

Werk

Jahr: 1938

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:14

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0014

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0014

LOG Id: LOG_0044

LOG Titel: Einiges über die Widerstandsverfahren der Funkmutung

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Einiges über die Widerstandsverfahren der Funkmutung

Von **Volker Fritsch**, Brünn. — (Mit 11 Abbildungen)

Es wird gezeigt, wie die heute gebräuchlichen geoelektrischen Widerstandsverfahren bei Hochfrequenz anzuwenden sind und welche neue Verfahren die Funkgeologie ermöglicht.

Unter Funkmutung versteht man allgemein die Bestimmung der Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit eines Vorkommens durch bloße funktechnische Vermessungen. In den zu untersuchenden Gebirgsraum wird ein hochfrequenter Wechselstrom oder ein hochfrequentes Hertzsches Feld eingeleitet und aus der durch das Gebirge verursachten Verformung des Stromlinienbildes oder des Feldes wird dann auf die Beschaffenheit jener Leiter geschlossen, die der untersuchte Raum enthält. Aus diesem wieder wird auf das fragliche Vorkommen selbst geschlossen. Die gestellte Aufgabe kann also nur durch die Zusammenarbeit eines Funktechniklers mit einem Geologen und Bergmann bewältigt werden. Der Funktechniker hat hierbei lediglich die elektrischen Verhältnisse zu untersuchen. An Stelle des mineralogisch-geologisch beschriebenen Vorkommens führt er in seine Untersuchungen den geologischen Leiter ein, dessen Eigenschaften schon an mehreren Stellen der Literatur besprochen wurden. Im folgenden sei nur der rein funktechnische Teil der Messungen behandelt.

1. Allgemeines. Die Funkmutung nach dem Widerstandsverfahren ist in folgender Weise möglich: Man schaltet den zu untersuchenden geologischen Leiter G in den Antennenkreis eines Schwingungskreises, der durch das Gerät M erregt wird und dessen übrige Bestimmungsstücke (L , C , R) bekannt sind (siehe Fig. 1). Man kann dann den ganzen Antennenkreis durch die Antennenkapazität in Luft C' und die dem geologischen Leiter zugeteilten Bestimmungsstücke R_g und C_g ersetzen. Durch die bekannten Meßverfahren sucht man nun den resultierenden äußeren Widerstand ($\Re$) zu ermitteln. Ist dies geschehen, so kann man dann aus diesem auf die Existenz bestimmter geologischer Vorkommen schließen. Der Strom im geologischen Leiter teilt sich in einen Verschiebungsstrom J_C und in einen Leitungsstrom J_R . Der resultierende Widerstand für den geologischen Leiter soll mit Z bezeichnet werden. Er ist bekanntlich durch die Höhe eines rechtwinkligen Dreieckes dargestellt, dessen Schenkel durch die Ohmschen und kapazitiven Scheinwiderstände dargestellt sind. Bei niedrigen Frequenzen anwendbare Widerstandsverfahren werden schon lange verwendet*). Diese müssen aber erst modifiziert werden, um auch bei Hochfrequenz richtige

*) Siehe u. a. Koenigsberger: Beitr. z. angew. Geophys. 3. 463ff. (1933) mit zahlreichen Literaturangaben.

Ergebnisse zu liefern. Die wichtigsten Gründe hierfür können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Neben dem Leitungsstrom kann, wie dies eben gezeigt wurde, im geologischen Leiter ein Verschiebungsstrom auftreten, der keineswegs vernachlässigt werden darf.

2. Sowohl der Leitungswiderstand als auch die scheinbare Dielektrizitätskonstante sind bei hohen Frequenzen oft mehrfache und komplizierte Funktionen der Frequenz. Vor einer möglichen Anwendung des Widerstandsverfahrens müssen daher erst diese Zusammenhänge klargestellt werden.

Auch bei niedrigen Frequenzen wird man den Einfluß der Frequenz wohl nie ganz außer acht lassen. Man kann sich aber häufig mit einfachen Formeln

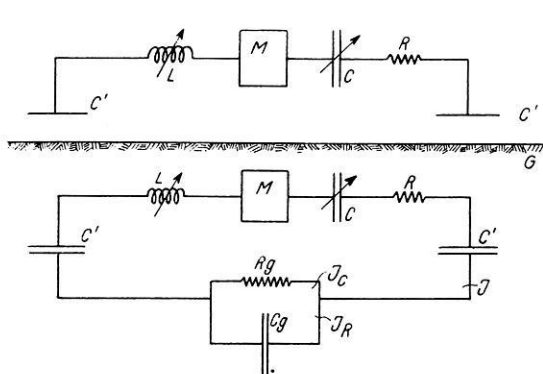


Fig. 1. Anordnung und Ersatzschema einer Meßeinrichtung zur Untersuchung des Untergrundes nach der sogenannten „Kapazitätsmethode“

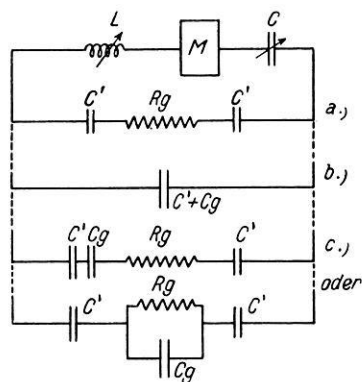


Fig. 2. Verschiedenartige Substitution des geologischen Leiters

begnügen, die bei Anwendung hochfrequenter Ströme versagen. Der Einfluß der Verschiebungsströme ist ja bei niederfrequenten Wechselströmen im allgemeinen gering und man wird ihn daher oft vernachlässigen. Bei Anwendung der Funkmutung treffen aber ganz andere Voraussetzungen zu und es wird daher auch die Meßmethodik eine andere sein müssen als bei den niederfrequenten Widerstandsverfahren.

Die drei zu unterscheidenden Fälle zeigt schematisch Fig. 2. Bei a) ist der geologische Leiter ein reiner Ohmscher Widerstand. Dieser Fall trifft etwa bei Grundwasser zu. Es handelt sich daher nur um die Bestimmung der Leitungsströme. Aus diesem Grunde sind die üblichen Widerstandsverfahren am Platze. Man muß aber die besonderen Voraussetzungen beachten, die durch die Anwendung hoher Frequenzen bedingt sind. Im Falle b) fließen im geologischen Leiter (etwa einem Ölvorkommen) nur Verschiebungsströme. In diesem Falle sind Verfahren anzuwenden, die Nichtleiter nachweisen, die in einem anderen Nichtleiter ein-

gebettet sind. Bei c) schließlich sehen wir den allgemeinen Fall. Der geologische Leiter ist durch einen komplexen Widerstand ersetzt. Neben den Leitungsströmen sind auch die Verschiebungsströme zu bestimmen.

2. *Leitungsstromverfahren.* Wir wollen nun das Wichtigste über diese verschiedenen Verfahren anführen. Legen wir, wie dies Fig. 3 zeigt, an einen unendlich ausgedehnten geologischen Leiter G , dessen völlige Homogenität vorausgesetzt sei, Elektroden A an, so kann der zwischen A_1 und A_2 liegende Widerstand in schon bekannter Weise ermittelt werden. Die ziemlich komplizierten Berechnungen wurden für Gleich- und niederfrequenten Wechselstrom schon von mehreren Autoren durchgeführt*). Wir bezeichnen den von den äußersten Stromlinien umhüllten Raum als „Aufschlußraum“ (Prospektionsvolumen). In der Praxis wird allerdings nur jener Teil dieses gesamten Raumes von Wichtigkeit sein, in dem die

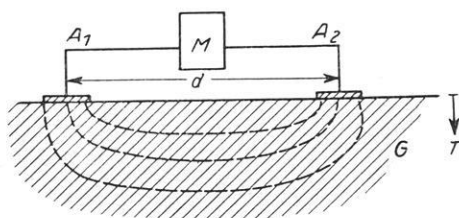


Fig. 3.
Verlauf der Stromlinien im Untergrunde
 A_1, A_2 = Elektroden. G = geologischer Leiter

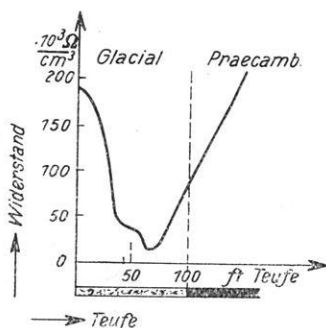


Fig. 3a. Verlauf einer Widerstandskurve. (Nach Koenigsberger.)

Dichte der Stromlinien nicht unter eine bestimmte Grenze sinkt. Wird der Abstand der Elektroden d verändert, so wird sich bekanntlich auch die Größe des Aufschlußraumes verändern. Bei Vergrößerung des Abstandes d wird auch dieser zunehmen. Für uns wird besonders die Vergrößerung dieses Raumes in der Richtung der Teufe T wichtig sein. Durch den Elektrodenabstand wird also die aufgeschlossene Teufe bestimmt sein. Bei homogenen Leitern wird der auf die Raumeinheit bezogene Widerstand konstant bleiben. Tritt aber in den Aufschlußraum ein Leiter von abweichenden elektrischen Eigenschaften ein, so wird auch die Widerstandskurve eine Störung aufzeigen. Dies wird nun gerade in der Geoelektrik zur Grundlage bestimmter Meßverfahren gemacht. Aus der Lage der gemessenen Diskontinuitätsstelle schließt man auf das Vorkommen bestimmter geologischer Leiter in größerer Teufe. In Fig. 3a ist eine von den bisher zahlreich aufgenommenen Kurven dargestellt.

*) Z. B. Hummel: Zeitschr. f. Geophys. 7, 182 (1931); Koenigsberger: l. c. Auch Anisotropien wurden (z. B. von Schlumberger) berücksichtigt.

Wird nun die Messung mit hochfrequentem Wechselstrom durchgeführt, so treten in dieser Hinsicht besonders folgende Komplikationen ein.

1. Die Größe des Aufschlußraumes wird nicht nur durch den Abstand der Elektroden d , sondern auch durch die Frequenz verändert.

2. Diese Änderung ist aber auch weiter durch den Aufbau des mit geologischen Leitern erfüllten Raumes bestimmt. Oft bestehen diese aus mehreren Schichten. Wenn nun z. B. durch die Veränderung der Frequenz die Grenzfläche des Aufschlußraumes durch die Grenzfläche zweier Schichten des geologischen Leiters, die verschiedene elektrische Eigenschaften haben, hindurchgeht, so kann eine sprunghafte Änderung des scheinbaren Widerstandes erfolgen.

Dadurch aber, daß man durch bloße Veränderung der Frequenz die Größe des Aufschlußraumes beeinflussen kann, ist es andererseits auch möglich, die Messung nur über jenen Teilraum zu erstrecken, der für uns von besonderem Interesse ist (Möglichkeit der selektiven Mutung).

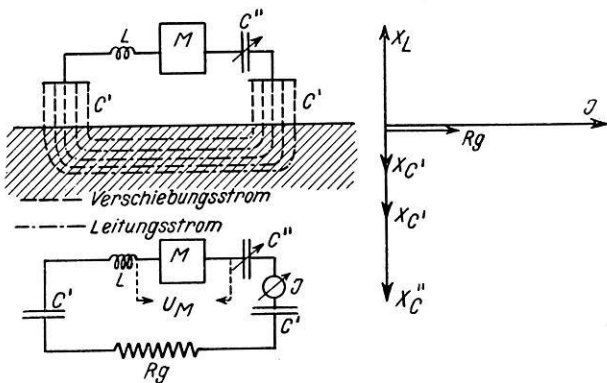


Fig. 4. Anordnung, Ersatzschema und Vektordiagramm für einen rein ohmschen Untergrund

An Stelle der bei den Gleich- und niederfrequenten Wechselstromverfahren üblichen Kontaktelektroden tritt bei den hochfrequenten Meßverfahren die Antenne. Dadurch fallen die bekannten „Elektrodenfehler“ fort. Die Antennenhöhe und die Kapazität der Antenne gegen die geologischen Leiter muß den jeweils gegebenen Voraussetzungen angepaßt werden.

Das Vektordiagramm der Leitungsstrommethode ist in Fig. 4 dargestellt. Wir sehen links die Situation, in der Mitte das Ersatzschema und rechts das Schaubild. Wählen wir L genügend groß, so können wir durch Verstellen von C'' immer $\Sigma X_C = X_L$ (Resonanzfall) festlegen. In diesem Falle wird I ein Maximum werden, was durch eine der bekannten Einrichtungen angezeigt werden kann. R_g ist dann ohne weiteres zu bestimmen. Die größte vertikale Ausdehnung des

Aufschlußraumes, die größte Aufschlußtiefe, $h_{\max}$, wird oft als Funktion der verwendeten Frequenz empirisch in der folgenden Form angegeben:

$$h_{\max}^m \approx 9 \cdot 10^4 \frac{1}{\nu_{\max}}.$$

Daraus würde man für eine Mindesttiefe von nur 10 m die ungefähre höchstzulässige Frequenz mit bloß 10000 Hertz berechnen und die Anwendung von Hochfrequenzen wäre überhaupt unzulässig. Die angegebene Formel darf aber nur bei *mittleren* Frequenzen und auch nur bei bestimmten Böden angewendet werden. Im Bereiche der hohen Frequenzen treten so erhebliche Anomalien auf, daß die Anwendung dieser groben Formel überhaupt unzulässig wird. Die Verhältnisse liegen wesentlich komplizierter und neben der allgemeinen funkgeologischen Beschaffenheit des Untergrundes ist bei der Bestimmung der größtmöglichen Aufschlußtiefe vor allem dessen Struktur von großem Einfluß.

3. *Verschiebungsstromverfahren.* Die reinen Verschiebungsstromverfahren (auch Kapazitätsverfahren genannt) gehören zu den ältesten Methoden der Funkmutung überhaupt. In Fig. 5 sehen wir links die Anordnung, in der Mitte das

Ersatzschema und rechts das Diagramm für dieses Verfahren. Es ist

$$X_C = 2 X_{C'} + X_{C''} + X_{C_g},$$

wobei C' die Kapazität zwischen Antenne und geologischem Leiter bezeichnet, C_g die innere Kapazität des mit geologischen Leitern erfüllten Raumes, und C'' die zusätzliche Abstimmkapazität bedeutet. Wird mit C'' auf Resonanz abgestimmt, so ist $X_L = X_C$. Ist C' konstant (konstante Antennenhöhe), so wird $\Delta C'' = \Delta C$.

Auch bei diesem Verfahren kann man

wieder von einem bestimmten Aufschlußraume sprechen, der durch den Abstand d , die Antennenhöhe und die Frequenz bestimmt ist. Mitunter kann man C' und C_g durch die sogenannte „Ersatzkapazität“ (C'') ersetzen. Für diese gilt

$$C'' = \frac{C_a C_g}{C_a + C_g}, \text{ wobei } C_a = \frac{C'_1 C'_2}{C'_1 + C'_2}.$$

Man kann auch die Kapazität C'' nicht in Reihe mit $C' C_g$, sondern zwischen die Punkte 1 und 2 legen. Der ganze aus Kapazitäten, Induktivitäten und Ohmschen Widerständen bestehende Antennenkreis wird dann durch eine reine Kapazität kompensiert*). Wird durch Veränderung des Abstandes d oder der Antennen-

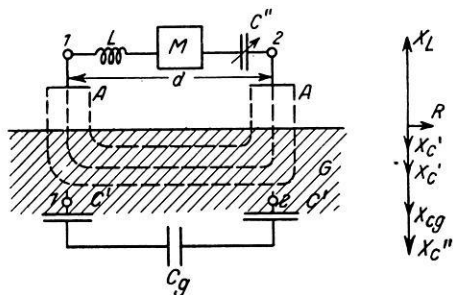


Fig. 5.

Anordnung, Ersatzschema und Vektordiagramm für einen dielektrischen Untergrund

*) Näheres siehe Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 36, 126 (1935).

höhe h_a die Größe des Aufschlußraumes verändert, so wird sich auch die Stärke des Verschiebungsstromes zwischen $A - A$ verändern. Aus einer diskontinuierlichen Veränderung dieser Meßgröße kann dann darauf geschlossen werden, daß in den Aufschlußraum ein Körper von abweichender scheinbarer Dielektrizitätskonstante getreten sei. Das Verfahren wird also in gleicher Weise angewendet wie das Leitungsstromverfahren. Es werden nun aber nicht Unterschiede der Leitfähigkeit, sondern solche der scheinbaren Dielektrizitätskonstante untersucht. Man ist daher auch imstande, Nichtleiter nachzuweisen, die in anderen Nichtleitern eingebettet sind, sofern sie sich in ihrer Dielektrizitätskonstante voneinander unterscheiden. Natürlich ist darauf Bedacht zu nehmen, daß sich auch die scheinbare Dielektrizitätskonstante mit der Frequenz verändern kann.

Ein wichtiger Sonderfall ist in Fig. 6 dargestellt. Der Untergrund besteht zum Teil aus einem reinen Dielektrikum G_1 und zum Teil aus einem guten Ohmschen Leiter G_2 . In G_1 sind daher die Leitungsströme und in G_2 die Verschiebungsströme zu vernachlässigen. In der Natur kann beispielsweise G_2 ein gutleitendes Wasservorkommen und G_1 ein nichtleitendes trockenes Gestein sein. Beläßt man die eine der beiden Antennen an der gleichen Stelle, während man die andere (A_2) nach links verschiebt, so erhält man für die resultierende Kapazität Werte, die unter der Anordnungsskizze im Schaubilde dargestellt sind. Man sieht deutlich, daß nach Überschreiten des Abstandes d_1 ein deutlicher Abfall eintritt. Aus dessen Lage kann auf die Grenze des gutleitenden Vorkommens G_2 geschlossen werden.

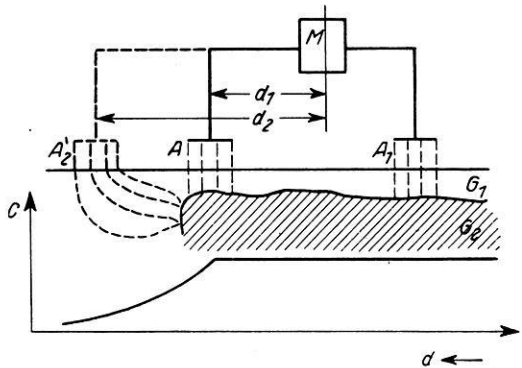


Fig. 6. Verlauf der Ersatzkapazitätskurve (C) über gut- (G_2) und schlechtleitendem (G_1) Untergrunde

In der Natur treten nun an die Stelle des Leiters G_2 mitunter deren mehrere, die siebartig durchlöchert sind, so daß die aus der Antenne quellenden elektrischen Kraftlinien nicht in einem einzigen, sondern in mehreren Leitern einsenken. In diesem Falle kann das Ersatzschema nur dann entworfen werden, wenn der sogenannte Übergriff*) der einzelnen Schichten bekannt ist.

Um unter bestimmten — im allgemeinen einfachen — Voraussetzungen den Verlauf der Kurven zu bestimmen, kann man Modellversuche anstellen. Bei deren Auswertung ist jedoch zu berücksichtigen:

1. Die Wellenlänge ist in entsprechender Weise dem gewählten Verkleinerungsmaßstabe anzupassen.

*) Beitr. angew. Geophys. 5. 385 (1936).

2. Durch diese Verkleinerung der Wellenlänge treten aber oft erhebliche Änderungen der elektrischen Eigenschaften der vom Felde durchsetzten geologischen Leiter ein. Daher kann u. U. ein Modellversuch ganz andere Ergebnisse zeitigen als ein Versuch im Gelände. Beim Modellversuch dürfen nur solche Leiter

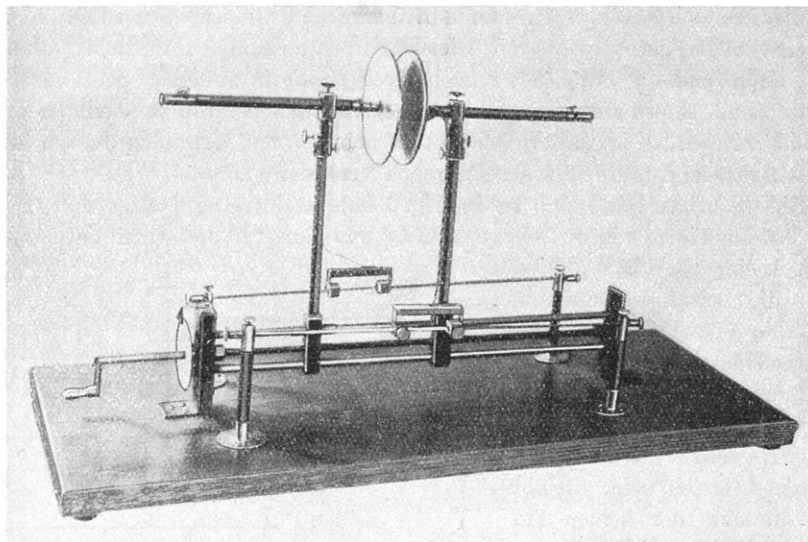


Fig. 7. Meßkondensator für Modellversuche

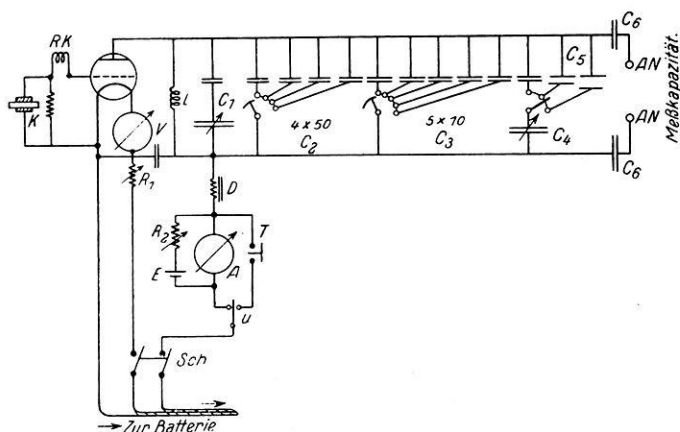


Fig. 8. Schaltschema des Meßgerätes.

K = Steuerquarz, RK = Rückkoppelungsspule, R_1 = Heizregler, C_1, C_2, C_3, C_4 = Meßkondensatoren, C_6 = Sperrblocks, AN = Antennenklemmen, D = Drossel, A = Ampere-meter, T = Telephon, U = Umschalter, R_2 = Kompensationswiderstand, E = Gegenstrombatterie, Sch = Ausschalter

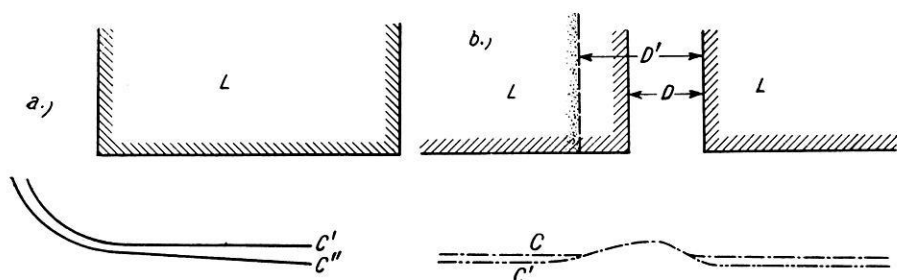


Fig. 9. Verlauf der C-Gleichen (Orte gleicher Ersatzkapazität) C' , C'' = über Leitern L

Aufgabe	Schema	geologische Beschreibung	Modellversuch	
			Elektrodenanordnung	elektr. Beschreibung
Nachweis eines gutleitenden Verwerfers F		 $\sigma_1 \ll \sigma_2$		1 = beweglicher Zylinder 2 = Elektrode ③ = Öl
Nachweis einer schlechtleitenden Spalte Sp.				1 = beweglicher Zylinder 2 = Elektrode ③ = Öl
Nachweis eines trockenen Hohlraumes H.				1 = beweglicher Zylinder 2 = hohler Glas-Körper ③ = Öl
Nachweis eines Hohlraumes H dessen Wände feucht sind				1 = beweglicher Zylinder 2 = Metallkörper. ③ = Öl
Darstellung einer „übergreifenden“ Schichte G		H = Humus G = Deckschichte W = Grundwasser		1 = beweglicher Zyl. 2 = Netzelektrode (Maschendichte durch „Übergreif“ bestimmt) 3 = Elektrode (Blech) ④ = Öl

A = Antenne

Fig. 10. Anordnungen für Modellversuche

verwendet werden, bei denen die Leitfähigkeit und scheinbare Dielektrizitätskonstante auch bei Änderung der Frequenz als konstant angesehen werden darf.

In Fig. 7 ist ein von mir zusammengestelltes Gerät zur Vornahme solcher Modelluntersuchungen zu sehen. In den Meßkondensator sind planparallele Platten eingespannt. An deren Stelle können dann die jeweils erforderlichen besonderen Elektroden eingesetzt werden. Die Schaltung einer kompletten Meßapparatur ist in Fig. 8 dargestellt. Die Anordnung arbeitet nach dem bekannten Reiß-Prinzip*). Das Abreißen der Schwingungen wird mit dem Meßgerät M angezeigt. Da dies bei sonst gleichen Bedingungen stets bei einer bestimmten Kapazität im Anodenkreise eintritt, so kann man jede Kapazität im Meßkondensator durch Kompensation mit den parallel liegenden Abstimmkapazitäten $C_1 \dots C_2 \dots$ und C_3 genau bestimmen. In Fig. 9 sehen wir einige Kurven, die mit diesem Geräte aufgenommen wurden, und in Fig. 10 schließlich

eine Zusammenstellung der üblichen Elektrodenformen zur Darstellung solcher geologischer Leiteranordnungen, die in der Natur oft vorkommen. Eine sehr wichtige Voraussetzung ist selbstverständlich, daß neben den Kapazitäts- keine Widerstandsänderungen auftreten.

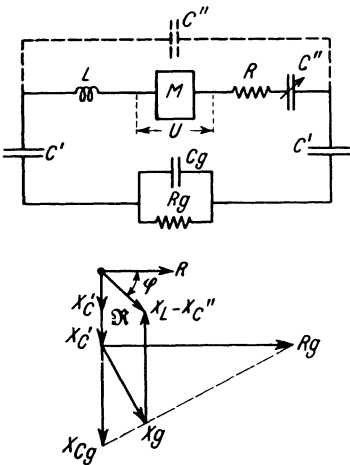


Fig. 11. Ersatzschema und Vektordiagramm über einem aus komplexen Widerständen gebildeten Untergrunde

ersetzt werden kann. C'' ist wieder die Abstimmkapazität. Rechts sehen wir das zugehörige Diagramm. Wir verstellen bei der Messung C'' wieder so lange, bis Resonanz eintritt und somit der Winkel $\varphi = 0$ wird. C'' ist in diesem Falle aber nicht allein durch C_g und C' bestimmt, sondern auch durch R_g . Es ist daher auch unzulässig, C'' als „Antennenkapazität“ zu bezeichnen. Um C_g und R_g zu erhalten, ist es nötig, von dem gemessenen $(X_L - X_{C''})$ den Wert $2 X_{C'}$ abzu-

4. Verfahren bei komplexen Widerständen.

Das reine Verschiebungsstromverfahren ist im natürlichen Gelände nur unter bestimmten Voraussetzungen anwendbar**). Praktisch wurde es z. B. zur Bestimmung der Dicke des Gletschereises und zur Wassersuche im ariden Klima verwendet. Im allgemeinen und besonders im humiden Klima müssen wir aber sowohl Leitungs- als auch Verschiebungsströme berücksichtigen. In Fig. 11 sehen wir links das Ersatzschema. Der geologische Leiter ist ein komplexer Widerstand, der durch den Widerstand R_g mit parallelliegender Kapazität C_g

*) Über die Reiß-Methode siehe auch Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 41. 96ff. (1933); Elektrotechn. Zeitschr. 57, 975 (1936).

**) Siehe z. B. Hummel: Zeitschr. f. Geophys. 5. 89, 228 (1929) und Beitr. angew. Geophys. 5. 32 (1935).

ziehen. C' stellt nun die Kapazität der Antenne gegen die Oberfläche des Leiters (Erdoberfläche oder Fläche des „fiktiven“ Leiters) dar und kann leicht berechnet werden. Man erhält dann die Strecke $(X_L - X_{C'}) - 2X_{C'}$. Außerdem muß nun ein weiteres Bestimmungsstück ermittelt werden. Messen wir als solches J_{res} , so können wir aus diesem und der konstanten Spannung U leicht R_{ges} ermitteln*).

Wird die Abstimmkapazität C'' parallel zu der Antenne gelegt, so können wir auch für diesen Fall wieder ein entsprechendes Diagramm zeichnen und in analoger Weise auch die beiden Meßgrößen C_g und R_g ermitteln. Bei manchen praktischen Untersuchungen wird man sich nun unter bestimmten Voraussetzungen nur mit der Messung einer einzigen Angabe, nämlich der Ersatzkapazität C'' begnügen können, wenn man andere Bestimmungsstücke ausreichend genau abschätzen kann. In der angewandten Geophysik genügt ja oft der bloße Nachweis einer Diskontinuitätsstelle, um wichtige Schlüsse ziehen zu können. In solchen Fällen kann man sogar auf die genaue Bestimmung von R_g und C_g verzichten. Wann dies möglich ist, kann nicht der Funktechniker allein bestimmen, sondern nur im Einvernehmen mit Geophysikern, Geologen und Hydrologen. Solche vereinfachte Verfahren wurden schon zum Nachweise von Verwerfern, Gängen und Höhlen mit Erfolg herangezogen**).

Zusammenfassung. 1. Bei allen hochfrequenten Widerstandsverfahren ist das Aufschlußvolumen durch die Frequenz mitbestimmt. Dies gilt insbesondere für die mögliche Aufschlußteufe.

2. Durch Frequenzänderung ist selektive Mutung möglich.

3. Da an Stelle der zu polarisierenden Elektroden bei den besprochenen Verfahren Erdantennen treten, so fallen die Elektrodenfehler fort.

4. Durch die besprochenen Verfahren ist ein Nachweis von Nichtleitern möglich, die in andere Nichtleiter eingelagert sind, wenn deren scheinbare Dielektrizitätskonstante voneinander abweicht.

5. Die Hochfrequenzverfahren werden analog den schon entwickelten Gleichstrom- oder Niederfrequenzverfahren angewendet. Es muß aber auf die Änderung des Widerstandes und der Dielektrizitätskonstante durch die Frequenz geachtet und den auftretenden Verschiebungsströmen besondere Aufmerksamkeit zugewendet werden.

*) Bei allen diesen Untersuchungen sind natürlich quasistationäre Verhältnisse vorausgesetzt.

) Siehe u. a. Beitr. angew. Geophys. **5, 375 (1936); **6**, 100 (1936); Hochfrequenz-techn. u. Elektroak. **46**, 124. 186 (1935); Elektrotechn. Zeitschr. **57**, 857 (1936); E. u. M. **1936**. Heft 52.