

Werk

Jahr: 1930

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:6

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0006

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0006

LOG Id: LOG_0007

LOG Titel: Geophysikalische Messungen unter Tage

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

Geophysikalische Messungen unter Tage*)**)

(Jenaer geophysikalische Forschungsarbeiten, unterstützt von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft)

Von **O. Meisser** und **F. Wolf**. — (Mit 10 Abbildungen)

Es ergeben sich anschaulich aus dem Verlauf des Schwerfeldes die Grundlagen für Drehwaagemessungen unter Tage. Von einem praktisch ausgeführten Beispiel im Salzbergbau werden die Ergebnisse gezeigt. Gleichzeitig wird dabei die notwendige Ergänzung durch andere geophysikalische Arbeitsmethoden (magnetisches, seismisches Verfahren) betont, um ein möglichst vollständiges Bild auf geophysikalischer Grundlage zu erhalten.

Die Anwendung der geophysikalischen Verfahren auf Probleme des Bergbaues bietet prinzipiell keine Schwierigkeiten. Im allgemeinen erfordert ja die Bearbeitung jeder praktischen Aufgabe meistens, und wenn auch nur bei der Auswertung, eine leichte Modifikation der jeweiligen üblichen Methode, obwohl in großen Zügen das Handwerkszeug mit seinen physikalischen Grundlagen schematisch gegeben ist. Beachtet man diesen allgemeinen Gesichtspunkt, so wird man sich auch leicht bei den besonderen Anforderungen für Untertagemessungen im einzelnen zurechtfinden. Im folgenden sollen die allgemeinen Richtlinien für Drehwaagemessungen im Bergwerk gegeben werden. Die Brauchbarkeit der Methode zeigt dann ein Beispiel in Kombination mit einigen anderen Verfahren.

Über die Verwendung von der Drehwaage unter Tage sind in der Literatur nur spärliche Beispiele***) veröffentlicht. Für gewöhnlich ist die Meinung verbreitet, daß der Gradient stets nach der schwereren Massenkonfiguration zu zeigt. Ich will nachweisen, daß diese Aussage in jener allgemeinen Form nur bedingt richtig ist. Nimmt man als Beispiel das Schwerfeld einer unendlich breiten und langen dichteren Stufe — aus dieser geometrischen Form kann man alle für Bergwerksmessungen erforderlichen Formeln ableiten — in einem homogenen Felde, so werden die Schwerevektoren durch das dichtere Medium angesaugt, wie es das Newtonsche Anziehungsgesetz fordert. In Fig. 1 sind vier entsprechende Vektoren gezeichnet. Die Schwere g_i setzt sich aus dem Werte g_0 für das homogene Feld und dem Störvektor g'_i zusammen. Gemäß der Definition für den Gradienten (die Änderung der Vertikalkomponente der

*) „Vortrag, gehalten auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Dresden 1929.“

***) Die ausführliche Veröffentlichung dieser Arbeiten erfolgt in den „Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbettenforschung in Jena“, herausgegeben vom Direktor O. Hecker.

****) A. Birnbaum: Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung IV, 2, 361—362 (1924); Derselbe: Drehwaagemessungen im Salzbergbau über und unter Tage, Kali 1924, 18, 144—148; H. Holst: Drehwaagemessungen im Schuainsland. Mitt. d. Bad. Landesanst. 1928, Nr. 1.

Schwere längs der Horizontalen) braucht man nur die vertikale Komponente, die durch $g_0 + g_{0i}$ gegeben ist, zu betrachten, es wird für die Punkte 1, 2

$$\left(\frac{\partial g}{\partial s}\right)_{1,2} = \lim_{x_2 \rightarrow x_1} \frac{g_{02} - g_{01}}{x_2 - x_1} > 0$$

und für die Punkte 3, 4 unterhalb des Stufenschwerpunktes

$$\left(\frac{\partial g}{\partial s}\right)_{3,4} = \lim_{x_4 \rightarrow x_3} \frac{g_{04} - g_{03}}{x_4 - x_3} < 0,$$

da sich der Richtungssinn der g_{0i} umgekehrt hat. Wenn man so rein geometrisch-physikalisch aus dem Feldverlauf definitionsgemäß den Gradienten ableitet, versteht man auch den Vorzeichenwechsel von $\partial g / \partial s$ parallel zur Stufenhöhe

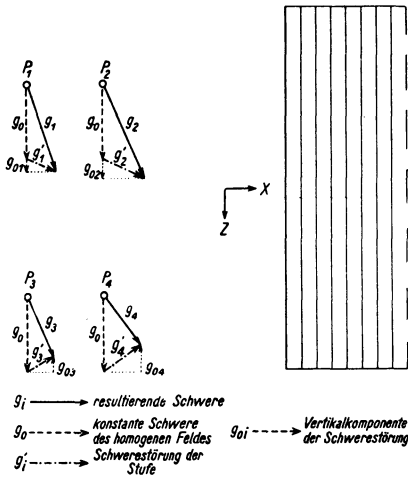


Fig. 1

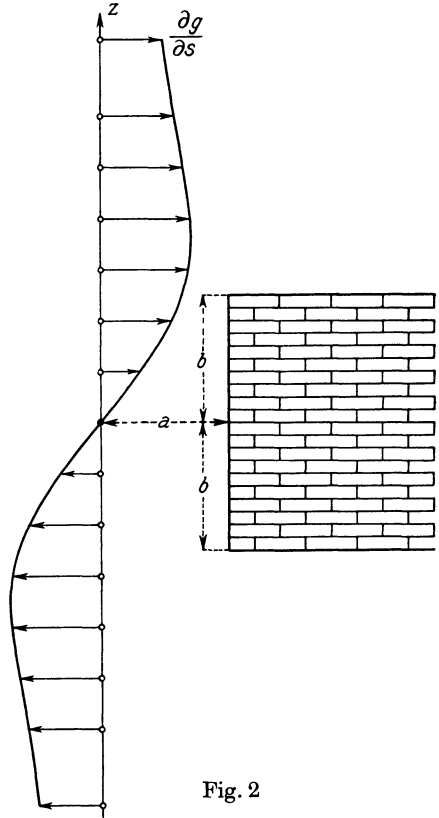


Fig. 2

(z), wie er in Fig. 2 dargestellt ist*). Für die Diskussion des Gradientenbildes ergibt sich somit eine Zweideutigkeit in der Lage der schweren Masse,

*) In der Bezeichnung nach Fig. 2 wird formelmäßig

$$\frac{\partial g}{\partial s} = k(\sigma - \sigma_0) \ln \frac{a^2 + (b - z)^2}{a^2 + (b + z)^2},$$

wobei $k = \frac{200}{3} \cdot 10^{-9}$ die Gravitationskonstante und $(\sigma - \sigma_0)$ der Unterschied der Gesteinsdichte σ gegenüber dem umgebenden Medium σ_0 bedeutet. Der Gradient hat für seinen vertikalen Verlauf bei

$$z = \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

wenn auch anziehende Massen über dem Drehwaageschwerpunkt liegen können. Daher ist die oben gegebene Aussage über die Richtung des Gradienten nur richtig, wenn man Messungen an der Erdoberfläche vornimmt. Aus diesem geometrischen Vektorenbild versteht man auch, daß die Korrekturen für Drehwaagestationen am Fuße von Bergen oder hohen Halden stets negativ im Gradienten ausfallen müssen. Messungen unter Tage erhalten somit ebenfalls eine unangenehme Mehrdeutigkeit, wenn man über die Lagermächtigkeiten der schwereren Massen über bzw. unter dem Meßstollen keine bestimmten Angaben machen kann. Diese Unsicherheit der Drehwaagemessungen kann auch nicht durch Diskussion der Krümmungsglieder entschieden werden. Man ist zur Behebung dieser Zweideutigkeit, wenn nicht geologische Tatsachen hilfreich zur Seite stehen, meistens noch auf die Heranziehung anderer Methoden angewiesen.

Bei den Drehwaagemessungen nehmen die Korrekturen für die sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten eine wichtige Stelle ein. Die Beobachtungen an der Erdoberfläche werden auf die Tangentialebene an die Niveaulfläche im Schwerpunkt der Drehwaage bezogen. Für diese Ebene sind sowohl Gradient wie Krümmungsglieder Null. Wenn man unter Tage mißt, fragt es sich, was für eine geometrische Bezugsfläche man zugrunde legt, um die entsprechenden Unregelmäßigkeiten im Profil hinwegzurechnen. Die gesuchten Störungswerte ergeben sich aus den Beobachtungen, indem man außer den Korrekturen für die Unregelmäßigkeiten der Umgebung noch die Werte für die Bezugsfläche in Abzug bringt. Die Bezugsfläche muß einmal einfache Ausdrücke für die Gradienten- und Krümmungsgrößen besitzen und weiterhin sich weitgehend dem normalen Stollenprofil anpassen. Als theoretischen Bezugsstollen für die Korrekturen habe ich ein unendlich langes Parallelepiped gewählt, d. h. einen unendlich langen Stollen mit rechteckigem Querschnitt. Die Formeln für dieses Gebilde lassen sich bequem aus der Kombination zweier unendlich langer und breiter Stufen ableiten, sofern man es nicht vorzieht, sie durch Spezialisierung aus dem relativ einfachen Potential

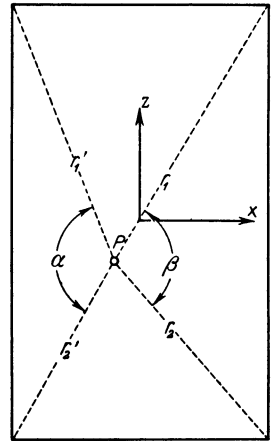


Fig. 3

ein Maximum vom Betrage

$$\left(\frac{\partial g}{\partial s}\right)_{\max} = \pm k(\sigma - \sigma_0) \ln \frac{a^2 + b^2 - b\sqrt{a^2 + b^2}}{a^2 + b^2 + b\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Dieser Zeichenwechsel des Gradienten kann man formal auch aus der Wirkung für ein Massenelement gemäß

$$\frac{\partial g}{\partial x} = + 3 k (\sigma - \sigma_0) \frac{z \varrho^2 \cdot \cos a \, dz \, d\varrho \, da}{\{\varrho^2 + z^2\}^{5/2}},$$

ableiten, wenn der Aufpunkt im Koordinatenursprung ($\varrho = z = 0$) liegt und räumliche Polarkoordinaten ϱ , a , z gewählt werden.

eines Parallelipeds selbst abzuleiten. Für einen unendlich langen Gang findet man bei homogenem anstehenden Material (σ) und glatten Wänden gemäß der Bezeichnung in Fig. 3 (die y -Achse fällt in die Gangrichtung)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} &= 0, \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= 2 k \sigma (\alpha + \beta), \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial z} &= 0, \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} &= + 2 k \sigma \ln \frac{r_2 \cdot r_2'}{r_1 \cdot r_1'} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

In Fig. 4 und 5 sind die Kurven für $\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} = \text{const}$ und $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \text{const}$ von Herrn Dr. F. Wolf berechnet und gezeichnet. Die Gradientenverteilung (Fig. 4) weist zwei Symmetriegrade mit dem Gradienten Null auf. Diese Erscheinung ist physikalisch nicht weiter verwunderlich, da die Kraftlinie längs der z -Achse aus Symmetriegründen ungestört bleibt und andererseits der Gradient längs der x -Achse, wie wir oben gesehen hatten, verschwindet. In der geometrischen Profilmitte ist der Gradient streng Null und in der unmittelbaren Umgebung davon sehr klein, so daß man den Drehwaageschwerpunkt selbstverständlich an diesen Punkt bringen wird. Das Krümmungsglied (Fig. 5) hingegen weist in der Mitte einen relativ großen Wert auf, das Maximum liegt erst beim Schnittpunkt der x -Achse mit den beiden Profilmäandern. Immerhin ist der Bereich in der Mitte relativ wenig veränderlich, so daß man auch hier praktisch noch messen kann; wegen der beträchtlichen Größe von $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ kommt jedoch diesem Ausdruck keine große Bedeutung zu. Für die Aufstellung der Drehwaage in der Profilmitte, die nur ein in der Höhe verstellbares Stativ erfordert, findet man aus obigen Ausdrücken

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} &= 0, \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= 8 k \sigma \arctg \frac{\text{Höhe}}{\text{Breite}} \text{ des Profils,} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} &= \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial z} = 0. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Somit bleibt nur eine Korrektur für das Krümmungsglied $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ übrig, das annähernd ein Maximum bei dieser symmetrischen Aufstellung annimmt.

Bei praktischen Messungen hat man es in den seltensten Fällen mit einem idealen Gang zu tun, man muß die Unregelmäßigkeiten als einzelne Massenelemente

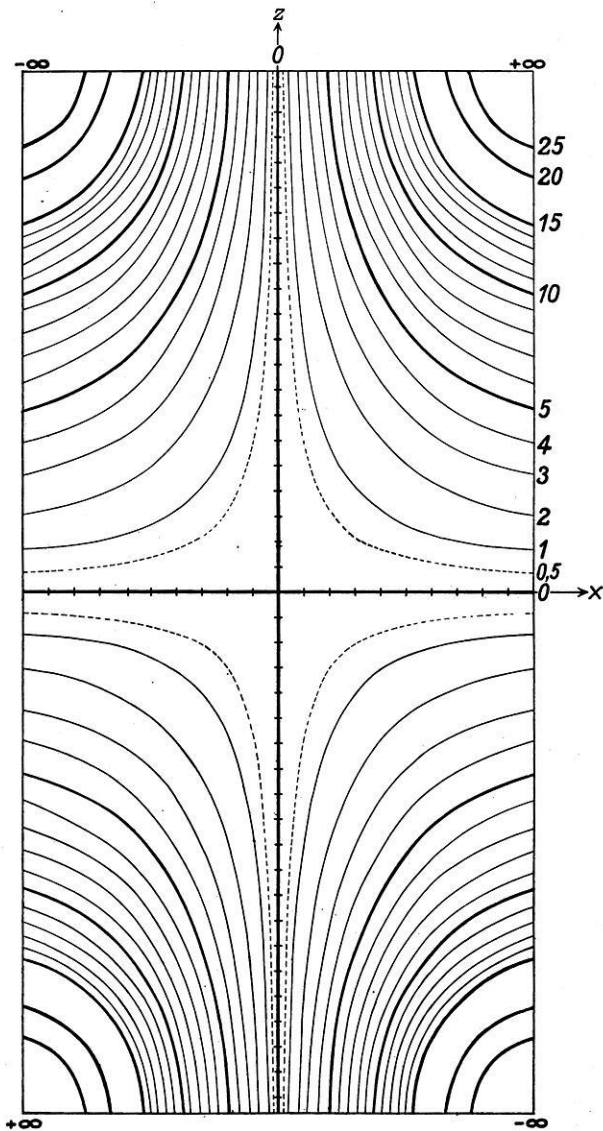


Fig. 4

bzw. nach einem der üblichen Korrektionsverfahren so weit wegrechnen, bis man das angenommene ideale Profil erhält. Die etwas größere Unsicherheit in den Korrekturen gestattet auch eine Drehwaage mit geringerer Empfindlichkeit zu benutzen. Um den Raum der kleinen Gradienten in der Profilmitte meßtechnisch bequem ausnutzen zu können, wurde eine ältere kleinere

Heckersche Drehwaage für Bergwerksmessungen hergerichtet. Die Instrumentalkonstanten sind: Gesamtlänge des Waagebalkens 21 cm, hängendes Gewicht

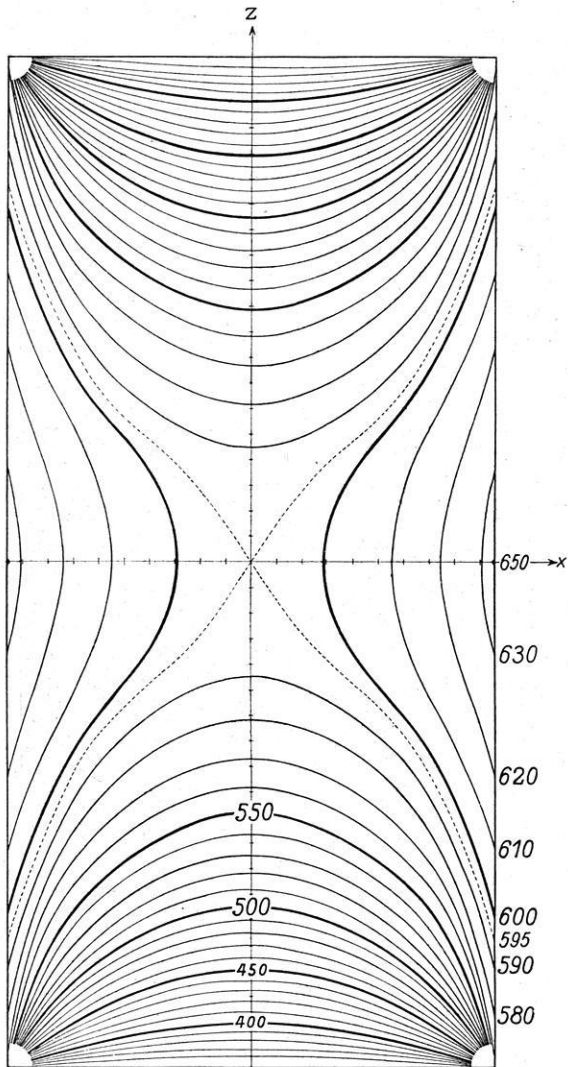


Fig. 5

21 g, Höhendifferenz der beiden Gehängegewichte 36 cm, Torsionskonstante 0,32 bei einer Drahtlänge (W_0) von 31 cm. Das Instrument war auf einem in der Höhe verstellbaren Fuß (s. Fig. 6) montiert, der es erlaubte, den Drehwaageschwerpunkt bequem um 1 m zu verändern. Die Meßgenauigkeit für den

Gradienten betrug ± 2.5 E., eine Zahl, die für Untertagemessungen vollkommen ausreicht.

Zunächst mußten die vereinfachten Relationen für einen recht glatten Gang in verschiedenen Höhen- und Breitenstellungen geprüft werden, fernerhin war es erforderlich, einmal zu untersuchen, bis zu welchen Gangbreiten herunter die vereinfachten Drehwaageauswertungsformeln noch stimmen oder ob die höheren Potentialglieder sich bereits störend bemerkbar machen. Über diese Messungen in einem unterirdischen Buntsandsteinstollen wird Herr Dr. F. Wolf*) später berichten. Ich will nur hier erwähnen, daß die gezeichneten theoretischen Kurven in Fig. 4 und 5 sich auch praktisch ergeben und daß die benutzte kleine Drehwaage bei einer Gangbreite von 0.80 m wegen der Symmetrie der Kraftlinien noch recht brauchbare Ergebnisse innerhalb der zulässigen Fehlergrenze von ± 3 E. ergab.

Um die Anwendung auch an einem praktischen Beispiel zu zeigen, wurden in einem Salzbergwerk in etwa 700 m Tiefe Drehwaagemessungen ausgeführt. In dem Grubenfeld war in dieser Tiefe in das Salz ($\sigma \sim 2.2$) Basalt ($\sigma \sim 3.0$) eingelagert. Das Basaltvorkommen, das eine Mächtigkeit an den verschiedenen Stellen,

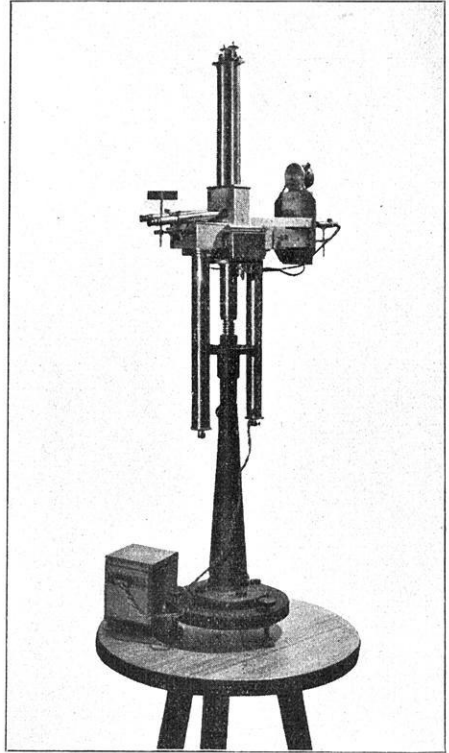


Fig. 6

wo es durchfahren ist, von 0.4 bis etwa 90 m hat, gab wegen der großen Unterschiede in den spezifischen Gewichten ein günstiges Anwendungsbeispiel. In Fig. 7 und 8 sind die reduzierten Gradienten bzw. Krümmungsglieder für die Strecken gezeichnet, die den Basalt senkrecht durchfahren. Die Mehrdeutigkeit der Gradienten für Fig. 7 läßt sich durch den geologischen Aufschluß in einer Parallelstrecke beseitigen, da die Basalmächtigkeit nach der Tiefe hin zunehmen muß. Die Diskussion des Gradientenbildes in Fig. 8, das nur die Stationen im anstehenden

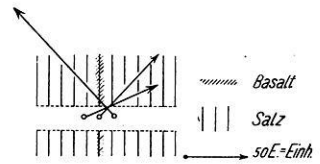


Fig. 7

*) Diese Arbeit wird ebenfalls in den Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Jena, erscheinen.

Basalt wiedergibt und das in seiner Regelmäßigkeit schlagend die Brauchbarkeit der Drehwaage auch unter Tage erkennen läßt, soll ergeben, auf welcher Seite der aufgeschlossenen Strecken sich die größere Basaltmächtigkeit befindet. Da sich die Anwesenheit des Basalts an der Erdoberfläche auch durch eine Breccie bemerkbar macht, wurde gleichzeitig über und unter Tage die Änderung der magnetischen Vertikal- und Horizontalintensität mitgemessen. Aus dem Verlauf der Isogammen an der Erdoberfläche ließ sich die Lage der größten Basaltmächtigkeit ermitteln, die recht gut mit den Angaben der Gradienten

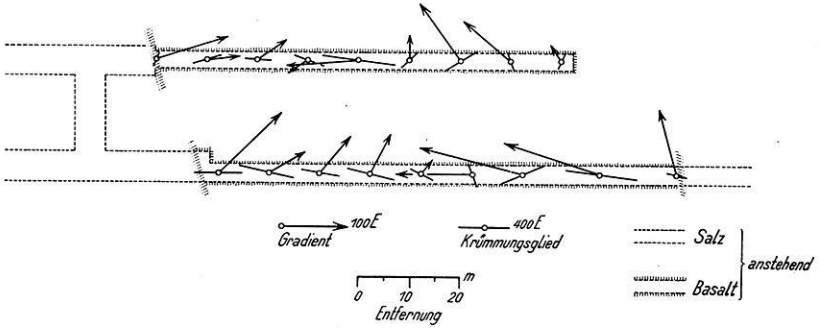


Fig. 8

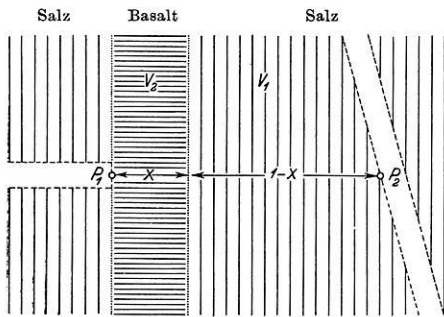


Fig. 9

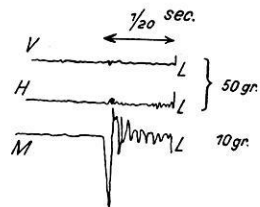


Fig. 10

unter Tage übereinstimmt, während die Abweichung der Vertikalintensität in ihrer Gleichsinnigkeit über und unter Tage für die Strecke in Fig. 8 zu dem Schluß zwingt, daß die Ursache für die Störungsgradienten noch unter der 700 m-Sohle zu suchen ist*).

Um auch die Mächtigkeit des Basalts, wo er angefahren war, zu bestimmen, wurde in den betreffenden Strecken die Horizontalintensität gemessen. Aus der Änderung dieser Komponente — die Störung ist proportional der eingelagerten

*) Die ausführlichen Messungen mit den geologischen Einzelheiten werden später, ebenso die magnetischen Messungen von Herrn Dr. H. Martin in den Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Jena, mitgeteilt werden.

Basaltmasse — kann man bei einiger Vernachlässigung auf die Dicke des Basalts schließen. Wesentlich sicherere Ergebnisse erhält man mit der seismischen Methode. Da man in größerer Entfernung annähernd parallel zum Streichen des Basalts eine weitere Strecke hatte, so war es möglich, durch eine Sprengung in P_2 einen Schall nach P_1 zu senden. Die mittlere Geschwindigkeit v_m für die durchlaufene bekannte Strecke läßt sofort den im Basalt und den im Salz zurückgelegten Prozentanteil des Weges finden. Beträgt die Schallgeschwindigkeit (s. Fig. 9) im Salz v_1 , im Basalt v_2 , die Mächtigkeit des durchlaufenen Basalts $x \cdot 100\%$ und die des Salzes dann $(1 - x) 100\%$ vom Gesamtweg, so ist

$$v_m = \frac{v_2}{\frac{v_2}{v_1} - x \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right)} \quad (v_1 < v_2^*).$$

Bei unseren Versuchen ergab sich $v_1 = 4.45 \text{ km sec}^{-1}$ und $v_2 = 5.06 \text{ km sec}^{-1}$ in einer Tiefe von 715 m. Aus den beobachteten mittleren Geschwindigkeiten, die zwischen v_1 und v_2 liegen, wurden die Basaltmächtigkeiten für diese Tiefe ermittelt. Für die Poissonsche Zahl σ des Basalts ergab sich nebenbei aus

$$\left(\frac{v_{\text{long}}}{v_{\text{trans}}}_{\text{Bas}} \right) = 1,86,$$

$$\sigma_{\text{Bas}} = 0,296.$$

Die seismischen Messungen wurden mit Erschütterungsmessern (Horizontal- und Vertikalseismometer $T \sim 0.1 \text{ sec}$, $V = 20000$ fach) und einem akustischen Mikrophonempfänger vorgenommen. In Fig. 10 sind die Registrierungen bei derselben Schußentfernung (70 m) für das Horizontal (H)- und Vertikal (V)-seismometer mit 50 g Sprengstoff wiedergegeben, während M die Registrierung des Mikrophonempfängers mit nur 10 g Sprengstoff zeigt. Diese Kurven beweisen deutlich die Überlegenheit eines elektrischen Empfängers mit hoher Eigenfrequenz beim Arbeiten im Gestein mit großen Werten von Dichte \times Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit (Schallhärte).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß man unter gewissen Umständen mit der Drehwaage auch unter Tage sicher messen kann, zumal sich bei der Reduktion der Streckenunebenheiten auf einen rechteckigen Querschnitt die Korrekturen recht einfach gestalten. Ein praktisches Beispiel zeigt die Brauchbarkeit der Methode und die Notwendigkeit, wie man in dem besonderen Falle bestrebt sein muß, durch weitere Anwendung magnetischer und seismischer Arbeitsverfahren die Messungen auf eine geophysikalische sicherere Basis zu stellen.

*) Bei einer Entfernung Schuß—Empfänger = a wird die im Salz durchlaufene Strecke w_s

$$w_s = a \frac{v_{\text{Bas}} - v_m}{v_{\text{Bas}} - v_{\text{Salz}}} \cdot \frac{v_{\text{Salz}}}{v_m}.$$