

Werk

Jahr: 1939

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:15

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0015

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015

LOG Id: LOG_0042

LOG Titel: Die Meßverfahren zur Bestimmung des Dispersionseffektes des Widerstandes von Gesteinsmedien

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

Die Meßverfahren zur Bestimmung des Dispersionseffektes des Widerstandes von Gesteinsmedien

Von **Max Müller**, Jena. — (Mit 2 Abbildungen)

Es werden kurz einige Meßmethoden beschrieben, welche es ermöglichen, den Dispersionseffekt des Widerstandes von Gesteinsmedien durch dynamische Phasenregelung zu bestimmen. Die Methoden besitzen den Vorteil einer hohen Selektivität und großen Tiefenwirkung.

Das vergleichende Studium der Literatur der geoelektrischen Bodenforschung und der modernen Elektrolytforschung zeigt, daß in der ersteren die Ergebnisse und Fortschritte der letzteren in vieler Hinsicht unbeachtet geblieben sind. Auch heute noch setzt der Geoelektriker stillschweigend voraus, daß beim Durchgang von Wechselströmen durch Gesteinsmedien deren Konstanten — der Widerstand und die Kapazität — keine zeitliche Veränderung erfahren und daß Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante unabhängig vom Gesteinsdruck sei. Schließlich wird der Wassergehalt und die Feuchtigkeit der Medien oder das Vorhandensein von metallischen Erzen für deren Leitfähigkeit allein verantwortlich gemacht. Von den vielen im Erdboden möglichen elektrolytischen Phänomenen aber kennt die Geoelektrik lediglich die von Schlumberger im stationären Grenzfall entdeckten Polarisationserscheinungen und schließlich die beim Durchgang von Gleichstrom oder sehr niederperiodischen Wechselströmen an den Elektroden auftretenden Polarisationskräfte.

Nun hat aber bekanntlich die Entwicklung der modernen Elektrolytforschung zu der Erkenntnis geführt, daß mit wachsender Spannung eine Vermehrung der Leitfähigkeit und eine Abnahme der Dielektrizitätskonstanten auftritt (Wien-Effekt) und daß die im Wechselfelde gemessene Leitfähigkeit mit wachsender Frequenz zunimmt (Debije-Falkenhagen-Effekt). Außerdem wurde eine zeitliche Änderung von Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante beim Stromdurchgang festgestellt. Die genannten Effekte beruhen auf interionischen Wirkungen und können nur bei sehr hohen Feldstärken, bei denen die Ionen relativ hohe Geschwindigkeiten erhalten, oder aber im hochfrequenten Felde gemessen werden. Darüber hinaus wurden auch Temperatur- und Druckabhängigkeiten der genannten Dispersionsphänomene festgestellt. Leider ist es aber nun ein unvermeidlicher Übelstand, daß hochfrequente Wechselströme nur eine geringe Eindringungstiefe besitzen.

Nun zeigen aber umfangreiche geoelektrische Messungen des Verfassers, daß in Gesteinsmedien in einem viel tieferen Frequenzbereich weitere Dispersionsphänomene auftreten, welche durch Polarisationserscheinungen bedingt sind. Beim Durchgang von Wechselströmen durch Gesteinsmedien ändert sich deren Widerstand und Kapazität mit der Zeit und zwar in einer von der Frequenz abhängigen Form. Außerdem sind aber auch die absoluten Beträge des Wider-

standes und der Kapazität frequenzabhängig. So nimmt z. B. die Leitfähigkeit von Sand zwischen 50 und 1800 Hertz auf das zehnfache zu, während die Dielektrizitätskonstante im gleichen Frequenzbereich um 50% abnimmt. Diese Dispersionserscheinungen ändern sich mit der Beschaffenheit des Gesteins in den weitesten Grenzen. Es ist daher einleuchtend, daß die Bestimmung der genannten Dispersionsphänomene eine viel eingehendere Kenntnis von der Beschaffenheit der Medien zu geben vermag, als lediglich die Bestimmung des absoluten Betrages des Widerstandes im Gleichstromfelde. Vor allem ist die Kenntnis der zeitlichen Änderungen, welche der Widerstand und die Kapazität beim Stromdurchgang erfahren, ebenso wichtig, wie die Bestimmung des absoluten Betrages derselben.

Im folgenden soll deshalb ein kurzer Überblick über die zur Bestimmung der Dispersionseffekte des Widerstandes und der Kapazität entwickelten Meßverfahren und Meßschaltungen gegeben werden, die vom Verfasser während der letzten sieben Jahre teils im Inland, teils in Indien ausgearbeitet und erprobt wurden. Zugleich sollen im folgenden Aufsatz eine Reihe fehlerhafter Beschreibungen und Nachahmungen, die von verschiedenen Autoren veröffentlicht worden sind, berichtigt werden.

Der nachstehende Aufsatz läßt sich nun kurz in folgende Abschnitte gliedern:

1. Die Bestimmung des Dispersionseffektes des Widerstandes von Gesteinsmedien durch einfache Phasenregelung.
2. Unmittelbare Bestimmung von künstlich erregten Polarisationskräften in Gesteinsmedien durch mehrfache Phasenregelung (dynamisches Kompensationsprinzip).
3. Bestimmung des Dispersionseffektes durch Dämpfungskopplung.
4. Die praktische Bedeutung der neuen Methoden.

1. Die Bestimmung des Dispersionseffektes des Widerstandes von Gesteinsmedien durch einfache Phasenregelung. Wir wollen nun im folgenden zunächst voraussetzen, daß keine Kapazitätseinflüsse vorhanden seien und stellen zunächst die Aufgabe, die zeitliche Änderung des Gesteinswiderstandes beim Stromdurchgang zu bestimmen. Dann stellt die Fig. 1 die einfachste der möglichen Meßanordnungen dar. In dieser liegt der zu bestimmende Gesteinswiderstand in einem Wechselstromkreis mit Ventil und Induktivität. Das richtige Verständnis dieser Meßschaltung verlangt eine präzise Formulierung der Funktion ihrer Glieder und ihres Einflusses auf die relative Phasendauer. Wir wollen hierbei voraussetzen, daß der Ventilwiderstand in der Sperrichtung unendlich groß sei und daß das Ventil keine Mindestspannung habe, sondern in der Durchlaßrichtung schon bei der geringsten Spannung anspricht.

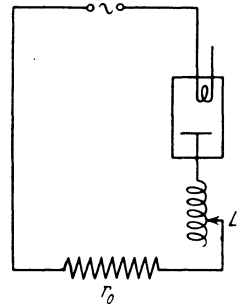


Fig. 1. Ventilschaltung mit Induktivität und Widerstand

Denken wir uns den Gesteinswiderstand zunächst durch einen Ohmschen Widerstand ersetzt, dann lautet die Differentialgleichung für die Stromstärke:

$$L \frac{di}{dt} + r i = V \sin \omega t.$$

Hierin ist i die Stromstärke, $V \sin \omega t$ die auf den Kreis wirkende EMK. und $r = r_0 + r_1$ die Summe des Ohmschen Belastungswiderstandes r_0 und des Ventilwiderstandes in der Durchlaßrichtung und L die Induktivität. Mit der Anfangsbedingung $i = 0$ für $t = 0$ lautet die Lösung der Differentialgleichung bekanntlich

$$i = \frac{V \cos \varphi}{r} \left\{ \sin(\omega t - \varphi) + \sin \varphi e^{-\frac{\omega t}{\text{tg} \varphi}} \right\},$$

wobei

$$\text{tg} \varphi = \frac{\omega L}{r}.$$

i wird zum zweiten Male 0 nach der Zeit t_1 . Für diesen Punkt ist also:

$$\sin(\omega t_1 - \varphi) + \sin \varphi e^{-\frac{\omega t_1}{\text{tg} \varphi}} = 0,$$

woraus sich die Durchlaßzeit t_1 bestimmt.

t_1 ist somit von der Phasenkonstanten φ des Kreises abhängig.

Die Größe

$$\gamma = \frac{t_1}{t} = \frac{100 \omega t_1}{2 \pi},$$

d. h. also die in Prozenten ausgedrückte relative Dauer der positiven Phase ist in der Fig. 2 als Funktion der Phasenkonstanten in Form einer Kurve dargestellt.

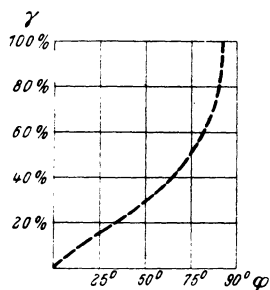


Fig. 2. Prozentuale Durchlässigkeit eines Ventilkreises mit Induktivität und Widerstand in Abhängigkeit vom Phasenwinkel

Wie man sieht, nimmt diese Größe gleichzeitig mit der Phasenkonstanten zu, um für eine Phasenkonstante von 90° ihren höchsten Betrag zu erreichen. Dieser ist 100%, d. h. im Falle sehr großer Selbstinduktion und sehr kleinen Widerstandes im Wechselstromkreise dauert die positive Phase fast die ganze Zeit einer Periode.

Aus dem oben Gesagten folgt nun, daß sowohl die Phasendauer als auch der zeitliche Verlauf der Stromkurve durch die Stromfrequenz und durch die Größe der Induktivität und des Widerstandes r_0 und des Ventilwiderstandes eindeutig bestimmt sind. Es ist deshalb einleuchtend, daß man bei gegebener Frequenz und Induktivität und gegebenem inneren Ventilwiderstand die Größe des Widerstandes r_0 sowohl aus der Länge der Phasendauer als auch aus der Form der Stromkurve bestimmen kann. Die in der Literatur von anderer

Seite vielfach verbreitete Auffassung, daß eine solche Meßanordnung sinusförmige Halbwellen erzeuge, beruht auf einem großen Irrtum. Vielmehr können

sinusförmige Halbwellen nur dann auftreten, wenn keine Induktivität im Meßkreis vorhanden ist.

Leitet man nun den Strom durch die Erde, so erfährt der Gesteinswiderstand beim Stromdurchgang eine zeitliche Änderung innerhalb der Periode. Dies hat eine entsprechende zeitliche Änderung der Phasenkonstanten zur Folge und eine dementsprechende Deformation der Stromkurven. Um nun eine systematische Messung einer Schichtenfolge vornehmen zu können, werden die Ströme der Erde bei verschiedenem, sukzessiv wachsendem Elektrodenwiderstand zugeleitet. Die einfachste Form der Durchführung einer Feldmessung beruht nun darauf, daß man die Messung bei stets gleichem Übergangswiderstand ausführt und aus dem zeitlichen Verlauf des Phasenwinkels oder aus der Deformation der Stromkurve die prozentuale Änderung des Widerstandes für verschiedene Frequenzen und Elektrodenabstände ermittelt. Wo die klimatischen Verhältnisse oder die Eigenart der lokalen Bodenbeschaffenheit ein Einstellen des Übergangswiderstandes auf den jeweils gleichen Betrag nicht gestatten, ist eine sinngemäße Angleichung des Ventilmesskreises an den jeweiligen Übergangswiderstand erforderlich. Der innere Widerstand des Ventils und die Größe der Induktivität müssen hierbei jeweils so abgeändert werden, daß die Ausgangsphase auch für den neuen Übergangswiderstand ihren Wert beibehält.

Selbstverständlich kann man die Meßschaltung auch in einer anderen Form ausbilden. Man schaltet zu diesem Zweck ein Ventil parallel mit einer Kapazität C und in Serie mit dem Widerstand r . Dann lautet die Gleichung für die Spannung V am Ventil bzw. am Kondensator:

$$V = E \sin \varphi \{ \cos (\omega t - \varphi) - e^{-\omega t} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \varphi \},$$

wobei

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{r \omega e}$$

und wobei E die Betriebsspannung ist.

In diesem Ventilkreis wird also der zeitliche Verlauf der Spannung am Ventil gemessen. Die angegebenen Formeln müssen natürlich erweitert und ergänzt werden, wenn die Ventile eine Vorspannung besitzen, denn dann hängt die Dauer der Durchlässigkeit auch noch von der Vorspannung ab.

Wesentlich einfacher gestalten sich die Messungen, wenn man diese nicht mit pulsierenden Gleichströmen, sondern mit reinen Wechselströmen ohne Verwendung irgendwelcher Ventile ausführt. Denn dann kommen die Einschaltvorgänge in Fortfall.

Liegt die Wechselstromquelle V direkt in Serie mit der Induktivität L und dem Widerstand r , so gilt bekanntlich

$$V \sin (\omega t + \varphi) = i \cdot r \sin \omega t + i \omega L \cos \omega t,$$

wobei

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{r}.$$

Hier ist bei bekannter Induktivität und Frequenz der Widerstand direkt aus dem Phasenwinkel zu bestimmen. Um die zeitliche Änderung des Phasenwinkels innerhalb der Periode verfolgen zu können, bedient man sich am besten eines Kathodenstrahloszillographen, an dessen eines Plattenpaar die Spannung und an dessen anderes Plattenpaar über einen Verstärker der Strom gelegt wird. Man erhält dann bekanntlich auf dem Leuchtschirm eine Ellipse, durch deren Achsenverhältnis oder Neigung der Phasenwinkel bestimmt werden kann. Ändert sich der Phasenwinkel innerhalb der Periode mit der Zeit, so dreht sich die Ellipse auf dem Leuchtschirm unter dauernder kontinuierlicher Änderung ihrer Neigung und ihrer Achsenverhältnisse. Die photographische Registrierung dieses Vorganges ermöglicht dann eine unmittelbare Bestimmung des zeitlichen Verlaufes der Momentanwerte des Widerstandes innerhalb der Periode und damit zugleich auch die zeitliche Änderung des Widerstandes. Voraussetzung für die Durchführbarkeit dieser Messungen ist, daß die Stromfrequenz so hoch ist und das Elektrodenmaterial so gewählt wird, daß die an den Elektroden auftretenden Polarisationserscheinungen verschwindend klein werden.

Zur Bestimmung der Frequenzabhängigkeit der Widerstandsänderung beim Stromdurchgang durch Gesteinsmedien werden die Messungen mit verschiedenen Frequenzen ausgeführt und wiederholt.

2. Unmittelbare Bestimmung von künstlich erregten Polarisationskräften in Gesteinsmedien durch mehrfache Phasenregelung (dynamische Kompensation). Derartige Messungen sind jedoch insofern sehr kostspielig, als sie wegen der relativ hohen Stromfrequenz von 100 Hertz und mehr eine hohe Filmgeschwindigkeit (Registriergeschwindigkeit) verlangen. Um die Versuchskosten herabsetzen zu können, habe ich bereits im Jahre 1932 ein Meßverfahren entwickelt, das auf der Verwendung niederperiodischer Schwebungen beruht. In der damaligen Meßanordnung wurden niederperiodische Schwebungen über ein Ventil und eine Induktivität der Erde zugeleitet und die Ströme mit Hilfe eines in bezug auf die Grundfrequenz aperiodisch gedämpften Schleifengalvanometers registriert. Selbstverständlich hängt hier die Form der Stromkurve nicht nur von den Grundfrequenzen, sondern auch von der Schwebungsperiode ab.

Um die Reproduzierbarkeit dieses Meßverfahrens zu gewährleisten, müssen natürlich auch hier die dynamischen Bedingungen des Ventilkreises dem Übergangswiderstand angepaßt werden. Die die Reaktion vermittelnden Frequenzen sind in dieser Meßanordnung aber selbstverständlich die Grundfrequenzen, nicht aber die Schwebungsfrequenzen. Ich habe in meinem Aufsatz in der Zeitschrift für Geophysik vom Jahre 1932 auch nur von niederperiodischen Schwebungen, keineswegs aber von niederperiodischen Grundschrwingungen gesprochen. Die letzteren müssen naturnotwendig so hoch sein, daß die Polarisation der Elektroden als eine den Meßvorgang störende Erscheinung verschwindend klein wird. Dann erst ist die Meßanordnung und ihre Wirkungsweise unabhängig von der Natur des Elektrodenmaterials. In der Literatur aber sind von anderer Seite eine Reihe

von Darstellungen bekannt geworden, welche die wirksame Frequenz in der Schwebungsperiode sehen wollen und welche die in Wirklichkeit auf einer rein dynamischen Phasenregelung beruhende Meßanordnung der Öffentlichkeit in irreführender Weise als einen Akkumulator darstellten, welcher geladen und entladen wird.

Nun habe ich den bereits im Jahre 1932 beschriebenen Ventilhauptkreis mit zwei weiteren Ventilhilfskreisen kombiniert, die ihrerseits ebenfalls als Phasenregler wirkten, aber mit verschiedener Impedanz ausgestaltet waren. Durch Kombination dieser Ventilanordnungen, die ihrerseits mit Verstärkern gekoppelt waren, war es mir unter Zugrundelegung eines dynamischen Kompensationsprinzips gelungen, eine *Meßanordnung zu finden, welche auf die Widerstandsänderung im Ventilhauptkreis allein anspricht*. Da nun die Widerstandsänderung im Gestein von den Polarisationskräften in den Medien herrührt, war es mir somit gelungen, eine Meßmethode zu schaffen, mit der die Polarisationskräfte in den Medien als Funktion der Grundfrequenz bestimmt werden konnten. Daß es sich hierbei keineswegs um einen Elektrodeneffekt handelt, kann damit als erwiesen gelten.

In Verbindung mit der Vierpunktmethode können die genannten Meßanordnungen natürlich auch zur Bestimmung des absoluten Betrages des Widerstandes von Gesteinsmedien benutzt werden.

3. Bestimmung des Dispersionseffektes durch Dämpfungskopplung. Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung des Dispersionseffektes des Widerstandes der Medien beruht auf der Verwendung induktiv gekoppelter Schwingungskreise, die auf der Primärseite durch Einschalten einer Gleichstromquelle in Schwingungen versetzt und auf der Sekundärseite durch die Erde belastet werden. Wir haben es bei diesem Meßsystem also mit zwei für sich frei schwingungsfähigen Teilen zu tun. Die Anwendung dieses Meßsystems setzt natürlich eine genaue Kenntnis des Einflusses des Kopplungsfaktors voraus. Zur Messung gelangen hier der zeitliche Verlauf des Stromes, der zeitliche Verlauf der Phasenwinkel und schließlich die durch die Dämpfung verursachte Frequenzänderung. Die letztere läßt sich ebenfalls mit einem Kathodenstrahloszillographen ermitteln, an dessen eines Plattenpaar eine geeichte Vergleichsfrequenz und an dessen anderes Plattenpaar die zu bestimmende Frequenz gelegt wird. Aus der Wanderungsgeschwindigkeit des Bildes ergibt sich die gesuchte Frequenz und ihre durch die zeitliche Änderung des Erdwiderstandes bedingte Änderung. Bei Anwendung eines Zweistrahlrohres kann man die Schwingungsvorgänge in beiden Kreisen gleichzeitig verfolgen. Natürlich kann man dieses Verfahren auch in einer Kombination mit der Vierpunktmethode anwenden, indem gleichzeitig der durch den Boden fließende Strom und die Spannung zwischen zwei Hilfelektroden gemessen wird. Wesentlich schwieriger werden die Meßvorgänge im Falle einer primärseitigen periodischen Erregung durch sinusförmige Schwingungen oder Schwebungen. Auf die Theorie dieser Meßvorgänge und auf eine weitere Meßmethode, welche neben dem Dispersionseffekt des Widerstandes auch noch den der Kapazität zu bestimmen gestattet, werde ich in einem ausführlichen Aufsatz eingehen.

4. *Die praktische Bedeutung der neuen Methoden.* Die praktische Bedeutung der neuen Meßmethoden liegt vor allem in der Erfassung neuer Bestimmungsgrößen, die einen ganz anderen Verlauf nehmen als der absolute Betrag der Gesteinswiderstände, und in ihrer großen Tiefenwirkung.

Der größte Vorteil der beschriebenen Methoden liegt aber darin, daß es in gewissen Frequenzbereichen möglich ist, selektive Reaktionen herauszuholen. So gelang mir z. B. in der Goldlagerstätte von Redjang Lebong in Westsumatra die Bestimmung des freien Quarzgehaltes der Medien in Übereinstimmung mit dem bergmännischen Befund.

In einem größeren Aufsatz werde ich eine Reihe von Messungen behandeln.

Bemerkung zu Zählrohrmessungen im Gelände

Von **F. Herold**, Freiberg (Sachsen)

Kurzer Bericht über die Erfahrungen, die bei Geländemessungen mit einem elektrisch betriebenen Hochspannungs-Koffgerät gemacht wurden.

Für die physikalische Klärung der Hypothesen über den „Wünschelruteneffekt“ [1] [2] [3] [4] ist die Untersuchung der radioaktiven Ausstrahlung des Erdbodens [5] [6] ein wichtiger Beitrag.

In der letzten Zeit sind in dieser Zeitschrift zwei Arbeiten erschienen, die über Messungen der γ -Strahlung im Gelände berichten [7] [8]. Suckstorff und Stechhöfer haben bei ihren Untersuchungen transportable Zählrohanordnungen benutzt. Stechhöfers Geländemessungen der durchdringenden Strahlung ergaben für die Bodenstrahlung über verschiedenen Böden Unterschiede im Verhältnis 1:4. Während Suckstorff über einer Verwerfung durch Messung einer erhöhten Bodenstrahlung zur Feststellung eines deutlichen radioaktiven Profils gelangt, findet Stechhöfer im Gegensatz hierzu an Verwerfungen keinerlei Besonderheiten der durchdringenden Strahlung. Weitere klärende Untersuchungen dieser Art, möglichst von verschiedener Seite, fänden sicher großes Interesse. Außerdem wären neben den Messungen der durchdringenden Strahlung mit dem Geiger-Müller-Zählrohr Versuche mit dem Spitzenzähler [9] und anderen α - und γ -Strahlmeßgeräten [10] sehr aussichtsreich. Für solche zukünftigen Messungen sind die bisher bei den Geländemessungen gemachten Erfahrungen von Wert, nicht zuletzt auch die in praktischer Hinsicht.

Zu der technischen Durchführung solcher Messungen möchte ich einiges bemerken. Bei den Geländemessungen mit Zählern verschiedenster Art ist man immer auf eine leicht transportable Hochspannungsapparatur angewiesen.

Die bereits früher auf Anregung von Herrn Prof. Dr. Aeckerlein in unserem Institut begonnenen Gesteinsmessungen mit dem Zählrohr [11] sind inzwischen fortgeführt und zu Messungen im Gelände erweitert worden. Die Geländemessungen