

Bitterlich, W. & Wöbking, H. (1972): Einsatz elektronischer Hilfsmittel bei Vermessungsarbeiten im Bergwerk. – In: Bitterlich, W. & Wöbking, H. (eds): Geoelektronik: Angewandte Elektronik in der Geophysik, Geologie, Prospektion, Montanistik und Ingenieurgeologie. – p. 281-301, 18 Abb.; Wien (Springer).

7. Einsatz elektronischer Hilfsmittel bei Vermessungsarbeiten im Bergwerk

Es gibt zahlreiche Methoden zur Bestimmung der Koordinaten eines Punktes im Erdinneren. Am häufigsten wird ein Theodolit- oder Kompaßzug angewendet, bei dem mit Hilfe von Strecken- und Winkelmessungen die Lage dieses Punktes zu einer Basisstrecke, die sich zumeist außerhalb des Bergwerks befindet, bestimmt wird. Vermessungen mit dem Theodoliten zeichnen sich durch hohe Genauigkeit aus, sind aber sehr zeitaufwendig. Das Arbeiten mit dem Kompaß wird in der Nähe größerer Eisenmassen, wie Gleisen, Rohrleitungen oder Eisen-schalungen, problematisch, in der Nähe von gleichstrombetriebenen Grubenbahnen sogar oftmals überhaupt unmöglich gemacht. Beide Methoden setzen ferner voraus, daß der zu lokalisierende Punkt für einen Menschen zugänglich ist.

Wo die konventionelle Vermessungstechnik zu zeitraubend oder aufwendig oder gar unmöglich ist und wo die Ansprüche auf die erreichbare Genauigkeit nicht zu hoch sind, werden elektronische Hilfsmittel die konventionelle Vermessungstechnik wertvoll ergänzen.

7.1 Bohrlochortung [7.1]

Eine im Bergbau oft gestellte Aufgabe ist es, von einem höher gelegenen Horizont eine Zielbohrung auf einen tiefer gelegenen Grubenort niederzubringen. Weist das durchbohrte Gestein unterschiedliche Härtegrade auf oder sind Klüfte und Verwerfungen vorhanden, so wird häufig der Zielort verfehlt. Bei Schrägbohrungen gibt das Gewicht des Bohrgestänges Anlaß zur Abweichung von der Bohrrichtung. Der Verlauf der Bohrung kann nun mit Hilfe eines Spezialgerätes ausgemessen und in die Grubenkarte eingetragen werden. Diese Methode ist aber zeitaufwendig, kostspielig und ungenau. In einem geologisch unruhigen Gebiet kann auch die trigonometrische Vermessung, gestützt auf eine weit entfernte Bezugsbasis, Anlaß zu Fehlern geben.

Die nachstehend beschriebenen elektronischen Methoden vermeiden diese Fehlerquellen und beanspruchen wenig Zeit. Dabei werden die Koordinaten des Bohrlochendpunktes in Bezug auf eine Hilfsbasis in der Nähe dieses Punktes auf elektrischem Wege bestimmt. Voraussetzung ist ein elektrisch homogenes Medium im Zielgebiet.

7.1.1 Grundlagen

Das Ortungsverfahren besteht in der Ausmessung eines elektrischen Strömungsfeldes, das von einer Gleichspannungsquelle zwischen zwei Elektroden erzeugt wird.

In einem homogenen leitenden Medium befinden sich in großer Entfernung voneinander die Elektroden E_1 und E_2 , durch die der Strom I fließt. Die Stromdichte i im Abstand r ist

$$i = \frac{I}{4\pi r^2} \quad (7.1)$$

mit $i = \sigma \cdot E$ und $E = \nabla u$ wird das elektrische Potential im Punkt P :

$$u = \frac{I}{4\pi\sigma r}, \quad (7.2)$$

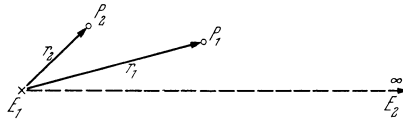


Abb. 7.1. Elektroden und Aufpunkte im Vollraum

σ ist die Leitfähigkeit des Mediums. Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 (= Meßspannung U), siehe Abb. 7.1, ist

$$U = U_1 - U_2 = \frac{I}{4\pi\sigma} \cdot \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = \frac{1}{4\pi\sigma} k. \quad (7.3)$$

Diese Gleichung ist streng gültig in einem unendlich ausgedehnten homogenen Vollraum und bei unendlichem Abstand der Elektroden. Wenn die Störung der idealen Stromverteilung durch eine Begrenzungsfläche vernachlässigt werden kann, insbesondere also, wenn die Begrenzungsfläche einem kleinen Hohlraum im leitenden Medium angehört, so ist die Spannung zwischen zwei Meßpunkten außer von den meßbaren Größen σ und I nur von den geometrischen Abständen r_1 und r_2 zwischen den Aufpunkten und der Elektrode abhängig. Jede nach dem Verfahren vorgenommene Spannungsmessung liefert also eine geometrische Beziehung zwischen den Abständen zweier Aufpunkte von der Elektrode an dem zu ortenden Punkt, mittels weiterer geometrischer Beziehungen aus der bekannten gegenseitigen Lage der Auf(= Meß)-punkte läßt sich die Lage der Elektrode leicht bestimmen.

Ohne weitere Rechnung läßt sich aus Gl. (7.3) entnehmen, daß die Spannung relativ zu einem beliebigen festgehaltenen Punkt P_1 (mit Abstand r_1) für den Punkt P_2 ein Extremum annimmt, dessen Abstand r_2 zur Stromquelle einen Extremalwert hat.

Wird die Bedingung Entfernung $E_1 E_2$ größer als $10 r_1$ bzw. $10 r_2$ und sind auch die Hohlräume nicht zu groß, so liegt der damit gemachte Fehler innerhalb der Meßgenauigkeit.

Sollte z. B. ein Bohrloch einen Stollen treffen und ist fehlgegangen, so ergibt sich folgende Geometrie (Abb. 7.2): Die Stromelektrode E_1 befindet sich am Ende des Bohrloches, E_2 an dessen Anfang, bzw. in einiger Entfernung von ihm. Die Punkte P_1 und P_2 liegen auf einer Begrenzungsfläche, die dem Stollenum entspricht. Die x -Koordinate in Abb. 7.2 verläuft in Richtung der Begrenzungsfläche. Die y -Koordinate steht auf ihr senkrecht. In der vertikalen y - z -Ebene liegt der Punkt E_1 . Die Hilfsgröße k ist folgendermaßen bestimmt:

$$k = \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + d_2^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + d_1^2}}, \quad (7.4)$$

für $d_2 = 0$ wird k maximal:

$$\frac{\partial k}{\partial d_2} = \frac{2d_2}{(\sqrt{a^2 + d_2^2})^3} = 0. \quad (7.5)$$

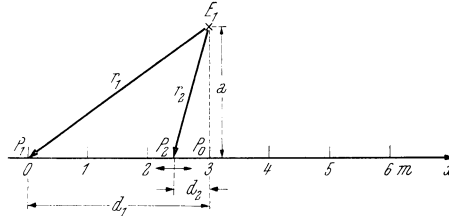


Abb. 7.2. Berechnung des Abstandes a

Das maximale k drückt sich gemäß Gl. (7.3) in einer maximalen Spannung U zwischen den Punkten P_1 und P_2 aus. Durch Spannungsmessung am Ulm des Stollens kann folglich die Koordinate x bestimmt werden. Für den Abstand a des Bohrloches vom Ulm ergibt sich aus

$$k_{\max} = \frac{1}{a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + d_1^2}} = \frac{4\pi\sigma}{I} \cdot U \quad (7.6)$$

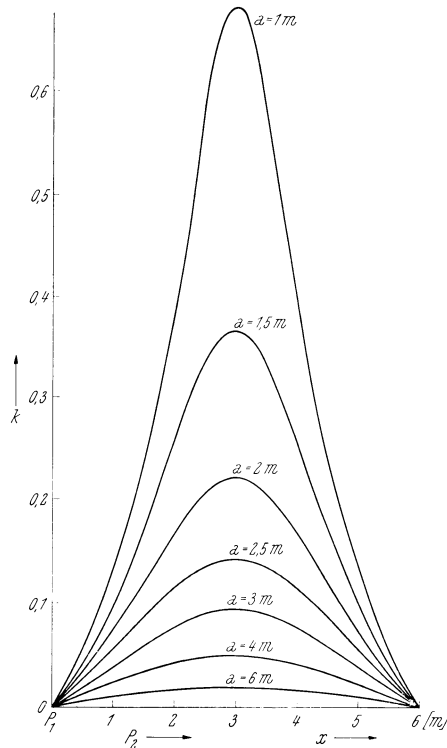
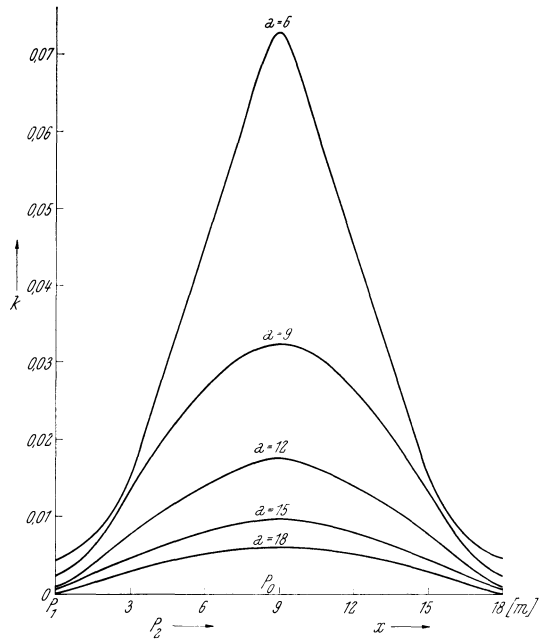
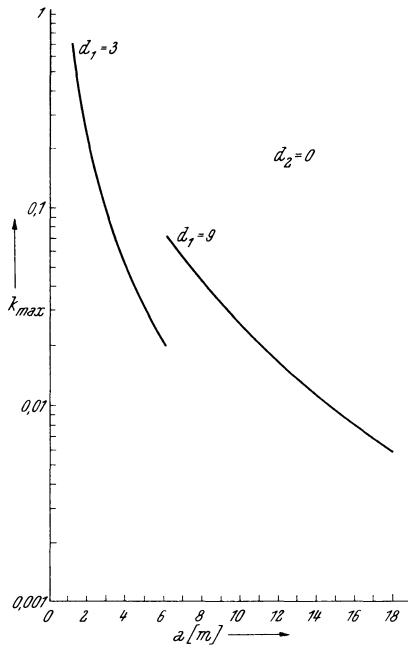


Abb. 7.3. Diagramm zur Ermittlung kleiner Abstände a

Abb. 7.4. Diagramm zur Ermittlung großer Abstände a

eine Gleichung vierten Grades. Für den praktischen Gebrauch ist eine graphische Methode zur Bestimmung von a zweckmäßig. Durch Variation von d_2 bei konstantem d_1 können Kurven für k ausgerechnet werden. Abb. 7.3 zeigt Kurven-

Abb. 7.5. Bestimmung von a aus k_{\max}

scharen für geringe Distanzen von a , Abb. 7.4 für größere. Wie man aus den Diagrammen erkennt, muß bei größeren Werten von a , also bei einer größeren Fehlbohrung, die Strecke d_1 größer gewählt werden. Abb. 7.5 zeigt ein Diagramm für k_{\max} nach Gl. (7.6). Als Parameter wurde für geringe Entfernungen zum Bohrlochende $d_1 = 3$ m, für größere $d_1 = 9$ m gewählt.

Mit Gl. (7.3) wird durch Spannungsmessung längs der Strecke x eine Kurve für k ermittelt, die durch Vergleich mit den Kurven in den Diagrammen den gesuchten Wert für a finden läßt.

7.1.2 Der Meßvorgang

An Hand eines Beispiels soll der Meßvorgang besprochen werden. Eine Bohrung hat einen Stollen verfehlt. Abb. 7.6 zeigt die Situation. Die Meß-

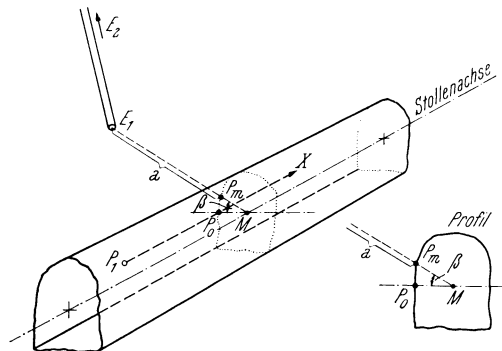


Abb. 7.6. Meßsituation bei der Bohrlochortung

ausrüstung besteht aus einer Gleichspannungsquelle, „Sender“ genannt, und einem „Empfänger“, ein Gleichspannungs-Kompensations-Millivoltmeter. Die Geräte wurden auf S. 202ff ausführlich beschrieben. Für die Bestimmung der Entfernung des Bohrlochendes vom Stollen wird die Gesteinsleitfähigkeit σ benötigt. Ist diese nicht bekannt, so kann sie mit einer Vierpunkt-Wenneranordnung nach Abb. 7.7 mit $d = 0,5$ m bestimmt werden (siehe hierzu Abschnitt 5.1.1, S. 191).

$$\sigma = I/2\pi d \cdot U. \quad (7.7)$$

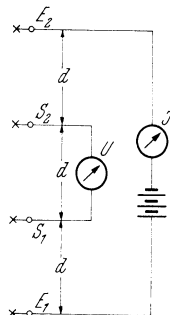


Abb. 7.7. Zur Bestimmung der Gesteinsleitfähigkeit

Wegen der meist vorhandenen Inhomogenität des Gesteins ist es günstig, mehrere Messungen durchzuführen, wobei die gesamte Meßanordnung jeweils um 0,5 m verschoben wird, und das aus den erhaltenen Werten gebildete arithmetische Mittel von σ zur Berechnung von k in Gl. (7.3) einzusetzen. Wie später erklärt wird, ist bei dieser Messung die Nullspannung zu berücksichtigen.



Abb. 7.8. Am Beginn des Bohrloches aufgestellter Gleichspannungswandler

Für die Ortung des Bohrloches wird der Sender am Bohrlochbeginn aufgestellt. Abb. 7.8 zeigt den DC-Wandler als „Sender“ neben einem Bohrloch, das bereits mit einem dickwandigen Plastikschauch verrohrt ist. Der Minuspol der Ausgangsgleichspannung wird mit einer Kupferblech- oder Geflechtelektrode verbunden, die im Boden verscharrt wird. Die zweite Elektrode wird an einem isolierten Kabel zum Bohrlochende hinabgelassen. Wichtig ist, daß die Elektrode (E_1) am Bohrlochende aufsitzt und Kontakt mit dem Gestein hat. Durch Nachgießen von Wasser in das Bohrloch kann der Übergangswiderstand Elektrode-Gestein verringert werden. Das Kabel wird mit dem Pluspol des Senders verbunden. Die Bohrlochelektrode soll eine möglichst große Kontaktfläche mit der Bohrlochwand bilden. Zu empfehlen sind Elektroden, die sich bei Zugentlastung in mehreren Segmenten auseinanderspreizen.

Der Sender wird im kontinuierlichen Betrieb auf maximalen Strom I eingestellt und dieser Wert notiert. Auf der Empfängerseite, also im angezielten Stollen, wird der Elektrodenpunkt P_1 vorerst so gewählt, daß er sicher entfernt vom Punkt P_0 mit der kürzesten Entfernung zum Bohrlochende liegt. Abb. 7.9

zeigt das Kompensationsmillivoltmeter als „Empfänger“ während einer Messung. P_1 , ein im Boden verscharrtes Kupferblech, wird mit dem Minuspol verbunden. Mit einer Stahlbürste, die man an die Stollenwand drückt, wird längs der x -Koordinate der Punkt mit maximaler Spannung gesucht und markiert. Wegen der Unsicherheit in der Bestimmung des Maximums besonders bei größeren

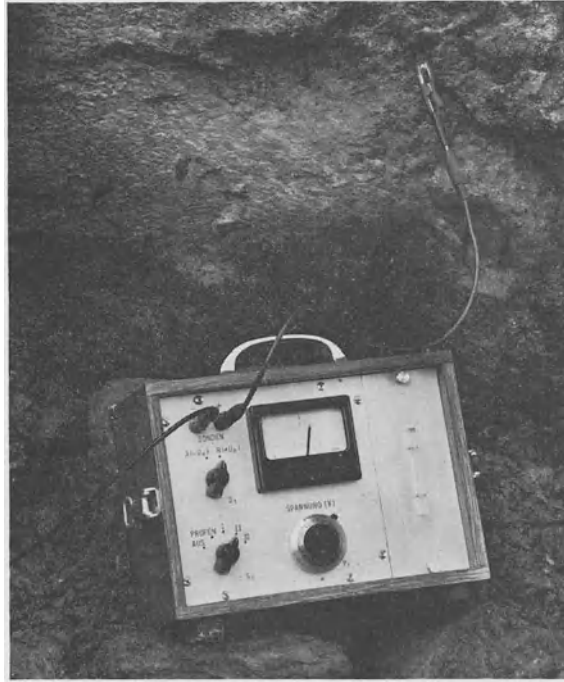


Abb. 7.9. Kompensationsmillivoltmeter

Entfernungen zum Bohrlochende, empfiehlt sich die Ausmessung eines vollständigen Spannungsprofils längs der x -Richtung. Damit ist die kürzeste Verbindungslinie a zum Bohrlochendpunkt gefunden. Sie steht senkrecht auf der x -Richtung. Der Punkt maximaler Spannung wird mit P_0 bezeichnet. Ist die Bohrlochelektrode sehr nahe an der Stollenwand, so kann die Sondenspannung unter Umständen so hoch sein, daß sie über dem Meßumfang des Millivoltmeters liegt, eine Nullkompensation ist nicht mehr möglich. In diesem Fall ist der Elektrodenstrom I auf die Hälfte herabzusetzen.

In den meisten Fällen wird die Kenntnis dieses Punktes für den Bergbaubetrieb ausreichen, wenn das Bohrloch durch einen Streckenvortrieb erreicht werden muß. Wie aus den Diagrammen, Abb. 7.3 und 7.4 zu sehen ist, läßt sich aus der Steilheit des Spannungsanstieges bereits während des Meßvorganges die Länge der Strecke a abschätzen. Wichtig ist jedoch die Kenntnis, ob das Bohrloch links oder rechts am Stollen vorbeigegangen ist. Zur Bestimmung dieser Richtung wird der Punkt maximaler Spannung längs einer Profillinie gesucht, die durch P_0 geht und eine Ebene einschließt, die senkrecht auf der

x -Richtung steht, Abb. 7.6. Die Verbindungslinie Stollenmittelpunkt M — Punkt maximaler Spannung P_m gibt die Richtung zum Bohrlochende an. Dies gilt zunächst nur für einen kreisförmigen Querschnitt des Stollens, da nur für diesen ein Radiusvektor zu einem Punkt außerhalb des Kreises den kürzesten Abstand des Punktes vom Kreis angibt. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß die Aussage mit hinreichender Genauigkeit für die vorkommenden, meist unregelmäßigen Stollenprofile gültig ist. Der Winkel der Verbindungslinie mit der Horizontalen ist β .

Soll die Länge der Strecke a bestimmt werden, so muß der Punkt P_1 in eine Entfernung von P_0 gebracht werden, die einem der beiden k -Diagramme entspricht. War bei der Ermittlung von P_0 der Spannungsanstieg steil, so wird P_1 3 m von P_0 entfernt gewählt. Von P_0 werden nach links und rechts im Abstand von 50 cm Stahlnägel in die Felswand geschlagen und der 3 m-Nagel (P_1) mit dem Millivoltmeter verbunden. Bei flachem Spannungsmaximum wird P_1 entsprechend dem Diagramm Abb. 7.4 9 m entfernt von P_0 gewählt und die Stahlnägel in 1 m Abständen eingeschlagen. Nun wird in x -Richtung fortschreitend die Spannung zwischen P_1 und den einzelnen Nägeln gemessen, der Sender wird dabei auf intermittierenden Betrieb umgeschaltet. Bei jedem Nagel wird bei eingeschaltetem Sender die Meßspannung, bei abgeschaltetem die Nullspannung gemessen. Da die Nullspannung negative und positive Werte annehmen kann, ist in das Millivoltmeter ein Schalter mit zwei Schaltstellungen (—) und (+) eingebaut, mit welchem die Anschlüsse P_1 und P_2 kommutiert werden können. Mißt man die Spannung in der Schalterstellung (—), so ist die Nullspannung von der Meßspannung zu subtrahieren, wenn sie ebenfalls in der Stellung (—) meßbar ist, jedoch zu addieren, wenn sie in der Stellung (+) meßbar ist. Nach Gl. (7.3) werden alle Werte für die so gewonnene Sonden-spannung U mit dem Faktor $4\pi\sigma/I$ multipliziert. Die erhaltenen Werte werden als Funktion von x im gleichen Maßstab wie die gerechneten Diagramme in transparentes Millimeterpapier eingetragen. Die erhaltene Kurve wird durch Deckung mit den gerechneten verglichen. Einfacher, zeitsparender, aber weniger genau, ist die Bestimmung von a nur aus der maximalen Spannung in P_0 mit dem Diagramm für k_{\max} (Abb. 7.5).

Im Zeitraume von einer Stunde können die drei Koordinaten des Endpunktes einer verlorengegangenen Bohrung ermittelt werden.

7.1.3 Andere Meßverfahren

A. Eine Methode für weite Bohrlöcher

Die Methode der Bestimmung der Richtung eines künstlich erzeugten Magnetfeldes bietet ebenfalls Möglichkeiten, das Ende von fehlgelaufenen Bohrlöchern zu finden.

Dr. H. BAULE, Bochum, beschrieb ein einfaches Verfahren, bei dem ein kardanisch aufgehängter Elektromagnet an einem zweiadrigen Gummikabel in das Bohrloch abgesenkt wird. Ein kräftiger Generator speist den Magneten mit einer Wechselspannung von 400 Hz. Am Grubenort, der durch das Bohrloch hätte getroffen werden sollen, wird eine um eine vertikale Achse drehbare Rahmenspule aufgestellt und elektrisch mit dem Eingang eines Niederfrequenzverstärkers verbunden, an dessen Ausgang ein Kopfhörer angeschlossen

ist. Die Anordnung entspricht einem offenen Transformator: Primärwicklung = Elektromagnet, Sekundärwicklung = Peilrahmenspule. Die im Peilrahmen induzierte Spannung ist von der Kraftliniendichte in seinem Inneren abhängig. Durch Drehen des Peilrahmens kann eine minimale Spannung (= minimaler Ton im Kopfhörer) gesucht werden. In dieser Stellung zeigt die Normale auf die Spulenebene zum Elektromagneten im Bohrloch. Werden solche Peilungen an mehreren vermessenen Punkten durchgeführt, ist durch das entstandene trigonometrische Netz die Lage des Elektromagneten eindeutig bestimmt. Ein Höhenwinkel kann nicht angegeben werden.

Diese Methode ist jedoch nur für Bohrlöcher mit großem Durchmesser geeignet, denn der Elektromagnet muß, um ein großes magnetisches Moment zu besitzen, entsprechend lang sein.

B. Eine Methode für enge Bohrlöcher [7.6]

Unser Mitarbeiter, Dr. N. NESSLER, entwickelte ein Peilverfahren, das auch in ganz engen Bohrlöchern anwendbar ist.

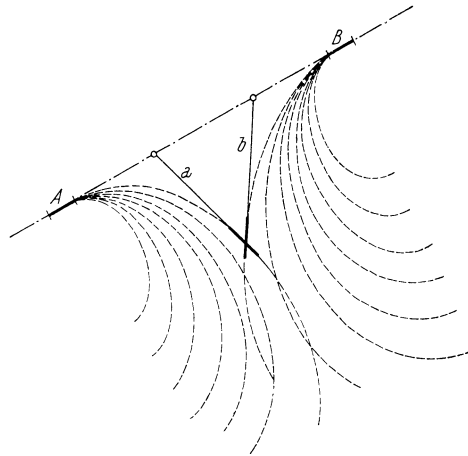


Abb. 7.10. Feldlinien

Diese Methode verlangt zu ihrem Verständnis (nicht zu ihrer Bedienung) Kenntnisse über elektromagnetische Wellenausbreitung, siehe Abschnitt 4.1. In das Bohrloch wird ein ca. 1 m langer stabförmiger und lamellierter Eisenkern abgesenkt, der mit isoliertem Draht bewickelt ist. Dieser Elektromagnet oder magnetische Dipol wird über ein zweipoliges Kabel von einem Niederfrequenz-generator gespeist.

Wie bei der vorher besprochenen Methode wird auch hier der magnetische Dipol von einem Grubenort aus angepeilt, den das Bohrloch hätte treffen sollen. Die beiden Peilpunkte oder Aufpunkte I und II sind durch die Basisstrecke verbunden, die, um das Meßproblem lösbar zu machen, die verlängerte Dipolachse weder schneiden, noch zu ihr parallel liegen darf. Das Fehlen der kardanischen Aufhängung macht die Lage des Dipols im Bohrloch vorerst undefiniert. Wie die Theorie der Wellenausbreitung (siehe Kapitel 4) zeigt, liegen alle Feld-

linien eines Dipols auf Meridianebenen. Tangenten an die Feldlinien treffen folglich immer die verlängerte Dipolachse, siehe Abb. 7.10. Die Tangentenrichtung ist durch Peilung bestimmbar, denn bei ihr wird die in der Peilantenne induzierte Spannung maximal. Die Messung geht folgendermaßen vor sich. Der Sendedipol wird zum Bohrlochende abgesenkt, Lage *A*, und in den beiden Aufpunkten I und II die Tangentenrichtungen *a* und *a'* bestimmt. Nun wird der Sendedipol um einige Meter hochgezogen, Lage *B* in Abb. 7.11, und in den

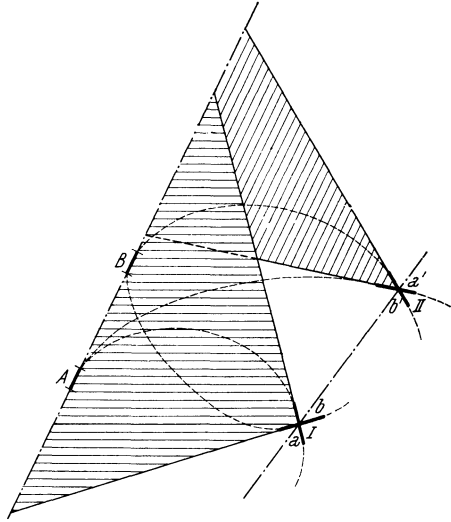


Abb. 7.11. Die Schnittlinie zweier Meridianebenen ist die Dipolachse

Aufpunkten wiederum die Tangentenrichtungen *b* und *b'* bestimmt. Durch die beiden Tangentenrichtungen *a* und *b* ist eine Meridianebene definiert, eine zweite durch *a'* und *b'*. Die Schnittlinie dieser beiden Meridianebenen ist identisch mit der Dipolachse und ihrer Verlängerung. Die Ortung des Dipols ist nun mit Hilfe eines Feldliniendiagrammes möglich. Abb. 7.12 zeigt ein Beispiel. Dabei wird die Verschiebung des Sendedipols von *A* nach *B* durch eine Verschiebung des Aufpunktes von *A* nach *B* ausgedrückt.

Die Richtung der Feldlinien ist durch die Gleichung

$$\frac{dr}{r d\vartheta} = \frac{H_r}{H_\vartheta} = \frac{2m \exp(-\beta_2' r) \cdot \cos \vartheta \cdot (1/r^3)}{m \exp(-\beta_2' r) \cdot \sin \vartheta \cdot (1/r^3)} = 2 \operatorname{ctg} \vartheta, \quad (7.8)$$

gegeben. Dabei bedeutet: H_r und H_ϑ die Feldstärken, r die Entfernung Sende- zu Empfangsantenne, ϑ der Winkel zwischen Sendedipol und Radiusvektor zum Aufpunkt, β' die komplexe Materialkonstante, m das magnetische Moment der Sendeantenne.

Diese Gleichung integriert ergibt

$$r = a \cdot \sin^2 \vartheta. \quad (7.9)$$

a ist der Parameter der Feldlinien.

Der Maßstab des Feldliniendiagrammes kann beliebig gewählt werden. Über die Winkelmessungen siehe Kapitel 4.

Welche Methode zur Auffindung eines verloren gegangenen Bohrloches angewandt werden soll, hängt von den elektrischen Eigenschaften des Gesteins im durchbohrten Gebiet ab. Bei bergfeuchtem Gestein, oder Gestein mit mittlerer elektrischer Leitfähigkeit, etwa 10^{-3} bis 10^{-5} wird man die einfachere und schnellere Gleichstrommethode verwenden. In Gebieten mit sehr geringer Leitfähigkeit, etwa in Salzlagerstätten, werden die Peilverfahren zu bevorzugen sein.

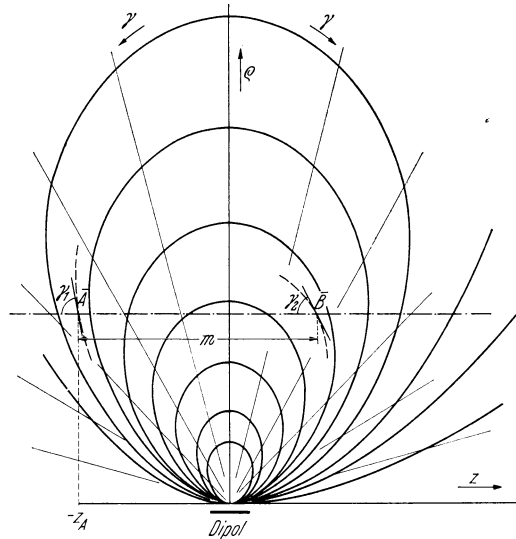


Abb. 7.12. Feldliniendiagramm

7.2 Streckenortung

Diese Vermessungsaufgabe soll an Hand eines Beispiels besprochen werden. In dem, seit dem 14. Jahrhundert in Betrieb befindlichen, sehr ausgedehnten Grubenrevier des Schwazer Silberbergbaues in Tirol wird derzeit Dolomit im Trichterabbau gewonnen. Von den umfangreichen mittelalterlichen Stollensystemen und Abbauzechen existiert nur ein spärliches Kartenmaterial über zusammen ca. 300 km Stollenlänge. So kommt es vor, daß bei Sprengarbeiten in den Schottertrichtern alte unbekannte Erzabbau gelöchert werden. Kostspielige Umgehungen und zeitaufwendige Vermessungsarbeit sind damit verbunden. Als wieder eine derartige Situation eintrat, entschloß sich die Betriebsleitung, ein unkonventionelles elektronisches Vermessungsverfahren zum Einsatz zu bringen.

Bei der Vorrichtung eines neuen Trichters vermutete man in unbekannter Höhe und Richtung über dem First einen alten Stollen, dessen Löcherung die Bergleute in Gefahr bringen konnte (Abb. 7.13). Der alte Stollen war über einen weiten Weg — alte Schächte, Aufbrüche und Zechen — begehbar, doch hätte seine Vermessung mittels Theodolituzuges Wochen beansprucht, während derer

die Arbeiten im Abbautrichter hätten ruhen müssen. Die Lage des alten Stollens zum Trichter und seine Höhe über dem First konnte mit dem elektronischen Meßverfahren in wenigen Stunden ermittelt werden.

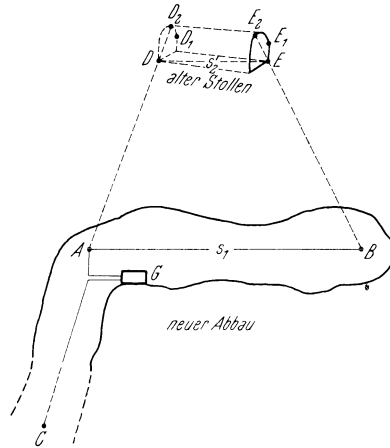


Abb. 7.13. Meßsituation im Bergwerk

7.2.1 Meßgeräte und Meßverfahren

Zur Lösung der gestellten Aufgabe kann dieselbe Meßausrüstung verwendet werden, wie sie für die Bohrlochortung mit Gleichstrom (7.1) beschrieben wurde. Da jedoch diesmal die Gesteinsleitfähigkeit nicht bestimmt werden braucht und die Berücksichtigung der Kontaktpotentiale zeitraubend ist, empfiehlt sich eine Messung mit Wechselstrom.

Abb. 7.14 zeigt das Schaltbild des Generators. Ein astabiler Multivibrator als Oszillator ist kapazitiv an einen Zwischenverstärker gekoppelt, der wiederum galvanisch mit den in Gegentakt arbeitenden Leistungstransistoren verbunden ist. Mit dem Übertrager wird die Spannung transformiert. Ein Gleichrichter auf der Sekundärseite gestattet die Entnahme von Gleichspannungen (25—400 V) und macht das Gerät in seiner Verwendung universeller. Die Wechselspannung ist von 25 bis 200 V einstellbar. Mit dem Schalter S_2 können Spannungsschritte von 25 V, mit S_3 solche von 2,5 V gewählt werden.

Die Spannung ist durch den dreistufigen Aufbau des Generators und die Gegenkopplung auf die Basis der Leistungstransistoren weitestgehend belastungsunabhängig. Durch die Trennung von Oszillator und Leistungsverstärker ist auch die Frequenz belastungsunabhängig. Die Kurvenform ist rechteckförmig, die Impulsfolgefrequenz beträgt 290 Hz. Die maximal entnehmbare Leistung beträgt 30 Watt. Als „Empfänger“ wird ein batteriebetriebenes transistorisiertes Niederfrequenz-Millivoltmeter benützt. Um vagabundierende 50 Hz Ströme auszuschalten, ist es günstiger, die Spannungsmessung selektiv durchzuführen. Zum Millivoltmeter, einem industriellen Erzeugnis, wurde ein kleiner Zusatz gebaut, dessen Schaltung Abb. 7.15 zeigt. Die Eingangsimpedanz ist durch den Impedanzwandler (Darlingtonverstärker) hochohmig. Der Schwingkreis zur Selektion

ist in engen Grenzen verstimmbar. Der Generator G wird als „Sender“ am oberen Ende des Abbautrichters aufgestellt, Abb. 7.13. Der eine Ausgangsspannung wird mit einer im Schutt vergrabenen Kupferelektrode verbunden, die sich in einer Mindestentfernung von 50 m vom Sender befindet — Punkt C . Der andere Pol wird wahlweise mit am Felsen befestigten Elektroden A und B verbunden, die sich auf einer Horizontalen in der Entfernung s_1 befinden. Die Elektrode A (oder B) stellt einen sogenannten elektrischen Monopol dar, von dem angenähert radiale elektrische Stromlinien ausgehen.

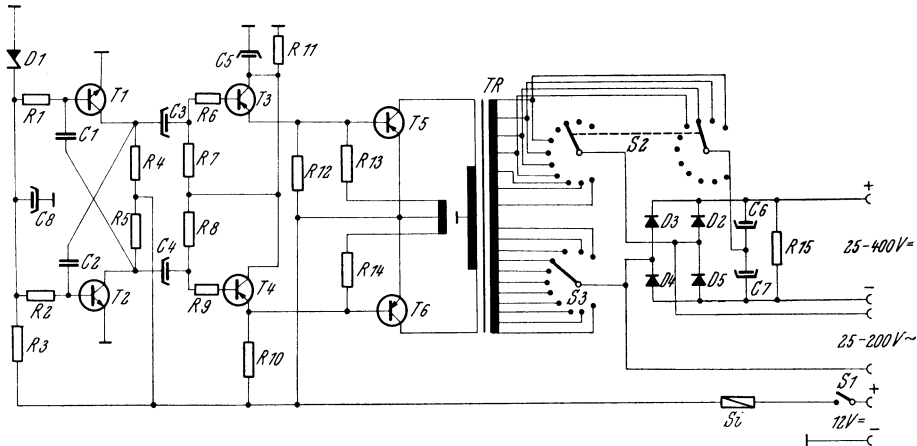


Abb. 7.14. Schaltbild des Generators

Stückliste

R1	8,2 k Ω	D1	OAZ 203
R2	8,2 k Ω	D2	ECO — 0204
R3	500 Ω	D3	ECO — 0204
R4	500 Ω	D4	ECO — 0204
R5	500 Ω	D5	ECO — 0204
R6	800 Ω		
R7	15 k Ω	T1	2 N 2926
R8	15 k Ω	T2	2 N 2926
R9	800 Ω		
R10	100 Ω 1 W	T3	AC 128 K
R11	100 Ω 2 W	T4	AC 128 K
R12	100 Ω 1 W		
R13	150 Ω 1 W	T5	AS 716
R14	150 Ω 1 W	T6	AS 716
C1	0,25 μ F	Si	4A
C2	0,25 μ F		
C3	100 μ F	Transformator TR	
C4	100 μ F	Kern M 74 Dyn IV, 0,35	
C5	500 μ F	Primär: 30/1,3 bif.	
C6	375 μ F	5/0,4 bif.	
C7	375 μ F	Sekundär: 11 \times 7/0,65	
C8	500 μ F	90/0,65	
		6 \times 60/0,55	
		Windungszahl/Drahtdurchmesser	

Das Millivoltmeter befindet sich im alten Stollen. Ein Pol (die Masse) ist mit einer vom erwarteten Spannungsmaximum weit entfernten Elektrode ver-

bunden. Mit dem anderen Pol wird am Uml der Punkt maximaler Spannung gesucht, D_1 . Jetzt wird an dieser Stelle am Stollenumfang der Punkt mit dem absoluten Spannungsmaximum D und dem relativen Spannungsminimum D_2 gesucht. Die Verbindungslinie $D-D_2$ zeigt direkt auf die stromführende Senderelektrode A , der Winkel der Vertikalen sei α_1 . Da die Strecke DE in den Punkten maximaler Spannung eine Tangente an eine Äquipotentialfläche ist,

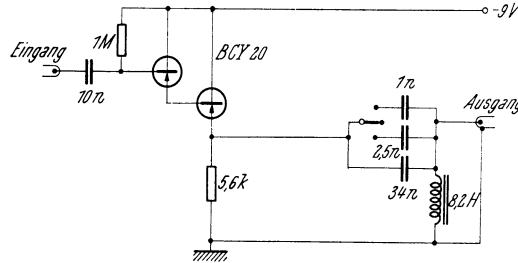


Abb. 7.15. Vorsatz zum Millivoltmeter

steht die Strecke DA (oder EB) zu ihr im rechten Winkel. Bei stromführender Elektrode B wird die Messung im Stollen wiederholt. Man erhält die Punkte E , E_1 , E_2 und den Winkel α_2 . Die Verbindung $D-E = s_2$ wird in Metern gemessen.

7.2.2 Die Berechnung

Abb. 7.16 zeigt den Grund- und Aufriß der Meßsituation. Gegeben sind die Längen der Strecken s_1 und s_2 , sowie die Werte der Neigungswinkel α_1 und α_2 .

Gesucht sind die Höhe h und ein eventuell vorhandener Kreuzungspunkt K der beiden Strecken innerhalb des Meßbereiches. Die Richtung beider Strecken ist durch die auf Nord bezogenen Richtungswinkel γ_1 und γ_2 gegeben. Ob die beiden Strecken s_1 und s_2 sich kreuzen, ist bereits bei der elektrischen Messung feststellbar. Im Kreuzungsfall liegen die Punkte maximaler Spannung D und E auf verschiedenen Seiten des Stollens, wie Abb. 7.13 zeigt.

Aus den beiden Dreiecken ADD' und BEE' errechnen sich die Hilfsstrecken g_1 und g_2 zu

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = g_1/h, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = g_2/h. \quad (7.10)$$

Durch Parallelverschieben der Strecke s_2 am Grundriß bis zur Deckung von A mit D' erhält man das rechtwinkelige Dreieck ABE' mit den Seiten s_1 , s_2 , $g_1 + g_2$. Die Höhe h ist folglich bestimmt durch

$$h = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \cdot \sqrt{s_1^2 - s_2^2}. \quad (7.11)$$

Kreuzen sich die Strecken innerhalb des Meßgebietes nicht, so lautet der Nenner $\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2$, wenn $g_1 > g_2$ ist. Der Kreuzungspunkt K ist durch den Abstand k vom Punkt A bestimmt.

$$\begin{aligned} \beta &= \gamma_1 - \gamma_2 \\ \cos \beta &= s_2/s_1. \end{aligned} \quad (7.12)$$

Mit Gl. (7.10) und (7.12) wird

$$k = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 / \sin \beta \quad (7.13)$$

(β ist der Schräkungswinkel).

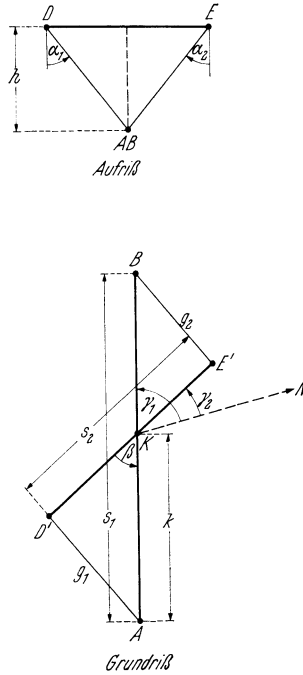


Abb. 7.16. Geometrie der Meßsituation

Die Messungen in Schwaz zeigten, daß der alte Stollen in einer Höhe von 8,6 m über dem neuen Abbau verlief, wobei der Kreuzungspunkt 5,3 m von A entfernt war. Diese Angaben wurden später durch eine Erweiterung der Kieszeche bestätigt. Eine eventuell vorhandene Neigung des Stollens braucht in den meisten Fällen wegen der geringen Entfernung der Meßpunkte nicht berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung einer starken Neigung ist ein geometrisches, aber kein elektronisches Problem.

So kann diese elektronische Methode manches Vermessungsproblem im Bergbau auf einfache und schnelle Weise lösen.

7.3 Verfolgung von Erzblättern [7.5]

Zur Erzprospektion — speziell zur Erfassung der Größe einer Lagerstätte — ist es oft von besonderer Bedeutung, ein Erzvorkommen, z. B. einen Gang, der einmal angeschnitten wurde, weiter zu verfolgen. Wenn relativ „einfache“ geologische Verhältnisse vorliegen, kann man durch Ermittlung des Fallens und des Streichens über den Verlauf der Vererzung eine Angabe machen. Moderne Verfahren bedienen sich geo-chemischer Methoden, wobei eine große Anzahl

von Gesteinsproben chemisch analysiert werden müssen. Über einen vermuteten Erzgang werden geo-chemische Profile gelegt, aus denen der Verlauf der Vererzung zu entnehmen ist — siehe z. B. LUKUAS [7.7]. Für die Verfolgung einer Kupfervererzung wurde von BITTERLICH und WÖBKING [7.3] ein besonderes Verfahren erarbeitet, das im Felde zur Anwendung kommen kann. Manchmal gelingt es mit Hilfe von geophysikalischen Verfahren (Seismik, Gravimetrie und magnetometrischen Messungen), die Richtung einer Vererzung festzustellen. In diesem Abschnitt werden einige Methoden zur Richtungsbestimmung von Vererzungen beschrieben, die auf elektrischen Meßverfahren beruhen. Der Vorteil dieser Methoden liegt darin, daß Aussagen über cm- bzw. m-Bereiche gemacht werden können. Diese Verfahren eignen sich zu Mikrobeprobungen, die für Bergbaue im mitteleuropäischen Raum von großer Bedeutung sind. Als Nachteil erweist sich, daß die elektrischen Methoden nur dann angewandt werden können, wenn sich das Erz hinsichtlich seiner elektrischen Leitfähigkeit deutlich vom umgebenden tauben Gestein unterscheidet.

An Hand einiger Beispiele sollen die Verfahren erörtert werden.

a) *Richtungsbestimmung mit Hilfe von Widerstandsmessungen*

Wird ein Gestein von zwei Elektroden, an denen eine bestimmte Spannung U Volt liegt, kontaktiert, so ist der im Gestein fließende Strom eine Funktion des Widerstandes zwischen den beiden Elektroden. Die Stromlinien im Gestein erfassen ein Gebiet, das einer Kugel mit einem Radius gleich dem halben Elektrodenabstand entspricht. Im allgemeinen setzt sich der gemessene Widerstand aus zwei Anteilen zusammen: dem Übergangswiderstand R_U zwischen Elektrode und Gestein und dem reinen Gesteinswiderstand R_G ; dabei kann der Wert von R_U von derselben Größenordnung sein (oder auch größer) wie R_G . Um Aussagen über das relative elektrische Leistvermögen des zu untersuchenden Gesteins machen zu können, muß der Übergangswiderstand während der Messungen an allen Meßpunkten konstant gehalten werden.

Drei Fälle sind zu unterscheiden:

1. Der Kontakt der Elektroden erfolgt mit taubem Gestein. Der Übergangswiderstand ist dann nur in Sonderfällen konstant zu halten. Wenn der Boden schottrig, sandig oder lehmig ist, kann man als Elektrode eine Anzahl von Nägeln (\varnothing 1 cm, Länge 30 cm) benutzen, die in den Boden eingeschlagen und parallel geschaltet werden. Wie Untersuchungen im Bergbau Großkogel bei Brixlegg gezeigt haben, tritt bei Verwendung von fünf Nägeln eine Abweichung von maximal 13% in der Stromaufnahme ein relativ zu den Strömen, die bei Verwendung von zwanzig Nägeln gemessen wurden. Bei einer Parallelschaltung von zehn Nägeln wurde die Abweichung 0% — man kann also offensichtlich mit Hilfe derartiger Elektroden den Übergangswiderstand konstant halten.

Wesentlich unkomplizierter liegen die Dinge, wenn man plattenförmige Elektroden im Bodenwasser der Strecken verwenden kann. Der Übergangswiderstand ist dann allein eine Funktion der Elektrodenform und der wirklichen Oberfläche. Hält man diese Parameter konstant, wird auch R_U konstant bleiben — man kann den relativen Widerstand des Gesteins angeben.

Muß die Kontaktierung am anstehenden Felsen erfolgen, ist der Wert von R_U kaum konstant zu halten.

2. Die Elektroden werden mit einer elektrisch gut leitenden Erzschrift kontaktiert.

In diesem Fall ist der Übergangswiderstand zwischen Erz und Elektroden etwa ähnlich hoch wie bei der Kontaktierung zweier Metalle; R_v liegt im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-1} Ohm. Er ist gegenüber dem Gesteins-(Erz)-Widerstand zu vernachlässigen.

3. Eine Elektrode kontaktiert Erz, eine Elektrode kontaktiert taubes Gestein.

Für die Elektrode mit Kontakt auf taubem Gestein gilt dieselbe Betrachtung wie unter Punkt 1); für die Elektrode mit Erzkontakt gelten die Überlegungen unter Punkt 2).

Im Bergbau geht man so vor, daß man eine Elektrode im Erzblatt selbst oder in der Nähe desselben anbringt, die zweite Elektrode kontaktiert man längs eines Profils, das z. B. in einem anderen Horizont quer über das vermutete Erzblatt verläuft. An die Elektroden wird eine konstante Gleichspannung von ca. 200 V angelegt; der in dem Verbindungskabel fließende Strom wird mit einem Milliampereometer gemessen. Sobald die bewegliche Elektrode das Erzblatt (bzw. taubes Gestein in unmittelbarer Nähe) trifft, treten Stromspitzen auf. Bedingung: Die elektrische LF des Erzblattes muß wesentlich höher sein als die des tauben Gesteins.

Meßbeispiel 1: In der Fahlerzlagerstätte Falkenstein bei Schwaz treten blätterartige Vererzungen auf. Einige gut ausgeprägte Erzblätter wurden durch Einschlagen von Stahlstiften kontaktiert. Die bewegliche Elektrode bestand aus einem Kupferstab mit isoliertem Griff. Die Verbindung mit dem Generator, dem Milliampereometer und der Gegenelektrode wurde durch ein abgeschirmtes Kabel hergestellt. Die Meßstrecke lag quer über den Erzblättern. Bei einer Spannung von 200 V wurden im tauben Gestein Ströme von 0,3 mA gemessen. Sobald die mobile Elektrode Erz berührte, stieg der Strom um den Faktor 20 an. Bei bekannter Geometrie konnten die Blätter exakt in ihrem Verlauf festgelegt werden.

Meßbeispiel 2: In der Fahlerz-Baryt-Lagerstätte Großkogel bei Brixlegg trat die Frage auf, ob die in älteren Gutachten erwähnten Erzblätter, die für den Unterbau angegeben wurden, sich in den Oberbau weiter fortsetzen bzw. ob sie überhaupt existieren. Zur Untersuchung dieses Problemcs wurde wiederum die Widerstandsmethode verwendet. Im Unterbau wurde eine Elektrode (Kupferplatte) im angegebenen Erzblatt selbst kontaktiert, während als mobile Elektrode im Oberbau (SE-Schlag, Kramstollen) zwanzig Nägel verwendet wurden. Diese Nägel wurden im Abstand von 5 cm in den Boden eingeschlagen und parallel geschaltet, so daß die Gesamtlänge der mobilen Elektrode 1 m betrug. Aus den gemessenen Strömen und Spannungen wurde der Leitwert des Gesteins zwischen den Elektroden berechnet. Bei den in Abb. 7.17 gezeichneten Leitwerten ist der variable Abstand der Elektroden berücksichtigt. Es wurde eine lineare Korrektur vorgenommen, d. h., es wurde der Leitwert invers proportional zur Entfernung der Elektroden gesetzt. Korrekterweise hätte die Umrechnung mit einer höheren Potenz des Abstandes erfolgen müssen, da die Stromlinien ein kugelförmiges Gebiet umfassen. Die Meßergebnisse — siehe Abb. 7.17 — wären dann noch charakteristischer ausgefallen.

Diskussion der Meßergebnisse: Nach der Höhe der Leitwerte würde man bei 79, 85 und 94 m — eventuell bei 65 m — Tiefe ein gut leitendes Gestein vermuten. Für das zu untersuchende Erzblatt würde sich bei dem angegebenen Fallen und Streichen ein Schnittpunkt mit dem Kramstollen bei 66 m Tiefe ergeben. Die Leitwertspitze bei 65 m deutet auf ein eventuelles Vorkommen des Blattes an dieser Stelle hin.

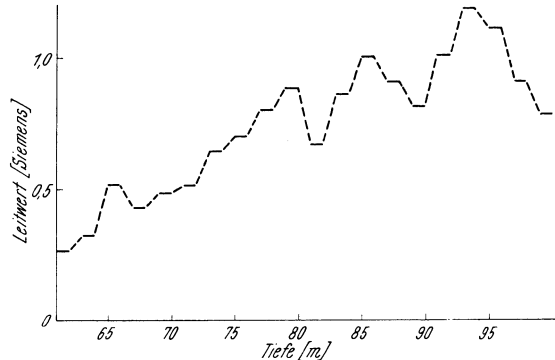


Abb. 7.17. Elektrischer Leitwert als Funktion der Tiefe des Stollens. (Bergbau Großkogel-Brixlegg) S-E-Schlag Kramstollen

Wesentlich ausgeprägter sind die Leitwerte bei 79, 84 und 94 m. Diese gut leitenden Zonen entsprechen wahrscheinlich einer Imprägnationsvererzung, die auch im Unterbau (SE-Schlag) festzustellen ist.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß dem von den früheren Gutachtern angegebenen Erzblatt keine besondere Bedeutung im Oberbau zukommen dürfte, wohl aber der Imprägnationsvererzung, die sich nach oben hin fortzusetzen scheint.

Diese Vermutung wurde weiter untermauert durch Widerstandsmessungen im S-Schlag des Kramstollens (Oberbau). Auch dort wurde eine der angegebenen Imprägnationsvererzung entsprechende gut leitende Zone festgestellt. Der Imprägnationsvererzung wäre ein Streichen von ca. 55° und ein Fallen von ca. 80°S zuzuordnen.

b) Richtungsbestimmung mit Hilfe von Spannungsmessungen

Zwei Stromelektroden, E_1 und E_2 , werden mit Gestein kontaktiert. Fließt durch die Elektroden der Strom I [A], so erzeugt dieser im Aufpunkt P_1 , der von der Elektrode E_1 den Abstand R_1 und von E_2 den Abstand R_2 haben möge, das Potential

$$\varphi_1 = \frac{I}{4\pi\sigma_G} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right). \quad (7.14)$$

σ_G = elektrische Leitfähigkeit des Gesteins.

In einem zweiten Aufpunkt P_2 — mit den Abständen $P_2E_1 = r_1$ und $P_2E_2 = r_2$ — erhält man das Potential

$$\varphi_2 = \frac{I}{4\pi\sigma_G} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (7.15)$$

Die Spannung U zwischen den beiden Punkten P_1 und P_2 ergibt sich als Differenz der Potentiale φ_1 und φ_2

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{I}{4\pi\sigma_g} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right). \quad (7.16)$$

Zur Abkürzung wird der geometrische Faktor k

$$k = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (7.17)$$

eingeführt; somit gilt:

$$U = \frac{I}{4\pi\sigma_g} \cdot k. \quad (7.18)$$

Diskussion der Gleichung (7.18): Wenn die Leitfähigkeit des Gesteins konstant ist, d. h., wenn ein homogenes Gestein vorliegt, kann man durch Messung von U und I Aussagen machen über die gegenseitige Lage der Punkte E_1 , E_2 , P_1 und P_2 (siehe Abschnitt 7.2).

Ist die Größe k und der Strom I konstant, so lassen sich, wenn man U an verschiedenen Punkten, z. B. längs eines Profils, bestimmt, Gesteine mit variierender Leitfähigkeit erfassen. Auf dieser Möglichkeit basiert ein Verfahren zur Bestimmung des Verlaufes von Erzblättern.

Mißt man längs eines Profils, das quer über eine Vererzung gelegt wird, bei konstantem k und I die Spannung U zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 — wobei P_1 fix und P_2 beweglich sein soll — so erhält man dort, wo σ_g hoch ist, eine niedrigere Spannung und umgekehrt.

Hat die zu untersuchende Vererzung eine wesentlich höhere Leitfähigkeit als das umgebende taube Gestein, so macht sich das Erz durch ein Spannungsminimum bemerkbar.

Bei der Anwendung des Verfahrens im Bergbau hat man auf folgendes zu achten:

a) Wenn die Größe k sehr klein ist (ca. 10^{-1} — 10^{-2} cm $^{-1}$), werden bei den üblicherweise zu verwendenden Strömen I von 10—100 mA die Spannungen U im Millivoltbereich liegen. Zur Messung benutzt man entweder Wechselströme — und verwendet bei der Spannungsmessung entsprechende Filter zum Ausblenden von Fremdspannungen — oder man benutzt Gleichstrom und mißt die Spannungen mit Hilfe eines Kompensationsvoltmeters, dessen Innenwiderstand im Falle der Kompensation unendlich groß wird. Von der Meßspannung ist die sogenannte Nullspannung abziehen, die sich als Summe von Strömungs- und Schichtungspotentialen sowie des Galvanipotentials der Spannungselektroden in P_1 und P_2 ergibt. Die Nullspannung wird bei abgeschaltetem Strom für jeden Meßpunkt bestimmt.

b) Bei der Auswertung der Meßergebnisse hat man, speziell wenn eine Messung längs eines Profils ausgeführt wurde, rechnerisch für Konstanz des Faktors k zu sorgen. Im allgemeinen werden bei der Messung der Größen r_1 und r_2 variabel sein; dann ist es sehr günstig, die Abstände R_1 und R_2 gleich groß zu machen, so daß sich der Faktor k auf

$$k' = -\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (7.19)$$

reduziert. Zur Umrechnung der Spannung bei konstantem Strom wählt man für k einen fixen Wert, k_{fix} , und bezieht alle anderen k -Werte auf diese Größe.

Meßbeispiel 3: Die im Meßbeispiel 2 erörterten lagerstättenkundlichen Probleme im Bergbau Großkogel lassen sich auch mit Hilfe der in diesem Kapitel beschriebenen Spannungsmessungen lösen. Die Stromelektroden E_1 und E_2 , sowie die fixe Spannungselektrode P_1 werden so angebracht, daß gilt

$$P_1E_1 = P_1E_2 = R_1 = R_2 = 120 \text{ m}. \quad (7.20)$$

$r_1 = P_2E_2$ und $r_2 = P_2E_1$ variabel.

P_2 — die mobile Spannungssonde — wurde im SO-Schlag des Kramstollens verschoben.

Der Strom I zwischen E_1 und E_2 wurde auf 40 mA eingestellt. Als Spannungselektrode P_1 diente eine Kupferplatte, die bewegliche Elektrode wurde mit Hilfe von Stahlnägeln, die in den Ulm eingeschlagen wurden, kontaktiert.

Die Nullspannung variierte zwischen 85 und 115 mV. Die bei Stromfluß gemessene Spannung schwankte je nach lokalen Leitfähigkeitsdifferenzen sehr stark. Zur Auswertung wurde eine Mittelung über je sieben Messungen durchgeführt.

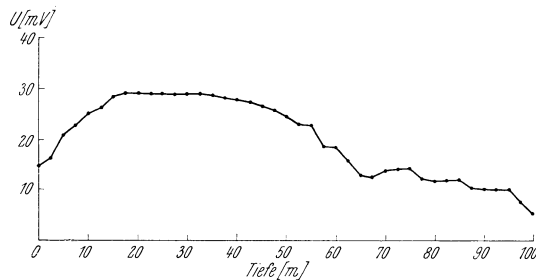


Abb. 7.18. Spannung als Funktion der Tiefe des Stollens. (Bergbau Großkogel-Brixlegg) Kramstollen S-E-Schlag

Als fixer Bezugswert für den geometrischen Faktor wurde $k_{\text{fix}} = 0,0155 \text{ cm}^{-1}$ gewählt. In Abb. 7.18 ist die auf k_{fix} umgerechnete Spannung U als Funktion der Tiefe (SO-Schlag Kramstollen) aufgetragen.

Diskussion der Kurve: Man erkennt am Beginn der Strecke einen starken Abfall der Spannung — man nähert sich hier dem Erzhaupblatt. Ein weiteres Absinken der Spannung tritt bei einer Tiefe von ca. 58 m ein, bei 65 m liegt ein flaches Spannungsminimum. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Spannung weiter ab und erreicht bei 100 m mit 5 mV ihren Tiefstwert.

Man erhält — wie bei der Widerstandsmessung — eine Andeutung des Erzblattes bei 65 m. Die niedrigen Spannungen in größerer Tiefe deuten auf eine höhere Leitfähigkeit hin — speziell der Wert bei 100 m.

Auch hier ergibt sich ein Hinweis auf die Imprägnationserzzone. Vergleicht man das im Kramstollen ermittelte Vorkommen mit der Lage der Imprägnations-

vererzung im Unterbau, so ist für diesen Erzkörper ein Einfallen von ca. 80°S anzunehmen. Dieses Ergebnis entspricht den Berechnungen unter Zuhilfenahme der Meßergebnisse der oben geschilderten Zwei-Elektroden-Methode.

c) Bestimmung des Verlaufes von Erzklüften mit Hilfe von Potentialmessungen im Bohrloch

Diese Methode der Mikrobeprobung von Bohrlöchern wurde bereits in Abschnitt 5.3.2 beschrieben. Es sei auf die dortigen Ausführungen verwiesen.

Zu den unter a), b) und c) ausgeführten Verfahren ist zu sagen, daß sie mit relativ einfachen elektrischen Mitteln Aussagen über die Richtung von Vererzungen zulassen. Diese Verfahren können keineswegs immer die bisherigen Methoden ersetzen, sind aber als wertvolle Ergänzung der üblichen Prospektionsmethoden anzusehen.

Literatur

- [7.1] BITTERLICH, W., und WÖRZ, O., Geoelektrische Ortungsmethode. *Erzmetall* 79, 136f. (1966).
- [7.2] BITTERLICH, W., Der Einsatz elektronischer Hilfsmittel bei Vermessungsarbeiten in Bergwerken. *Erzmetall* 23, 393—394 (1970).
- [7.3] BITTERLICH, W., und WÖBKING, H., Bestimmung von Kupferspuren in Wasser mit Diäthylthiocarbamat — eine Feldmethode zur Prospektion. *Erzmetall* 24, 121—122 (1971).
- [7.4] BITTERLICH, W., und WÖBKING, H., Geoelektrische Untersuchungen in Bohrlöchern. *Erzmetall* 23, 120—123 (1970).
- [7.5] BITTERLICH, W., und WÖBKING, H., Geoelektrische Methoden zur Richtungsbestimmung gut leitender Vererzungen. *Erzmetall* 24, 74—78 (1971).
- [7.6] BITTERLICH, W., Wissenschaftlicher Endbericht: Die Fortpflanzung von VLF-Wellen in Festkörpern. Contract No. 61(052)-490, Innsbruck, Dezember 1965.
- [7.7] LUKAS, W., Geochemische und emissionsspektrographische Untersuchungen an der Antimonlagerstätte Schlaining (Burgenland). Veröff. Univ. Innsbruck, Alpenkd. Stud. 26 (1969).