

## DIE EÖTVÖSSCHE DREHWAAGE IM UNTERTAGEEINSATZ

Mit 7 Abbildungen

von

O. M E I S S E R

Freiberg, Sachsen

Eingegangen 28. 9. 1963.

### ZUSAMMENFASSUNG:

Ausgehend von den klassischen Arbeiten R. v. Eötvös' werden historisch die technischen Entwicklungen der Drehwaage und ihr weltweiter Einfluß auf die geophysikalische Erdölsuche dargestellt. Um auch für heute noch weitere Anwendungsbeispiele zu geben, wird der Einsatz der Drehwaage im Bergwerk aufgezeigt. Die konstruktiven Möglichkeiten, die Ausschöpfung der theoretischen Grundlagen des Schwerefeldes und der in der Praxis erprobte Einsatz lassen auch in Zukunft von Fall zu Fall in der Bergwerksgeophysik eine Verwendung der Drehwaage erwarten.

Die Drehwaage, wie sie in ihrer allgemeinen und klassischen Form von R. Eötvös [1]\* bereits 1896 zur Bestimmung des horizontalen Schweregradienten und der Krümmungsglieder veröffentlicht wurde, ist bis auf geringfügige technische Verbesserungen nach Theorie, Handhabung und Interpretationsgrundlagen kaum noch grundsätzlich ergänzt worden. Die Arbeit von Eötvös und die diesbezüglichen Beiträge seiner unmittelbaren Schüler stellen auch heute noch eine in sich abgeschlossene Grundlagenarbeit dar, die rückblickend stets als eine außergewöhnliche Leistung gewürdigt werden muß.

T e c h n i s c h sind die Einführung der automatischen photographischen Registrierung bei der Doppelhängewaage durch O. Hecker [2] und die systematische Verkleinerung der Gehänge-Dimensionen für das ungarische Modell durch I. Rybár [4] als Weiterentwicklung zu nennen. Theoretische Überprüfungen durch K. Mader [3, S. 83] und K. Kilchling [5] ergaben, daß der lineare Ansatz für das Schwerefeld innerhalb der Drehwaage praktisch ausreichend ist.

Wegen der langen Beobachtungszeiten wurden Vierhängewaagen gebaut [Hecker, Poddubnyj [6]]. Eine wesentliche Verkürzung der Beobachtungs-

\* [ ] Literaturhinweis, ( ) Formelhinweis.

zeit läßt sich jedoch nur über eine ausgewogene Dimensionierung des Gehänges erreichen. Betragen die Konstanten eines Drehwaagegehänges [3, S. 83]:

$m$	punktförmige gleiche beiderseitige Massen des Gehänges
$2l$	horizontaler Abstand der beiden Gehängemassen $m$
$h$	vertikaler Abstand der beiden Gehängemassen $m$
$\tau$	Torsionskonstante des Aufhängedrahtes
$K$	Trägheitsmoment des Gehänges ( $K \sim 2l^2 m$ )
$T$	Schwingungsdauer des Gehänges $\left( T \sim 2\pi \sqrt{\frac{K}{\tau}} \right)$ ,

so sind die durch die Abmessung bedingten Empfindlichkeitsfaktoren für die

$$\text{Gradientenkomponenten:} \quad \frac{hlm}{\tau} \sim \frac{T^2}{8\pi^2} \cdot \left( \frac{h}{l} \right) \quad (1)$$

$$\text{Krümmungsglieder:} \quad \frac{K}{\tau} \sim \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (2)$$

Die neue Tendenz ist,  $T$  bis in die Größenordnung einer Minute zu verkleinern [6], die Genauigkeit der Krümmungsglieder entsprechend zu reduzieren und die Drehwaage unter Ausschöpfung des Faktors  $h/l$  betont als Gradientenmesser (etwa  $\pm$  einige  $E$ ) zu benutzen. Einer optischen oder elektrischen Vergrößerung des Winkelausschlages wird nur durch den mikroseismischen Störpegel, durch sonstige Erschütterungen im Gelände und durch eine geeignete Dämpfung von schädlichen Gehängeschwingungen eine praktische Grenze gesetzt.

Wirtschaftlich hat die Eötvössche Drehwaage bei der Erdölerschließung in den zwanziger Jahren einen umfassenden weltweiten Einsatz gefunden, der Anfang der dreißiger Jahre durch das Aufkommen von feldbrauchbaren Gravimetern praktisch zum Erliegen kam. Trotzdem kann man auch noch heute in geeignetem Gelände kleinere strukturelle Teilprobleme unter Umständen mit der Drehwaage geeignet bearbeiten. Wegen der Geländekorrekturen und einer vernünftigen Beobachtungszeit ist die Wirtschaftlichkeit jedoch stark beschränkt.

Einen nicht voll ausgeschöpften Einsatz kann die Drehwaage in der Grube finden. Erste Versuche fanden in Ungarn 1928 von Oszlaczky und Bakos in der Doroger Kohlengrube in 250 m Tiefe statt [7]. Eigene Messungen [3, S. 100] habe ich Ende der zwanziger Jahre im Werrakaligebiet (Thüringen) ausgeführt. Die Anlage der Untertagemessungen wird durch die Korrekturen für den Streckenquerschnitt sowohl instrumentell wie aufstellungsmäßig bedingt.

Unter Verwendung der Ableitungen für das Potential  $U$  eines Prismas mit rechteckigem Querschnitt [8] und [3 S. 74] erhält man mit den Bezeichnungen nach Abbildung 1 für den Punkt  $P$  die

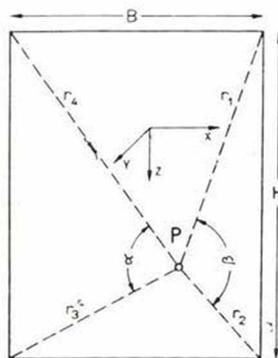
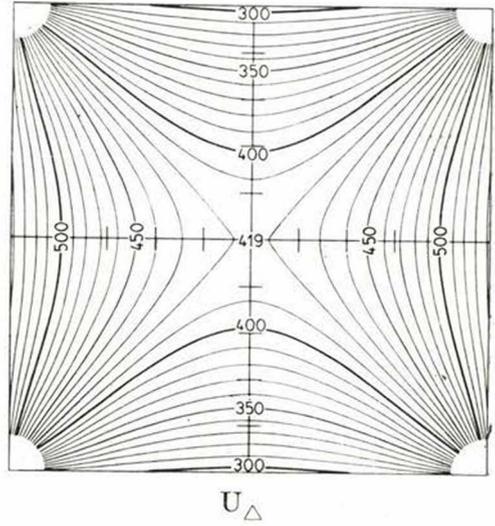
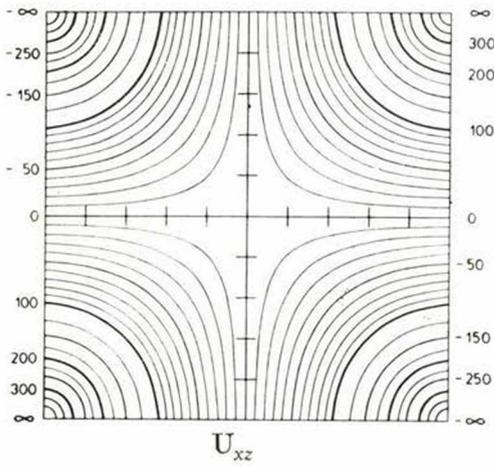


Abb. 1

Koordinaten des Punktes  $P$  im rechteckigen Streckenquerschnitt.

a



b

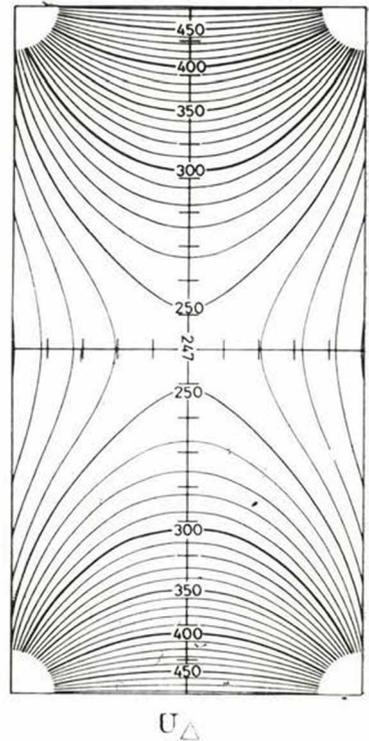
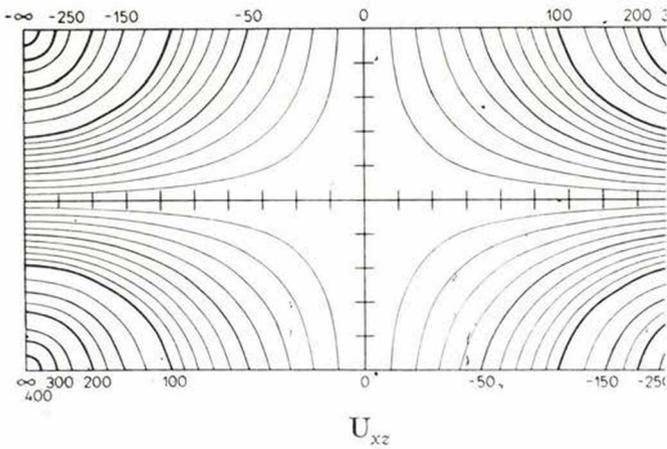


Abb. 2a und b

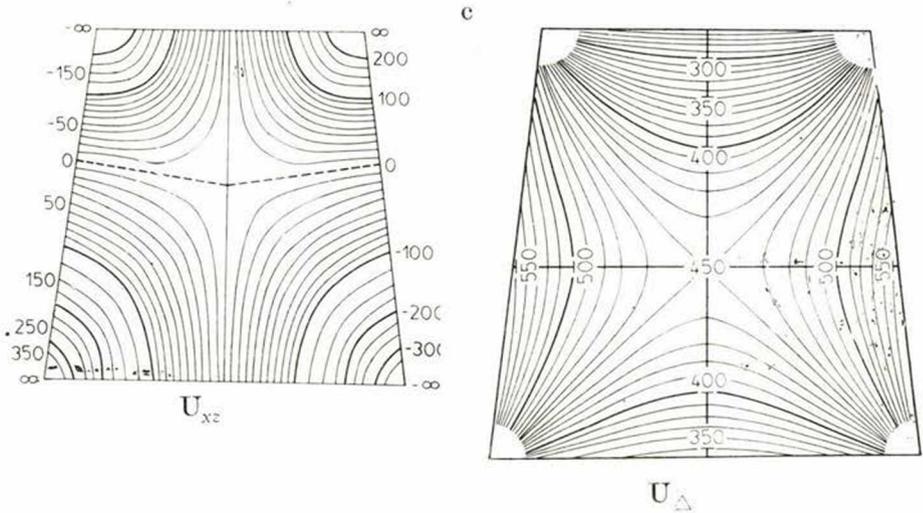


Abb. 2

a) Quadratischer, b) rechteckiger und c) trapezförmiger Streckenquerschnitt mit Linien gleicher Werte des Horizontalgradienten und des Krümmungsgliedes für die Dichte Eins

$$\text{Gradientenkomponenten: } U_{xz} = 2k \cdot \sigma \ln \frac{r_2 \cdot r_4}{r_1 \cdot r_3} \quad (3)$$

$$U_{yz} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Krümmungsglieder: } U_{xy} = 0 \quad (5)$$

$$U_A = U_{yy} - U_{xx} = 2k\sigma(\alpha + \beta) \quad (6)$$

Befindet sich der Gehängeschwerpunkt  $P$  in Streckenmitte, so vereinfachen sich die Formeln (3) und (6) zu

$$U_{xz} = 0 \quad (7)$$

$$U_A = 8k\sigma \operatorname{arctg} \frac{H}{B} \quad (8)$$

Dabei bedeuten  $k = \frac{200}{3} \cdot 10^{-9}$  die Gravitationskonstante und  $\sigma$  die Dichte des die Strecke umgebenden Gesteins. In der Abb. 2 sind für einen quadratischen (a), rechteckigen (b) und trapezförmigen (c) Streckenquerschnitt die Gradienten und das Krümmungsglied für die verschiedenen Lagen des Gehängeschwerpunktes im Querschnitt gegeben.

Aus den Formeln (3) und (6), wie aus den Abbildungen 2, ergeben sich folgende Folgerungen bei einem einigermaßen regelmäßigen Streckenquerschnitt, der auch bei Unregelmäßigkeiten als „Reduktionsfläche“ dienen soll:

Der Gehängeschwerpunkt ist in den Streckenmittelpunkt zu bringen. Hier ist der durch den Streckenquerschnitt bedingte Gradient Null, und das Krümmungsglied, das zur Dichte ( $\sigma$ ) bestimmung benutzt werden kann, besitzt ein Maximum. Daraus ergeben sich für die Aufstellung insbesondere die Forderung nach einem in der Höhe verstellbaren Stativ und für die Größe der Drehwaage eine Beschränkung in der Dimensionierung. Eine solche Anordnung zeigt Abb. 3. [9]

Eine wesentliche Bedeutung bei der Kleindimensionierung kommt der „Behandlung“ des Torsionsdrahtes zu. Eötvös benutzte Drähte aus einer Legierung von Pt und 10–20% Ir. Seine Wärmebehandlung und elastische Alterung war zeitraubend [1, S. 97/98 und S. 236 ff.], daher hat man später versucht, die Technologie zu verbessern. Bereits in den zwanziger Jahren ging man zu Wolframdrähten [3, S. 87] über, da dieses Material eine erhöhte Tragfähigkeit zeigt. Man kann die Wolframdrähte durch eine entsprechende Wärmebehandlung im Schutzgas in der Zugfestigkeit verbessern und gleichzeitig auch den Torsionsmodul in gewissen Grenzen „einstellen.“ Darüber hinaus muß der Temperaturgang des Nullpunktes überprüft werden.

In Abb. 4a ist die Belastbarkeit eines Wolframdrahtes vom Durchmesser  $\varnothing = 0,03$  mm in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt, während in Abb. 4b die Abhängigkeit der Belastbarkeit von der Temperatur wiedergegeben ist. Die Einstellung der Torsionskonstante  $\tau$  z. B. für Wolframdrähte  $\varnothing = 0,03$

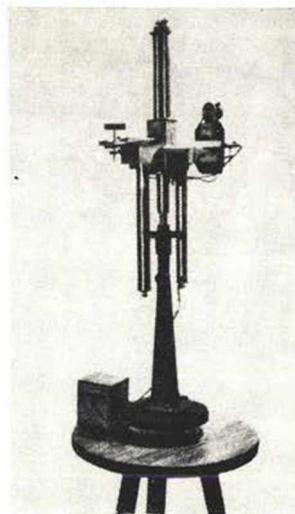


Abb. 3  
Kleindrehwaage auf vertikal verstellbarem Stativ

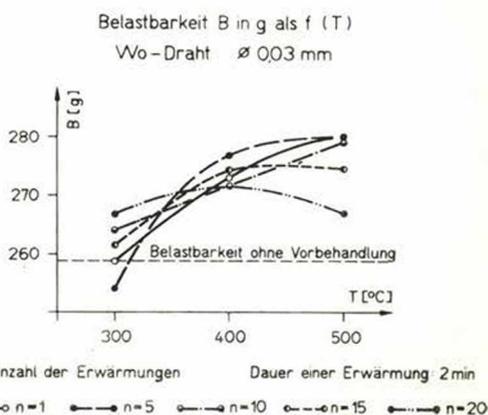
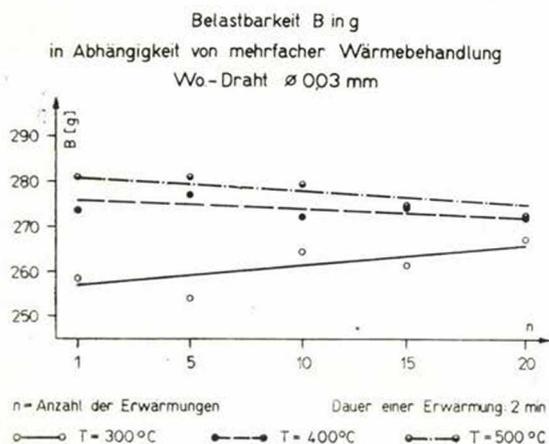
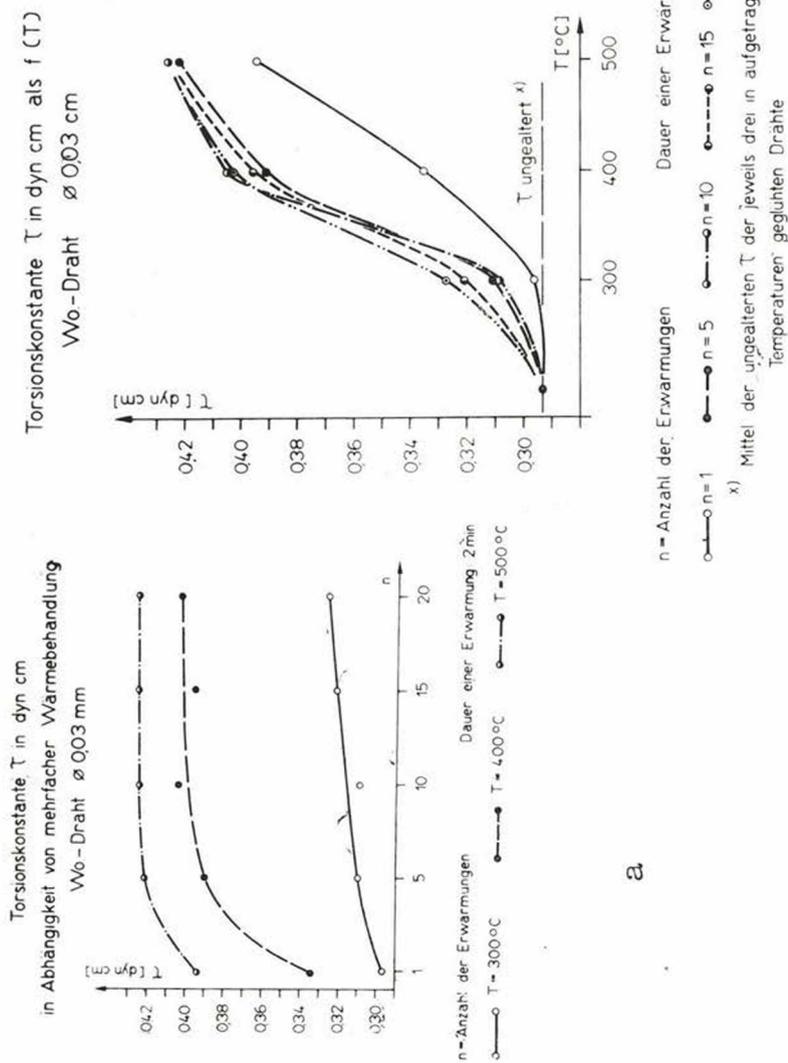


Abb. 4

Belastbarkeit von Wolframdrähten ( $\varnothing = 0,03$  mm) in Abhängigkeit von der Temperatur (a) und der Glühtemperatur (b)



b

Abb. 5

Torsionskonstante  $\tau$  von Wolframdrähten ( $\varnothing = 0,03$  mm) in Abhängigkeit von der Temperatur (a) und der Glühtemperatur (b)

mm in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt Abb. 5a, während in Abb. 5b die entsprechende Angabe in Abhängigkeit von der angewandten Temperatur dargestellt ist. Man kann nach vorliegenden Diagrammen die Drahtbehandlung empirisch gut ausführen. Schließlich sind in Abb. 6 die technischen Daten eines fertigen Drahtes einschließlich des „Temperaturkoeffizienten“ für seinen Nullpunkt angegeben.

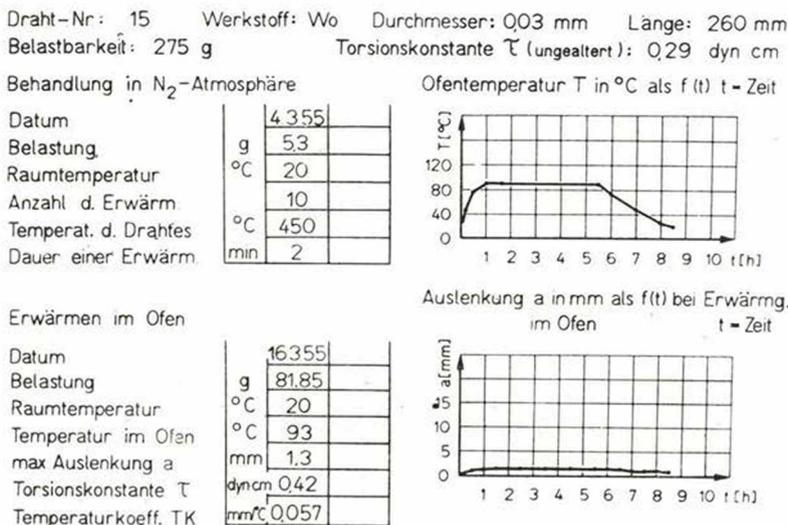


Abb. 6

Die Daten und Nullpunktskonstanz eines präparierten Wolframdrahtes ( $\varnothing = 0,03$  mm) in Abhängigkeit von der Temperatur

Die vorstehenden technologischen Angaben zeigen, daß es keine Schwierigkeiten macht, auch für kleinere Drehwaagen mit relativ kurzer Schwingungszeit, insbesondere für Untertagemessungen, einen brauchbaren Gradientenmesser zu bekommen, der selbst die großen Krümmungsglieder (Größenordnung fast 1000  $E$ ) noch hinreichend genau mit erfassen läßt.

Es wäre sehr erwünscht, wenn diese rein experimentell gewonnenen Ergebnisse auch von metallurgischer Seite noch theoretisch untermauert werden könnten, um gegebenenfalls noch günstigere Verhältnisse auch bei anderen Drahtmaterialien für dünne Drähte zu gewinnen.

In Abb. 7 ist die Wirkung einer Basalteinlagerung im Salz wiedergegeben [9]. Größe und Verlauf der Gradienten und Krümmungsglieder zeigen die Brauchbarkeit dieses Verfahrens.

Zusammenfassend möchte ich bemerken, daß die geniale Entwicklung der gravimetrischen Drehwaage von R. Eötvös auch heute noch Anwendungsperspektiven hat, insbesondere im Einsatz unter Tage als Schnellmeßinstrument, um besondere bergbauliche Probleme zu lösen. Daneben besteht eine beschränkte Anwendungsmöglichkeit in der Übertageprospektion und für geodätische Pro-

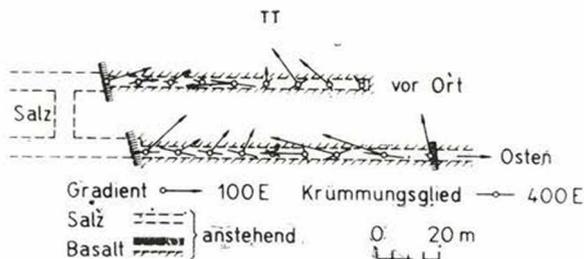


Abb. 7

Gradienten und Krümmungsglieder in einem Salzbergwerk mit Basalteinlagerung

bleme. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die jahrzehntelang angefallenen wertvollen instrumentellen Erfahrungen in der Behandlung von dünnen Torsionsdrähten für eine genauere Bestimmung der Gravitationskonstante mit auszuwerten.

#### SCHRIFTTUM

[1] Eötvös, R.: Gesammelte Arbeiten. Im Auftrage der Ungarischen Akademie d. Wissenschaften, herausgeg. von P. Selényi, Budapest 1953, S. 385.

[2] Hecker, O.: Die Eötvösche Drehwaage des Kgl. Geodätischen Instituts in Potsdam.

Z. f. Instrumentenkunde, 30, 1910, 8–14, desgl. [1, S. 240]

[3] Meißer O.: Praktische Geophysik, Dresden und Leipzig, 1943, S. 368

[4] Rybár, I.: Eötvös Torsion Balance Model E-54, Geofisica pura e applicata, Milano, 37, 1957, 79–89.

[5] Kilchling, K.: Über eine Versuchsdrehwaage zur Messung des Horizontalgradienten des Vertikalgradienten der Schwere  $U_{22r}$ . Gerl. Beitr. Geophysik, 66, 1957, 102–115.

[6] Poddubnyj, S. A.: Schweregradiometer GRB-2, Geologija, Leningrad, 1957, 117–127.

[7] Pekár D.: Gravitációs mérések, Budapest, 1930, 136.

[8] Bessel, F. W.: Auszug aus einem Schreiben vom 30. X. 1812. Monatl. Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde. Herausgeg. F. c. Zach, XXVII, 1813, Gotha, S. 80–85.

[9] Meißer, O. und Wolf, F.: Geophysikalische Messungen unter Tage. Z. f. Geophysik, 6, 1930, 13–21, desgl. [3, S. 100–103].