

## 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](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015)

**LOG Id:** LOG\_0023

**LOG Titel:** Die experimentellen Grundlagen des Dipol-Induktionsverfahrens

**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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

Werkzeuge geworden, mit denen wir den Bau unserer geologischen Erkenntnis wirklich weiterführen, nicht nur umbauen oder ausschmücken konnten. Wir sind der Geophysik dafür für alle Zeiten verbunden, daß sie uns diese Werkzeuge geschmiedet und an die Hand gegeben hat. Mit dem Dank für diese Großtat verbinde ich den Wunsch, daß es gelingen möge, die Entwicklung von geophysikalischen Instrumenten und geophysikalischen Verfahren weiter zum Nutzen unseres Vaterlandes zu fördern. Unser lebhaftestes Interesse gilt dieser Forschertätigkeit und mit weitestgehender Anteilnahme verfolgen wir jede Anregung, die uns die Geophysik gibt, und jeden Fortschritt, den sie verzeichnet. So schließe ich meine Ausführungen, zugleich mit dem Dank der Geologen, mit dem Wunsche auf ein Wachsen, Blühen und Fruchtragen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft.

*Zusammenfassung.* Es wird über Organisation und Zielsetzung der Geophysikalischen Reichsaufnahme berichtet und der Umfang der bisher geleisteten Arbeit aufgezeigt. An einer Reihe von Beispielen gravimetrischer, seismischer und erdmagnetischer Untersuchungen der Reichsaufnahme wird der große Fortschritt unserer geologischen Erkenntnisse dargetan. Es wird aber auch nachdrücklichst darauf hingewiesen, daß eine schematische Auswertung der physikalischen Messungen zu Irrtümern führen muß, und daß eine richtige Auswertung nur möglich ist unter Heranziehung aller geologischen Gegebenheiten.

## Die experimentellen Grundlagen des Dipol-Induktionsverfahrens

Von **M. Rössiger**, Potsdam — (Mit 2 Abbildungen)

Manche elektrische Verfahren der angewandten Geophysik sind experimentell und theoretisch bereits so durchgearbeitet, daß sie zu den klassischen Aufschlußverfahren zu zählen sind (z. B. die Bestimmung des scheinbaren Widerstandes nach der Wennerschen Methode). Bei anderen Verfahren fehlt bisher ein solcher Abschluß, da sie entweder der theoretischen Behandlung nicht so leicht zugänglich sind, oder die experimentellen Voraussetzungen, mit denen eine theoretische Ausdeutung möglich ist, nicht leicht verwirklicht werden konnten. Das ist z. B. bei den Induktionsverfahren der Fall, insbesondere bei dem meist als „Ringsendemethode“ bezeichneten Verfahren. Eine Reihe von theoretischen Arbeiten\*) haben hier nun die Grundlagen der Anwendbarkeit soweit geklärt, daß sich eine eingehende, entsprechende experimentelle Behandlung nahelegt. Ich habe mich

\*) A. Graf: Theoretische Grundlagen der Ringsendemethode. Beitr. z. angew. Geophys. **4**, 1 (1933); S. S. Stefanescu: Sur la mesure des résistivités apparentes par la méthode de la spire circulaire. Ebenda **5**, 182 (1935); Sur les fondements théorétiques de la prospection électromagnétique par courant alternatif à très basse fréquence. Ebenda **6**, 168 (1936).

daher bemüht, für dieses einfachste Induktionsverfahren eine Apparatur zusammenzustellen\*), die ich im folgenden beschreiben werde.

Bei der Methode wird im Untergrund ein sinusförmig pulsierendes Magnetfeld (Primärfeld) durch eine Stromschleife (Ring) erzeugt, die von Wechselstrom durchflossen wird; das Magnetfeld der induzierten Ströme (Sekundärfeld) wird mittels einer Spule (Rahmen) gemessen. Theoretisch und meßtechnisch am einfachsten gestaltet sich das Verfahren, wenn man Messungen nur in größeren Abständen von der Sendeschleife vornimmt, so daß das magnetische Feld der Schleife in seinen Wirkungen demjenigen eines Dipols gleichgesetzt werden kann. Man kann das Verfahren deshalb am besten kennzeichnen als „Dipol-Induktionsverfahren“.

Von verschiedener Seite aus ist schon länger auf die Vorteile der Verwendung von Magnetfeldern genügend kleiner Frequenz hingewiesen worden. Obwohl die Wahl der Frequenz dem zu untersuchenden Objekt angepaßt sein sollte, wurde aus technischen Gründen eine bestimmte, in der Nähe von 50 Per./sec liegende Frequenz (55 bzw. 45) gewählt, für die Maschinen leicht erhältlich sind und die für fast alle praktische Fälle genügend klein ist.

Die zu erwartenden Effekte sind in der Mehrheit aller Fälle sehr klein. Das um 90° gegen das erregende Magnetfeld von der Kreisfrequenz  $\omega$  phasenverschobene Sekundärfeld hat z. B. über einem homogenen Halbraum vom spezifischen Widerstand  $\rho$  von  $10^4 \Omega \text{ cm}$  bei einem erregenden Dipolmoment  $M$  von  $6 \cdot 10^7 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$ , das sich experimentell noch mit einer tragbaren Apparatur erzeugen läßt, für verschiedene Entfernungen  $r$  (cm) eine Vertikalkomponente, die bei genügend kleiner Frequenz durch die Formel darstellbar ist

$$H_z = \frac{\pi \omega M}{10^9 \rho_{[\Omega \text{ cm}]} r} \emptyset$$

und deren Werte in der Zahlentafel zusammen mit dem primären, von dem Dipol herrührenden Magnetfeld für verschiedene  $r$  angegeben sind.

	$r$	100	500	1000 m
Vertikalkomponente $H_{\text{sek}}$		0.65	0.13	0.06 $\mu \emptyset^{**}$ )
$H_{\text{prim}}$		60	0.48	0.06 „

Ein plattenförmiger Körper von 2.6 m Mächtigkeit würde bei 100 m Überdeckung günstigstenfalls ein Sekundärfeld von der gleichen Größenordnung wie dieses allgemeine Streufeld des Halbraumes erregen, wenn sein spezifischer Widerstand  $1/100$  von dem des Halbraumes ist.

Für gedrungene Körperformen, wie sie in der Erzprospektierung vorkommen, sind die Effekte noch kleiner. Ein waagerecht magnetisierter, kugelförmiger Körper von 20 m Durchmesser, in der Tiefe von 50 m, mit einem mittleren spezifischen Widerstand von  $1 \Omega \text{ cm}$  ergäbe z. B. eine maximale waagerechte 90°-Sekun-

\*) Es war mir dabei von großem Wert, daß mir die Erfahrungen der Firma Siemens & Halske, Berlin, zur Verfügung standen.

\*\* )  $1 \mu \emptyset = 1/10 \gamma = 10^{-6} \emptyset$  (=  $10^{-6}$  „Gauß“).

därfeldkomponente von  $0.12 \mu \text{Ø}$ . Hierbei entsteht insbesondere die Schwierigkeit, das kleine Sekundärfeld bei der gleichzeitigen Anwesenheit eines etwa 1000mal stärkeren Primärfeldes zu messen.

Die geschilderte kleine Größenordnung des zu messenden Effekts läßt es verstehen, daß nur bei Innehaltung der saubersten experimentellen Meßbedingungen, bei strenger Trennung von Primär- und Sekundärfeld und bei Ausschaltung aller sonstigen Störungen ein Erfolg möglich ist, liegen doch die in dem Empfangsgerät (Rahmen) induzierten Spannungen in Größenordnungen, die schon im Laboratorium nicht mehr ganz leicht gemessen werden können ( $10^{-7}$  V und darunter).

Die zu beobachtenden Magnetfelder müssen in eine einigermaßen zugängliche Größenordnung gehoben werden, nicht nur aus rein meßtechnischen Gründen, sondern auch um sie über den dauernden allgemeinen magnetischen Störpegel der Atmosphäre genügend herauszuheben. Deshalb wird man zunächst versuchen, mit der Maschinenleistung ein möglichst großes magnetisches Moment zu erzeugen, denn alle zu beobachtenden Felder wachsen natürlich proportional dieser Momentgröße! Bei einem Ringdurchmesser von 20 m, 10 Windungen, habe ich bei 2 bis 2.5 kW Maschinenleistung ein magnetisches Moment von  $6 \cdot 10^7$  cgs erzielt. Die Maschine ist dabei noch tragbar (150 kg), das Kabelgewicht (in zwei Rollen je 300 m) beträgt insgesamt etwa 120 kg.

Es läßt sich leicht zeigen, daß das resultierende magnetische Moment einer Stromschleife vom Durchmesser  $D$  proportional ist zu

$$D \cdot \sqrt{\text{Maschinenleistung} \times \text{Kabelgewicht}},$$

wobei das mindestens zu verwendende Kabelgewicht durch die Leistung der Maschine bedingt ist, da man mit der Strombelastung je Querschnittseinheit des Kabels nicht über einen bestimmten Wert hinausgehen kann. Eine Vergrößerung des Moments auf das Fünffache würde nur bei einer Erhöhung des Gesamtgewichts auf das 20- bis 25fache (also mehreren Tonnen Gesamtgewicht) möglich sein. Hier kommt man also bald zu einer Grenze.

Der Wechselstromgenerator wurde von einem 5.5 PS luftgekühlten Zweitaktbenzinmotor angetrieben. Von großer Wichtigkeit ist der konstante Lauf der Maschine, der bei dieser ersten Versuchsapparatur noch zu wünschen übrig ließ.

Die Empfangsapparatur besteht aus dem Empfangsrahmen und dem Wechselstromkompensator zur Messung der im Rahmen induzierten EMK mit Verstärker und Anzeigeinstrument. Da die Messung das Vorhandensein einer nach Intensität und Phase bekannten Vergleichsspannung erfordert, ist ferner eine Kabelverbindung mit der Sendeapparatur notwendig. Das Kabel wird in einer Rolle von 600 m auf einem Kabelverlegewagen transportiert und jeweils bis zur Meßstelle abgewickelt. Es wird durch einen Stromtransformator von dem im „Sending“ fließenden Strom gespeist und überträgt somit die Intensität und Phase des pulsierenden Dipols zur Meßstelle. Im Bedarfsfalle kann eine weitere Trommel mit 600 m angesetzt werden.

Der *Rahmen* ist eine freitragend gewickelte kreisförmige Flachspule von 3000 Windungen, etwa  $1200\ \Omega$  Gleichstromwiderstand und einer Selbstinduktion von 8 Hy. Seine Gesamtwindungsfläche beträgt  $380\ \text{m}^2$ . Durch ein sinusförmig mit der Frequenz von 55 Per./sec pulsierendes Magnetfeld von  $\frac{1}{10}\ \mu\ \text{Ø}$  wird also in ihm eine EMK von  $10^{-6}\ \text{V}$  induziert. Der Rahmen ist auf einem Stativ dreh- und kippbar, der Kippwinkel kann an einer Kreisteilung (Höhenkreis) abgelesen werden. Am Rahmen befindet sich ferner eine Visiereinrichtung und ein horizontaler Kreis.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Frage gewidmet, ob der Rahmen zur Erhöhung der Empfindlichkeit in „Stromresonanz“, also abgestimmt auf die Frequenz des induzierenden Magnetfeldes, verwendet werden kann. Hierbei ist bei geeigneter Bemessung des Ohmschen Widerstandes eine Vervielfachung der Spannung möglich, was meßtechnisch natürlich sehr angenehm wäre. Es läßt sich indessen zeigen, daß dann eine ungleich größere Konstanz der Maschinenfrequenz erforderlich ist, als sie aus anderen, weiter unten zu erwähnenden Gründen notwendig erscheint. Die Verschiebung der Phase der EMK um  $90^\circ$  (gegen die induzierende EMK) im Resonanzfall muß natürlich beachtet werden, ist aber meßtechnisch ohne Bedeutung, auch die Verringerung der EMK bei einer kleinen Änderung der Maschinenfrequenz gegenüber der maximalen Resonanzspannung ist nur klein. Jedoch ist es als bedenklich zu betrachten, daß die mit einer kleinen Frequenzänderung verbundene Abweichung der Phase von genau  $90^\circ$  einen erheblichen Prozentsatz der Wirkkomponente fälschlicherweise als Blindkomponente in die Messung eingehen läßt. Bei dem benutzten Rahmen, bei dem in Resonanz etwa eine Verdoppelung der EMK möglich ist, würde eine Frequenzänderung der Maschine von 1 Per./sec bereits 8% der Wirkkomponente als zusätzliche Blindkomponente vortäuschen. Es wurde daher zunächst auf dieses sich sonst nahelegendes Hilfsmittel zur Empfindlichkeitssteigerung und zur Fernhaltung von Störungen verzichtet.

Der *Wechselstromkompensator* ist eine Sonderausführung des von W. Geyger\*) angegebenen Kompensators. Der dem Kompensator durch das Kabel zugeführte Wechselstrom von 200 mA durchfließt nach der Schaltskizze einen Stromtransformator und einen Transformator mit Luftspalt und erzeugt zwei Vergleichsspannungen von  $180^\circ$  und  $90^\circ$  Phasenverschiebung, die über zwei Gefälledrähte abfallen und mittels zweier einstellbarer Schleifkontakte in der gewünschten Höhe abgegriffen werden können. Mittels eines zweiten Kompensators (Entstörungskompensator) kann vor jeder Messung eine ungewünschte Störspannung, die zu einer Unsymmetrie der Meßgrößen bei den verschiedenen Rahmenstellungen und Polungen führen würde, beseitigt werden. Die abgegriffene Kompensationsspannung liegt in Reihe mit der Rahmenspannung und wird bei der Messung solange variiert, bis die Vektorsumme beider verschwindet. Als Indikatorinstrument dient ein in dem gleichen Kompensationskreis liegendes Vibrationsgalvanometer, vor dem ein Verstärker

\*) W. Geyger: Die Anwendung des komplexen Wechselstromkompensators bei geelektrischen Untersuchungen. Arch. f. Elektrotechnik **23**, 109 (1929).

liegt. Dieses Galvanometer kann mittels einfacher Drehknopfbetätigung auf die Maschinenfrequenz abgestimmt werden.

Die Verwendung eines Vibrationsgalvanometers bringt den erheblichen Vorteil der optischen Ablesung gegenüber der bei 500 Per./sec üblichen Verwendung eines Telephons. Sie hat ferner den Vorteil der Grundwellenselektivität, was im Hinblick auf Störspannungen von anderer Periode und aperiodische Störungen von Bedeutung ist. Die Empfindlichkeit des Galvanometers beträgt etwa 1 mm Lichtspaltverbreiterung je  $3 \cdot 10^{-6}$  V Eingangsspannung an den Galvanometerklemmen.

Der Verstärker ist ein aperiodisches Dreiröhrengerät ohne besondere Kunstschaltung.

Bereits die ersten Versuche zeigten, daß es nach Abstimmung gewisser Störungen möglich war, mit der Meßempfindlichkeit auf einige Einheiten von  $10^{-7}$  V (ent-

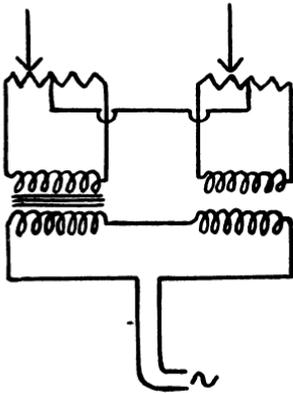


Fig. 1. Schaltschema des komplexen Wechselstromkompensators

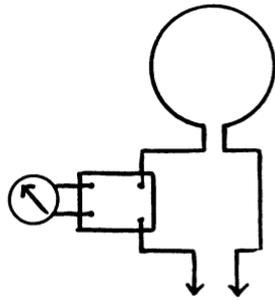


Fig. 2. Der Empfangskreis mit Rahmen, Verstärker und Vibrationsgalvanometer

sprechend  $\frac{1}{100} \mu \text{Ø}$  herunterzukommen. Es sind indessen noch Verbesserungen nötig, die in erster Linie in der Beruhigung des Laufes der Maschine liegen werden.

Eine andere Frage ist es, ob es zweckmäßig sein wird, das Primärfeld an dem jeweiligen Meßort vollkommen wegzukompensieren; dann wäre es möglich, auch bei kleinen Entfernungen vom Dipol eine beliebige Sekundärfeldkomponente zu messen oder dort das Sekundärfeld nach Größe und Richtung vollständig zu bestimmen.

Die Brauchbarkeit der Anordnung zur Erzprospektierung wird zunächst an einem Erzvorkommen im Grubenfeld der „Bayerland“ A.-G. Mitterteich/Pfaffenreuth (Oberpfalz) erprobt, die ihre Bohraufschlüsse freundlicherweise zur Verfügung stellte. Über die erzielten Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet werden. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft verdanke ich die Bereitstellung der für die Untersuchung notwendigen Geldmittel.

Potsdam, Geophysikalisches Institut.