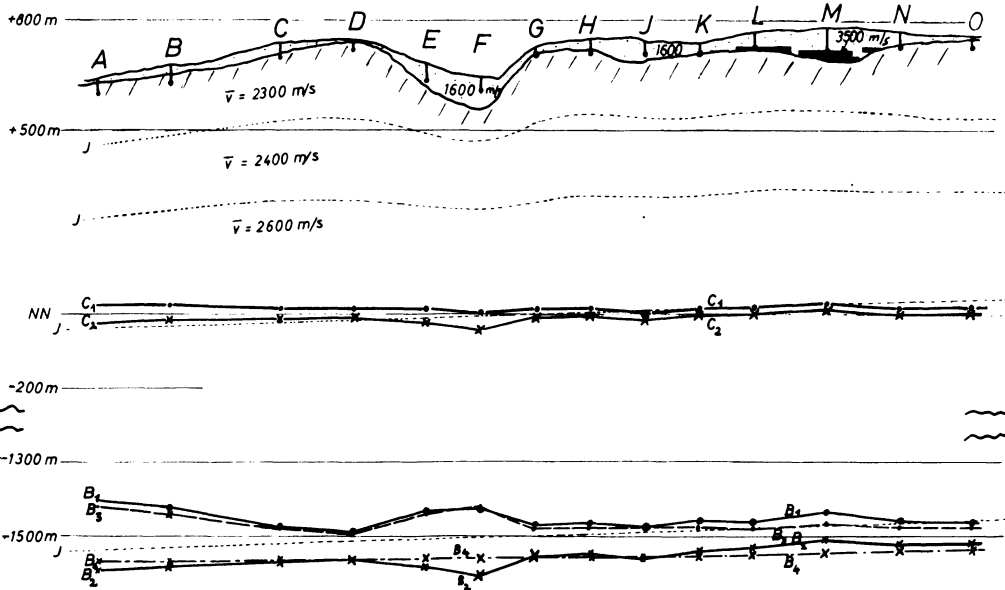


Abb. 2: Horizonte C und B nach verschiedenen Verfahren konstruiert. — Isotachen unter dem Einfluß der Oberfläche (Belastung) leicht gebogen. Relief und Symbole wie bei Abb. 1.

Im übrigen kann der "Isotachenfehler" e, wie später gezeigt wird, die gleiche Größenordnung erlangen, wie die Fehler a und b.

2.2. Horizonte B_2 , C_2 , Konstruktion ab Bezugsniveau

Im Gegensatz zu 2.1. bewirken die Verbiegungen der Isotachen gemäß Formel e für den Horizontverlauf eine zusätzliche Verfälschung, die um so größer wird, je stärker die Verbiegung der Isotachen ausgebildet ist. (Vergl. den Verlauf von C_2 und B_2 in Abb. 1 und Abb. 2). Im übrigen treten die in 1.2. beschriebenen Fehler a (Inhomogenitätsfehler) und c (Neigungsfehler) auf.

2.3. Horizont B_3 , Zeitlicher Ausgleich und Konstruktion ab Bohrloch

Der Horizontverlauf B_3 auf Abb. 2 zeigt gegenüber dem auf Abb. 1 im allgemeinen leichte Verbesserungen, da, wie in 2.1. erwähnt, der Isotachenfehler e dem Konstruktionsfehler b entgegengesetzt gerichtet ist. Interessant ist jedoch eine, wenn auch kleine, Vergrößerung der Verbiegung unterhalb des Sprengpunktes F. Während hier im Horizont C_1 gemäß Formel (e) und (a) (Isotachen und Inhomogenitätsfehler) trotz des "Konstruktionsfehlers" b noch eine Durchbiegung nach unten zu erkennen ist, bewirken das Anwachsen des Fehlers b mit der Tiefe gemäß Formel b sowie der zeitliche Ausgleich nach (d) die im B_3 -Horizont unterhalb Sprengpunkt F zu beobachtende größere Verbiegung.

Während also durch den zeitlichen Ausgleich die Fehler a und e ausgeschaltet werden, bleiben die Fehler b und c zum großen Teil bestehen.

2.4. Horizont B_4 , zeitlicher Ausgleich und Konstruktion ab Bezugsniveau

Unter der bei Abb. 2 gemachten Voraussetzung, daß die Verbiegung der Isotachen spätestens in der Höhe des Horizonts C beendet ist, ergibt der Horizont B_4 auch hier wieder den bei weitem besten Verlauf. Der neu hinzugekommene "Isotachenfehler" e wird ja durch den "zeitlichen Ausgleich" gemäß (d) völlig ausgeglichen. Nur der Neigungsfehler c bleibt bestehen.

Der zeitliche Ausgleich berücksichtigt für jede Teufe *alle* Inhomogenitäten der Geschwindigkeit oberhalb des geglätteten Horizontes.

Kapitel 3

Verwendung einer Durchschnittsgeschwindigkeit für die Konstruktion aller Horizonte

Eine bisher nicht genannte, eigentlich selbstverständliche Voraussetzung für die Richtigkeit der Formeln und die Ausschaltung der Fehler ist eine möglichst richtige Geschwindigkeitskurve. Es soll jetzt derjenige Fall untersucht werden, daß zur Konstruktion aller Horizonte eine einheitliche Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ verwendet wird, die vielleicht auf die richtige Teufenlage eines hauptsächlich interessierenden Horizontes abgestimmt ist, die Teufenlage der übrigen jedoch unrichtig wiedergibt. Abgesehen von diesem konstanten Teufenfehler K verändern sich die Formeln folgendermaßen:

(a) wird zu (f): $f_B = f_C = \bar{v}_C \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$

(b) wird zu (g): $F_B = F_C = \Delta H \left(\frac{\bar{v}}{v_A} - 1 \right)$

(c) wird zu (h): $\phi_C = \Delta \zeta \cdot \bar{v} \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_C} \right); \phi_B = \Delta \zeta \cdot \bar{v} \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_B} \right);$

$$\frac{\phi_C}{\phi_B} = \frac{v_B}{v_C} \cdot \frac{v_C - v_A}{v_B - v_A}$$

(e) wird zu (i): $f_B = f_C = \bar{v} \cdot \left(\frac{1}{\bar{v}_x} - \frac{1}{\bar{v}_y} \right)$

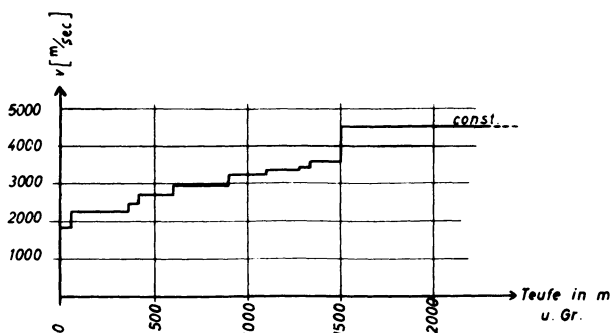


Abb. 3: Die für die Konstruktion in Abb. 1, 2 und 4 verwendete Geschwindigkeitskurve Scherstetten.

Aus den Formeln f, g und i ist ersichtlich, daß diese Hauptfehler für den B und C-Horizont und damit für alle Horizonte gleich groß sind. Eine Ausschaltung dieser Fehler durch Glättung darf also nicht durch zeitlichen Ausgleich gemäß 1.3. oder 1.4., sondern muß teufenmäßig vorgenommen werden: Man greift am konstruierten C-Horizont die fehlerhafte Teufe Δz ab und addiert sie im umgekehrten Sinne am B-Horizont (bzw. an anderen zu konstruierenden Horizonten). Im Gegensatz zu Formel b wird bei Konstruktion ab Bohrloch durch die teufenmäßige Glättung auch der "Konstruktionsfehler" g ausgeschaltet. Das gleiche gilt für den "Inhomogenitätsfehler" f und den "Isotachenfehler" i, jedoch nicht für den "Neigungsfehler" h. Nach einer teufenmäßigen Glättung sind also die Konstruktion ab Bohrlochniveau und die Konstruktion ab Bezugsniveau einander gleichwertig, da in beiden Fällen nur der Neigungsfehler i und evtl. der kon-

stante Teufenfehler K übrigbleibt. Ohne die Möglichkeit einer Glättungskorrektur ist die Konstruktion ab Bezugsniveau (eine Fehlerquelle weniger) vorzuziehen.

Kapitel 4

Die Konstruktion des Gleitens an bekannten Horizonten

Ein *teufenmäßiger* Ausgleich nach erfolgter Glättung muß ebenfalls zur Ausschaltung der wichtigsten Fehler vorgenommen werden, wenn man sich zur Konstruktion des bekannten Verfahrens des Gleitens an einem Horizont mit charakteristischem Geschwindigkeitswechsel bedient.

Während hier oberhalb des Gleithorizontes die Formeln a bis e Gültigkeit haben, gelten darunter folgende Formeln, die, wie in Kap. 3 erwähnt, ebenfalls einen teufenmäßigen Ausgleich zur Ausschaltung der Fehler erfordern:

$$(a) \text{ und } (f) \text{ wird zu } (1): \quad f_B = f_C = v_C \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_0} \right)$$

$$(b) \text{ und } (g) \text{ wird zu } (m): \quad F_B = F_C = \Delta H \cdot \left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right)$$

$$(c) \text{ und } (h) \text{ wird zu } (n): \quad \phi_C = v_C \cdot \Delta \zeta \cdot \left(\frac{1}{v_A} - \frac{1}{v_C} \right); \quad \zeta_B = \Delta \zeta$$

$$\left[\left(\frac{v_C}{v_A} - 1 \right) + \left(\frac{v_B}{v_C} - 1 \right) \right]$$

$$(e) \text{ und } (i) \text{ wird zu } (0): \quad f_B = f_C = v_C \cdot \text{const.} \cdot \left(\frac{1}{\bar{v}_x} - \frac{1}{\bar{v}_y} \right)$$

In beiliegender Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse der Fehlerbetrachtungen übersichtlich zusammengefaßt.

Zum Schluß dieses Kapitels sei darauf hingewiesen, daß die abgeleiteten Formeln nicht nur für söhlige, sondern für alle nicht allzu stark geneigten Horizonte gelten und daß auch hier die additive Zusammensetzung und Berechnung der Fehler angewandt werden kann. Bei geneigten Horizonten verschiebt sich bei Konstruktion ab Bezugsniveau lediglich der Lotpunkt

Fehler-Tabelle

Isotachenverlauf		eben, horizontal	eben, gleich- mäßig geneigt	oberflächen- nah: gebogen darunter: horizontal	oberflächen- nah: gebogen darunter: gleichmäßig geneigt
Normale Konstruktion	ab Bohrloch	a, b	a, b, (c)	a, b, e	a, b, e (c)
	ab Bezugs- niveau	a	a (c)	a, e	a, e, (c)
	ab Bohrloch mit Glättung (zeitlich)	b	b (c)	b	b (c)
	ab Bezugs- niveau mit Glättung (zeitlich)	—	(c)	—	(c)
Konstruktion mit Durch- schnittsge- schwindig- keit $\bar{v}$	ab Bohrloch	f, g, K	f, g, K (h)	f, g, K, i	f, g, K, i (h)
	ab Bezugs- niveau	f, K	f, K (h)	f, K, i	f, K, i (h)
	ab Bohrloch mit Glättung (teufenmäßig)	K	K, (h)	K	K (h)
	ab Bezugs- niveau mit Glättung (teufenmäßig)	K	K, (h)	K	K (h)
Konstruktion mit Gleit- horizont	ab Bohrloch	l, m	l, m, (n)	l, m, o	l, m, o, (n)
	ab Bezugs- niveau	l,	l, (n)	l, o	l, o, (n)
	ab Bohrloch mit Glättung (teufenmäßig)	—	(n)	—	(n)
	ab Bezugs- niveau mit Glättung (teufenmäßig)	—	(n)	—	(n)

Die Buchstaben beziehen sich auf die Fehler-Formeln im Text.

Die eingeklammerten Buchstaben sind Neigungsfehler, vom horizontalen Geschwindigkeitsgradienten herrührend. Sie werden zweckmäßigerweise nicht formelmäßig, sondern durch Interpolation zwischen Tiefbohrungen ausgeschaltet.

Fehler: a, f und l = "Inhomogenitätsfehler"

Fehler: b, g und m = "Konstruktionsfehler"

Fehler: e, i und o = "Isotachenfehler"

Fehler: c, h und n = "Neigungsfehler"

Fehler: K = "konst. Teufenfehler".

auf dem Horizont um $\sin \alpha \cdot h$ gegenüber der Konstruktion ab Bohrloch-niveau (wenn der Neigungswinkel α und die Höhendifferenz Bohrloch – Bezugsniveau h Meter beträgt). Derartige Überlegungen sind u.U. von Wichtigkeit beim Fixieren von Störungen. Das Bezugsniveau sollte deshalb vom Bohrlochniveau nicht all zu stark abweichen und besser darunter als darüber liegen.

Kapitel 5

Physikalische und geologische Grundlagen des Isotachenverlaufs

Zwei grundsätzlich verschiedene Annahmen über den Isotachenverlauf wurden in Abb. 1 und 2 dargestellt. Von den beiden meist gebräuchlichen Konstruktionsarten (Konstruktion ab Bohrloch bzw. ab Bezugsniveau) war die Güte-Reihenfolge bei Abb. 1: B_4, B_3, B_2, B_1 desgl. bei Abb. 2: B_4, B_3, B_2, B_1 .

Bei stärkerer Durchbiegung der Isotachen kann die Reihenfolge lauten: B_4, B_2, B_3, B_1 . Würde etwa die Durchbiegung der Isotachen noch über den Glättungshorizont hinausgehen, könnte sich die Güte-Reihenfolge noch stärker ändern, sogar umkehren.

Welche Anhaltspunkte sind nun betr. der Durchbiegung der Isotachen infolge des unterschiedlichen Besltdrucks tatsächlich vorhanden? Entsprechen die natürlichen Verhältnisse der Abb. 1 oder der Abb. 2 oder sind die Isotachen noch stärker beeinflußt?

Faust [2] (1951) zeigt durch sein aus großem Meßmaterial abgeleitetes Gesetz $\alpha \cdot (r \cdot z)^{1/6}$, daß die Geschwindigkeit v neben den Gesteinskonstanten α hauptsächlich vom Alter der Formation (r) und von der Mächtigkeit des Auflagedrucks (h) abhängig ist. Bei gleichaltrigen Ablagerungen würde also eine bewegte Topographie in den Isotachen des Liegenden Durchbiegungen hervorrufen, die sich mit zunehmender Tiefe abschwächen. Daneben spielen aber noch das Alter der Schichten und das Alter der tektonischen Bewegung eine Rolle. *Baillie* und *Rozsa* [1] (1956) kommen auf Grund eines Beispiels zu dem Ergebnis, daß z.B. das geologische Alter seit der letzten Vereisung nicht ausreicht, die Geschwindigkeit im Liegenden durch die diluviale Bedeckung nennenswert zu verändern. Gemäß dem Relief der obersten konsolidierten Schicht weisen sie jedoch Einflüsse der Belastung (load effect) bis zu einer Tiefe von 400-500 m unter Grund nach, während der Effekt darunter nicht mehr feststellbar ist. *Krey* [4] (1954) zeigt auf Grund *Faust's* $1/6$ -Gesetz durch rein theoretische Überlegungen, wie bei Kenntnis aller Gesteinskonstanten das ideale (beweg-

liche) Konstruktionsniveau zu legen sei, damit die Horizonte aller Teufen richtig dargestellt werden. Ein ähnliches bewegliches Konstruktionsniveau verwendet *Selem* [5] (1955) (floating datum-level) auf Grund von Abschätzungen und erzielt damit gute Ergebnisse. Ein solches Verfahren ist natürlich in den Händen eines erfahrenen Geophysikers von großem Wert, jedoch u. U. individuell vom Bearbeiter abhängig.

Zusammengefaßt deuten alle Ergebnisse auf eine gewisse Beeinflussung der Isotachen hin, die also von der Mächtigkeit und dem Alter des Hangenden herrührt, also z. B. bei oberer tertiärer Tektonik zweifellos stärker ist als bei alluvialer oder diluvialer Tektonik. Diese Ergebnisse wurden beim Anlegen der Abbildungen 1 und 2 weitgehend berücksichtigt: Die Isotachen der Abb. 2 stellen bereits ein recht großes Maß einer Durchbiegung dar, während das Relief in Abb. 1 für die Isotachen vielleicht als Minimalwert – nur durch Erosion oder allerjüngste Tektonik zustande gekommen – gedacht werden kann. Unter diesen Gesichtspunkten erscheint der Vorrang der Konstruktion ab Bezugsniveau (wenn möglich mit Glättungsausgleich) gegenüber derjenigen ab Bohrloch völlig gesichert.

Kapitel 6

Beispiel aus der Praxis

Viele Beispiele über die auftretenden Fehler in Gebieten mit recht junger Tektonik (Fall I, Abb. 1) lassen sich im Voralpengebiet, in der sogenannten Molasse finden. Abb. 4 zeigt ein Profil mit einer bewegten Oberfläche. Die Vertiefung bei den Schußpunkten 106 bis 108 ist durch ganz junge Erosion zustande gekommen, während die Höhen aus jungem diluvialen Material bestehen. So darf man von vornherein annehmen, daß der Isotachenverlauf trotz der Topographie vorwiegend eben (und im wesentlichen horizontal) verläuft. Diese Annahme wird bestätigt, wenn man die vier durchgeführten Konstruktionen derselben Horizonte kritisch betrachtet. Um die Darstellung übersichtlich zu gestalten, wurden die berechneten Teufen – wie in den beiden theoretischen Abb. 1 und 2 – senkrecht unter den einzelnen Sprengpunkten aufgetragen.

Schon die normale Konstruktion von Bezugsniveau (ausgezogene Linie) zeigt sich durch einen glatteren (vernünftigeren) Verlauf der Konstruktion ab Bohrloch (gestrichelte Linie) überlegen. Man beachte bei der Konstruktion ab Bohrloch die fiktive Antikline bei Sprengpunkt 107 und 108. An anderen Punkten (besonders bei Sprengpunkt 106, 109 und 111) sind überall, d. h. bei allen Konstruktionsarten und Horizonten kleine, meist eckige fiktive Verbiegungen festzustellen. Hierin erkennt man ohne wei-

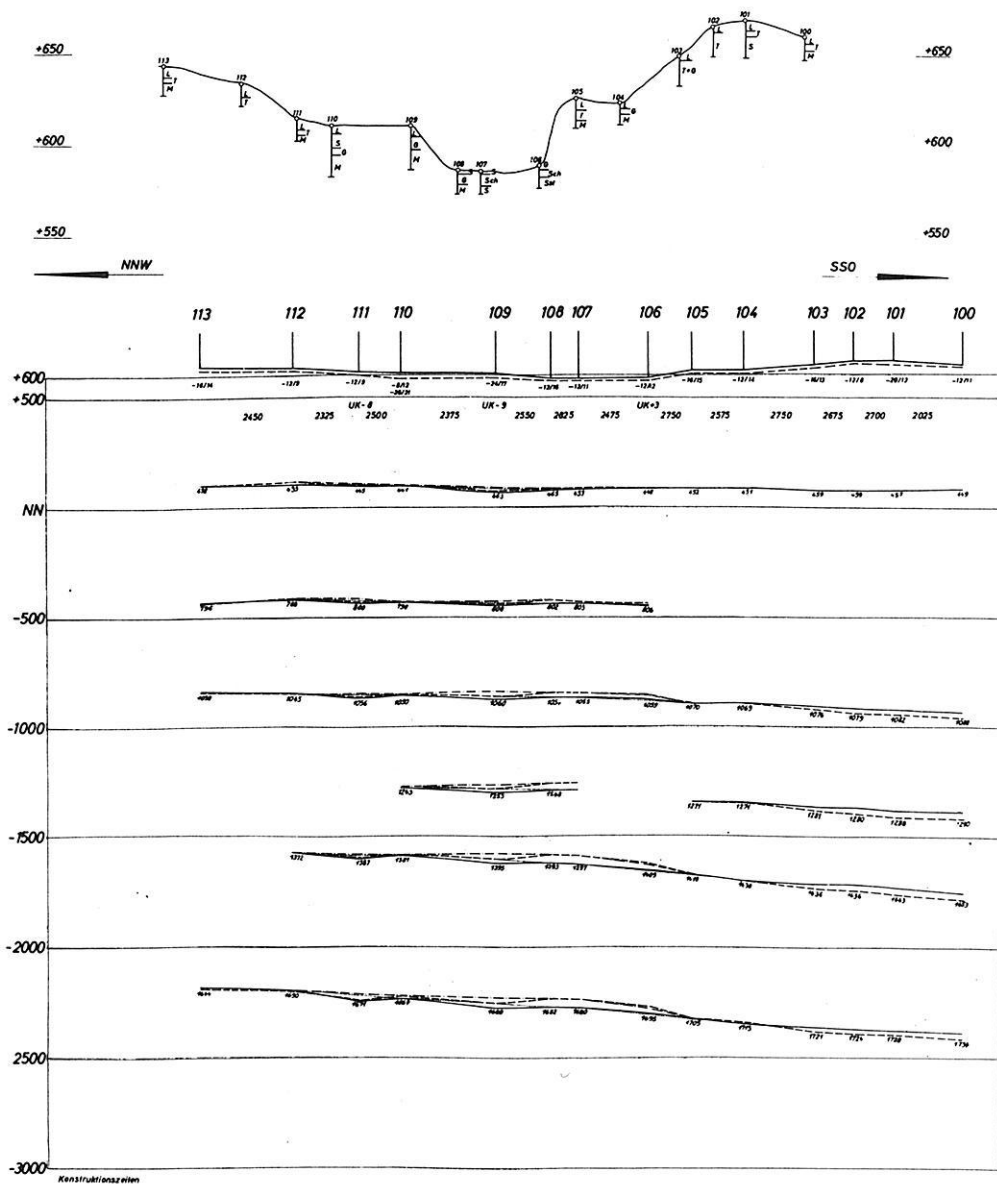


Abb. 4: Beispiel aus der Praxis zu Fall 1, Abb. 1. Alle Horizonte wie in Abb. 1 nach vier Verfahren konstruiert.

ausgezogene Linie: Konstruktion ab Bezugsniveau

gestrichelte Linie: Konstruktion ab Bohrlochniveau

punktierte Linie: Konstruktion ab Bezugsniveau nach zeitlichem Ausgleich durch Glätten des oberen Horizontes.

strichpunktierte Linie: Konstruktion ab Bohrlochniveau nach zeitlichem Ausgleich durch Glätten des oberen Horizontes.

teres den Inhomogenitätsfehler a. Er wurde an den oben angeführten Sprengpunkten durch Glätten des oberen Horizontes und entsprechende Unterschlußkorrekturen beseitigt. Die punktierte Linie zeigt den Verlauf der Horizonte bei Konstruktion ab Bezugsniveau, die strichpunktierte Linie den Verlauf bei Konstruktion ab Bohrloch, beide nach erfolgter Glättungskorrektur (was man am genauesten an Hand eines Laufzeitprofils durchführt). Während die punktierten Linien einen nahezu fehlerfreien Verlauf zeigen, ist in der strichpunktierten Linienführung nach wie vor gut der Konstruktionsfehler b zu erkennen (Sprengpunkt 105 bis 110). Man beachte sein Anwachsen mit zunehmender Teufe.

Gute Beispiele für den Fall II (Isotachen unter dem Belastungsdruck leicht gebogen) sind in der Molasse seltener zu finden. Es zeigte sich jedoch in einem Untersuchungsgebiet Ostbayerns, daß Unterschlußkorrekturen weit häufiger bei tertiären als bei gleich starken diluvialen Geländeunebenheiten angebracht werden mußten.

Kapitel 7

Sonderfall: Tiefgreifende Tektonik

Es wurde bisher immer nur vom Einfluß der Belastung auf die Isotachen gesprochen. Der Vollständigkeit halber muß jedoch noch derjenige Fall erwähnt werden, daß der Untergrund selbst – und damit seine Isotachen – durch eine alte und starke Tektonik verformt sind. Abtragungen haben das alte Relief verflacht oder jüngere Ablagerungen haben es verändert.

Es ist von vornherein klar, daß solche Verhältnisse formelmäßig nicht erfaßt werden können. Hier können geologische Kenntnisse oder Tiefbohrungen Anhaltspunkte geben. Weiß man von einer solchen tiefgreifenden Tektonik, wie sie etwa in den Deutschen Mittelgebirgen auftritt, dann sollte in diesem Fall – und nur in diesem Fall – als erste Näherung eine Konstruktion ab Bohrlochniveau stattfinden. Aus dem Bild eindeutiger Horizonte verschiedener Teufen lassen sich umgekehrt wieder Rückschlüsse auf die Tektonik ableiten:

Zeigen nämlich 1) die Horizonte aller Teufen mit der Tiefe zunehmende fiktive Verbiegungen im umgekehrten Sinne wie die Erdoberfläche (Bohrlochniveau), so weiß man, die Verbiegung der Isotachen klingt mit der Tiefe ab. Nach *Faust's* $1/6$ -Gesetz kann auch die Tektonik nicht allzu stark sein. Man hat also – evtl. abgeschwächt – den "Konstruktionsfehler" b vorliegen. Zeigen jedoch 2) die Horizonte aller Teufen bei Konstruktion ab Bohrloch fiktive Verbiegungen im gleichen Sinne wie das Oberflächenrelief, dann ist auch die Verbiegung der Isotachen (und erst recht die Tektonik) in der Tiefe stärker als an der Erdoberfläche.

Auch bei einer derartigen tiefgreifenden Tektonik lassen sich also bei Kenntnis der Fehlermöglichkeiten gewisse Aussagen machen. In allen anderen Fällen, also bei nur geringer tiefer Tektonik und bei allen alluvialen und diluvialen Oberflächenverformungen, bleibt der Vorrang der Konstruktion ab Bezugsniveau vor derjenigen ab Bohrlochniveau erhalten.

Für die Praxis wäre es in topographisch schwierigen Untersuchungsgebieten äußerst wünschenswert, durch wenige, an exponierten Geländepunkten angesetzte, mindestens 100 m tiefe Bohrungen eine ungefähre Klärung des Isotachenverlaufs zu erreichen, besonders natürlich dann, wenn kein oberer durchlaufender, stückweise ebener Horizont vorhanden ist.

Zur Beurteilung flacher Strukturen in Gebieten mit bewegter Oberfläche ist eine Kenntnis über Ausschaltung und Ursache der auftretenden Fehler äußerst wünschenswert. Der Verfasser möchte an dieser Stelle den Herren Dr. Heimbürg und Dr. John (PRAKLA), Dr. Schulze und Inselmann (Gewerkschaft Brigitta) und Dr. Lohr (Gewerkschaft Elwerath) für wertvolle Anregungen danken.

Literatur

- [1] Baillie, W. and Rosza, T.: "The Effect of Topography on Nearsurface Velocities". Geophysics, Vol. XXI, Nr. 4 (Oktober 1956).
- [2] Faust, L. Y.: "Seismic Velocity as a Function of Depth and Geologic Time". Geophysics, Vol. XVI (1951), S. 192-206.
- [3] John, H.: "Das Geschwindigkeitsproblem im Bereich der schwäbischen Vorlandmolasse". Erdöl und Kohle, H. 5, Mai 1956.
- [4] Krey, T.: "A Remark Concerning the Problem of How to Place the Reference Plane (Datum Level) in Reflection Seismic Prospecting". Geophysics, Dezember 1954, S. 281-284.
- [5] Selem, A. M.: "Reflection Survey in Rough Topography". Geophysical Prospecting, Vol. 3, Nr. 3, September 1955.