

## Werk

**Jahr:** 1931

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:7

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0007

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0007](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0007)

**LOG Id:** LOG\_0036

**LOG Titel:** Über Größe und Tiefenwirkung der kapazitiven Beeinflussung eines Leiters durch eine Dishomogenität des Untergrundes. Ein registrierendes Meßgerät

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

Anselschen Anomalien den entsprechenden wahren Werten kommen, sondern sie sind gewissermaßen nur ein Abbild der bei den Reduktionen verwendeten Schollendichten. Insbesondere kann man aus einer Übereinstimmung der Spalten 12 und 13 nicht schließen, daß diese Werte für die Anselschen Anomalien brauchbare Näherungswerte darstellen. Auch bei schlechten Näherungswerten müssen beide Spalten übereinstimmen, wenn bei allen Reduktionen dieselbe Schollendichte verwandt wurde. Ein Urteil über diese Werte läßt sich nur gewinnen, wenn man sie mit anderen Näherungswerten für die  $\Delta g_A$  vergleicht, wie es oben bei unseren Zylinderbeispielen eingehend auseinandergesetzt worden ist.

## Über Größe und Tiefenwirkung der kapazitiven Beeinflussung eines Leiters durch eine Dishomogenität des Untergrundes. Ein registrierendes Meßgerät

Von W. Stern (Göttingen-Köln) — (Mit 6 Abbildungen)

Es werden Größe und Sinn der Kapazitätsänderung eines linearen zylindrischen Leiters als Funktion der Entfernung einer Dishomogenität der elektrischen Leitfähigkeit oder Dielektrizitätskonstanten seiner Umgebung experimentell untersucht. Ein hierzu entwickeltes registrierendes Meßgerät, das Kapazitätsänderung  $n$  bis auf  $\pm 10^{-4}$  cm geliefert, wird ausführlich beschrieben. Es kann gezeigt werden, daß die der Auswertung bisher zugrunde gelegte theoretische Beziehung den wahren Verhältnissen nicht genügt. Für das den gewonnenen Diagrammen zugrunde liegende Gesetz konnte jedoch noch kein strenger mathematischer Ausdruck gefunden werden. Die maximale Tiefenwirkung wird zu der  $1\frac{1}{2}$ -fachen Länge des Leiters ermittelt und kann bis jetzt zu 150 m angegeben werden.

Die Kapazität eines elektrischen Leiters ist nicht allein durch seine geometrischen Maße bestimmt, sondern innerhalb eines gewissen noch zu diskutierenden Bereichs abhängig von Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante seiner näheren Umgebung. Aus diesem Anteil des umgebenden Raumes an der Kapazität eines in ihm befindlichen Leiters ergab sich ein Mittel — höchste Konstanz der Meßanordnung vorausgesetzt —, jene Kapazitätsänderungen eines definierten Systems beim Wechsel der Standorte als Zustandsänderungen der Umgebung zu diskutieren\*).

Theoretisch faßbar und praktisch bedeutsam ist der Einfluß einer Schicht auf die Kapazität eines parallel zu ihr sich erstreckenden linearen Leiters, an der sich die Dielektrizitätskonstante oder die Leitfähigkeit beim Übergang vom Material zwischen Leiter und Schicht auf diese Schicht sprunghaft und um einen hinreichenden Betrag erhöhen. Eine solche Schicht stellen z. B. der Grundwasser-

\*) W. Stern: Gerlands Beitr. z. Geophys. **23**, Heft 3, S. 292—333. Zeitschr. f. Gletscherkde. **18**, Heft 1/3, S. 24—42.

spiegel in gut durchlässigen Infiltrationsgebieten (Karst), die Grenzschicht zwischen Gletschereis und Felsuntergrund, das Dach eines Braunkohlenflözes bei Trockenheit der Deckschichten und ähnliche Fälle dar.

Da der Theorie zufolge die Größe der kapazitiven Beeinflussung eine Funktion der Tiefe (bzw. der Entfernung) der beeinflussenden Schicht ist, so muß es möglich sein, durch geeignete Messung der Kapazität des Leitersystems die Tiefe einer solchen Schicht zu bestimmen. So ist nach Hummel die Kapazität eines linearen zylindrischen Leiters von der Länge  $L$  und dem Radius  $r$ , der sich im Abstand  $d$  parallel zur Schicht befindet, gegeben durch den Ausdruck

$$C = \frac{\epsilon_0 L}{2 \left( \ln \frac{L}{r} + \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} \ln \frac{L}{2d} \right)} = \frac{\epsilon_0 L}{2 \ln \left[ \frac{L}{r} \cdot \left( \frac{L}{2d} \right)^{\frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0}} \right]} \dots \dots (1)$$

worin  $\epsilon_0$  die Dielektrizitätskonstante des Materials zwischen Leiter und Schicht und  $\epsilon$  die der Schicht bedeuten. Für  $\epsilon_0 = 1$  (Luft) und  $\epsilon = \infty$  wird:

$$C = \frac{L}{2 \ln \frac{2d}{r}} \dots \dots \dots (2)$$

Einer quantitativen Auswertung der gemessenen und diskutierten Effekte wurde bislang dieser Ausdruck zugrunde gelegt. Es ergab sich jedoch, daß diese Behandlung bei der gewählten Meßanordnung, die nicht wie ein einseitiger Leiter, für den allein der obige Ausdruck definiert ist, sondern wie ein wenn auch stark unsymmetrischer Dipol wirkt, unstatthaft sei. Zur Ermittlung des für diesen Fall streng gültigen Gesetzes und des in der Art der Meßanordnung begründeten und zu berücksichtigenden Fehlers wurde der experimentelle Weg beschritten.

Die Meßmethode. Zur Messung des relativ kleinen Effektes — in 100 m Entfernung würde eine Änderung der Schichtentfernung um 1% die Kapazität eines 100 m langen Leiters ( $r = 0.2$  cm) um etwa 0.3 cm elst. Einh. ändern — ist eine Methode notwendig, die verschwindend kleine Kapazitätsänderungen mißt. Eine solche Methode liegt in dem grundsätzlich bekannten Schwebungsverfahren vor. Macht man den Leiter, dessen Kapazitätsänderungen gemessen werden sollen, zu einem die Frequenz  $n_1$  eines elektromagnetischen Oszillators mitbestimmenden Teil und überlagert man diesem einen zweiten Oszillator mit der Frequenz  $n_2$ , so entsteht eine Schwebung von der Frequenz

$$n_s = n_2 - n_1, \quad \text{wo} \quad n_2 > n_1.$$

Da die Frequenz eines elektromagnetischen Schwingungskreises eine Funktion der Kapazität dieses Kreises ist, so kann die zu diskutierende Kapazitätsänderung auch durch Messung der Frequenzänderung der Kreise bestimmt werden. Gelingt es, die Frequenz der Kreise hinreichend konstant zu halten, so ist jede Änderung der Schwebungsfrequenz, die mittels eines Oszillographen registriert

oder mittels eines Telephons abgehört werden kann, letztlich auf eine Änderung der Kapazität des Leiters und damit auf eine Änderung der Schichtentfernung zurückzuführen.

Dabei kann der Betrag der Kapazitätsänderung auf zwei Wegen ermittelt werden: Bildet man durch Eichung den zweiten Oszillator als Meßkreis aus, so können die Kapazitätsänderungen durch einfache Ablesung bestimmt werden; denn diese sind offenbar gleich den zur Wiederherstellung eines gleichen Ausgangszustandes notwendigen ablesbaren Kompensationsbeträgen der Kapazität des Meßkreises. Der andere Weg ist der der photographischen Registrierung und rechnerischen Auswertung des Schwebungsbildes, für den die Thomson-Kirchhoffsche Schwingungsgleichung den Weg weist. Es ist

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{I \cdot C}},$$

worin  $n$  die Frequenz,  $I$  die Induktivität und  $C$  die Kapazität des Schwingungskreises bedeuten. Für  $4\pi^2 \cdot I = \text{const}$  wird

$$dn = -\frac{n}{2C} \cdot dC.$$

Durch Einsatz des als Änderung der Schwebungsfrequenz im Oszillogramm ablesbaren  $dn$ , der Apparatekonstanten  $n$  und  $C$  ist damit  $dC$  bestimmt.

Der Wert der Schwebungsmethode liegt in ihrer außerordentlichen Empfindlichkeit, die darin ihre Erklärung findet, daß jede Kapazitätsänderung in einer  $n/2C$ -fachen Frequenzänderung zum Ausdruck kommt. So ist bei einer Grundfrequenz  $n = 3 \cdot 10^6$  und einer Ausgangskapazität  $C = 500 \text{ cm}$  durch eine bei abermaliger Überlagerung der Schwebung mit einer Tonfrequenz noch meßbare Änderung der Schwebungsfrequenz um  $1/\text{sec}$  ein  $dC = 10^{-4} \text{ cm}$  bestimmt.

Die Meßanordnung. Zur Durchführung der Untersuchungen wurden hochempfindliche Meßinstrumente entwickelt und verwandt, deren Gesamtanordnung in den Fig. 1 bis 3 dargestellt ist. Im Teilaufbau besteht die Apparatur aus zwei hochfrequenten Gegentaktoszillatoren mit einem Frequenzbereich von  $1.7 \cdot 10^6$  bis  $4 \cdot 10^6$  und einem aperiodischen Zwischenkreis. Zur photographischen Registrierung tritt noch ein Tonfrequenzoszillator, ein Oszillograph und ein Lichtschreiber hinzu. Notwendige Voraussetzung für eine sinnvolle Diskussion der gemessenen Frequenzänderungen ist die unbedingte Gewähr, daß diese auch tatsächlich von außen her, durch Änderung der Kapazität des Leiters erfolgt sind und nicht innerhalb der Anordnung selbst ihre Ursachen haben. Für eine innere größtmögliche Konstanz der Frequenz ist also vor allem Sorge zu tragen. Diese Forderung wurde durch Verwendung starrer, kurzer Verbindungen zwischen den einzelnen Schaltelementen, metallische Abschirmung und durch Anwendung der Gegentaktschaltung weitgehend erfüllt. Da bei dieser Schaltung die Zuleitungen am Spannungsknoten liegen, die sonst vermöge ihrer unstarren Anordnung erhebliche Verstimmung hervorrufen, so werden ihre un-

erwünschte Beteiligung am Schwingungsvorgang und durch sie verursachte Frequenzänderungen weitgehend vermieden. Durch induktive Kopplung werden die beiden Oszillatoren im aperiodischen Kreis überlagert. Dabei wurde bei der Änderung des Kopplungsgrades von dem üblichen Weg der Entfernungsänderungen der Induktivitäten abgewichen, der Kopplungsgrad vielmehr durch Änderung der Ablendung mittels einer metallischen Blende variiert. Der durch Überlagerung erzeugte niederfrequente Wechselstrom wird durch einen Detektor

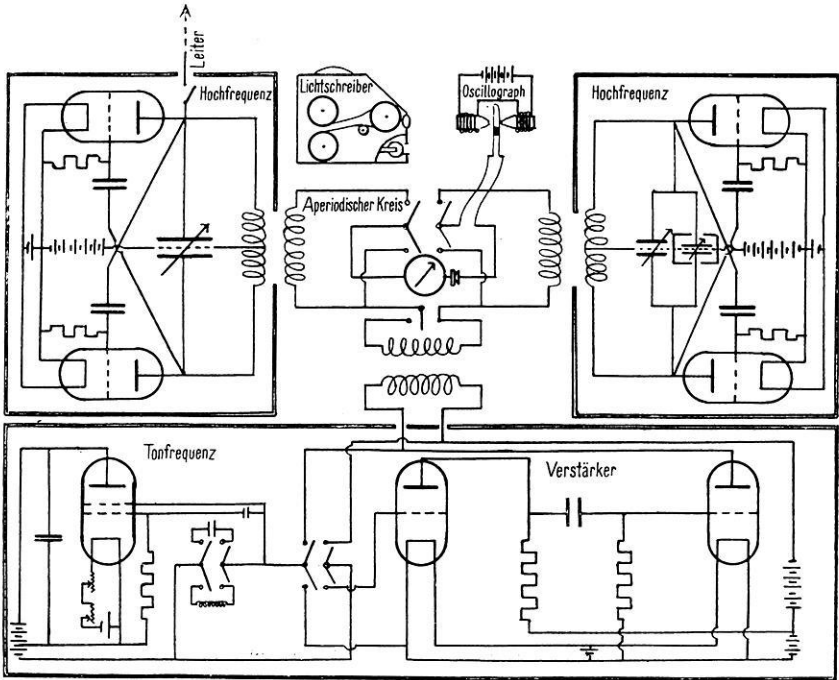


Fig. 1. Schaltungsschema der Meßanordnung

gleichgerichtet, in einem Drehpulgalvanometer ausgemessen und in einem Telephone hörbar gemacht.

Aufschluß über die innere Konstanz der Frequenz der Apparatur gewinnt man durch eine photographische Registrierung bei abgeschaltetem Leiter, wie sie die Fig. 4 im Prinzip und auszugsweise darstellt. Sie gibt das Schwingungsbild der Schwebung zweiten Grades wieder, das durch abermalige Überlagerung der Schwebung ersten Grades mit einer ihr entsprechenden Tonfrequenz gewonnen wurde. Zur Erzeugung der Tonfrequenz wurde ein in Negadyn geschalteter und mit einem Armstrongkreis versehener Oszillator mit einem Frequenzbereich von 30 bis 10 000 Hertz entwickelt. Seine ausführliche Schaltung mag aus Fig. 1 hervorgehen. Die Abgleichung der Energien der einzelnen sich

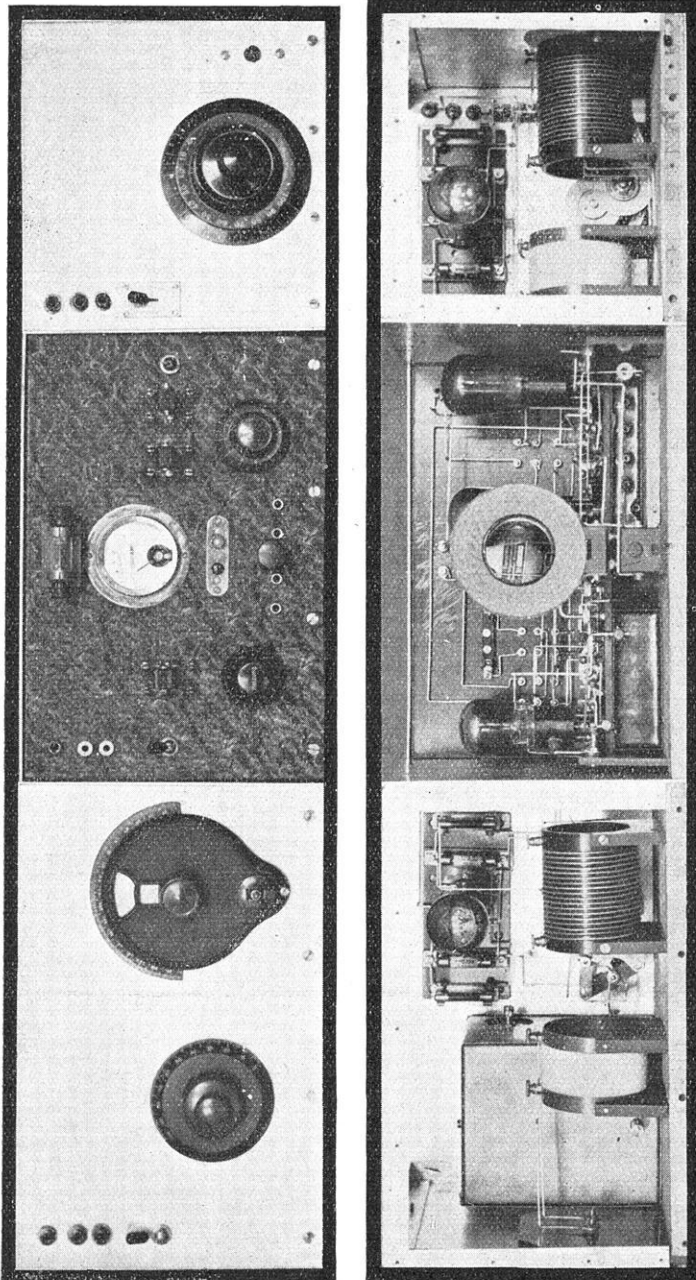


Fig. 2. Anordnung für Registrierung

überlagernden Schwingungskreise geschah bei den Hochfrequenzkreisen durch Änderung der Kopplungsgrade, bei dem Tonfrequenzkreis durch Änderung des Verstärkungsgrades hinschaltbarer Widerstandsverstärkerkaskaden. Als Oszillograph wurde ein Siemensscher Schleifenoszillograph verwendet, dessen Schwingungen mittels eines „Potsdamer“ Lichtschreibers photographisch registriert wurden. Die Zeitmarken lieferte ein Uhrpendel, das im  $\frac{2}{5}$ -Sekunden-

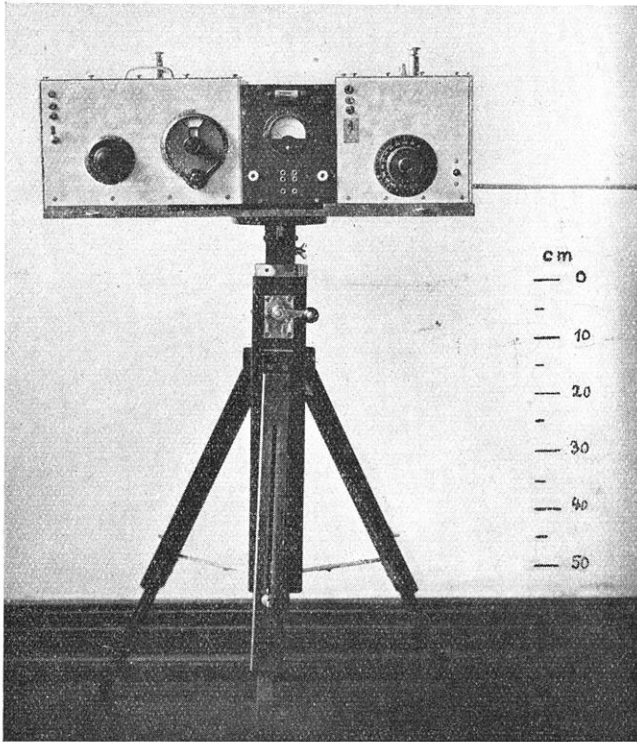


Fig. 3. Aufstellung des Gerätes für Kondensationsmessungen

gang einen Lichtstrahl abwechselnd abblendete und freigab und so einen intermittierenden Lichtstreifen auf dem Film (Fig. 4) erzeugt.

Auf diese Weise vorgenommene Untersuchungen der Konstanz der Frequenz ergaben im Mittel eine Änderung der Frequenz um 0.03 Schwingungen/sec, was bei einer Grundfrequenz  $n = 3 \cdot 10^6$  und einer Gesamtkapazität  $C = 500$  cm einer Kapazitätsänderung der Anordnung von  $10^{-5}$  cm entspricht. Da jedoch zur Auswertung eine Registrierung über 10 Sekunden Dauer hinreichend ist, so konnte mittels dieser Anordnung noch eine Genauigkeit von  $\pm 10^{-4}$  cm in der Bestimmung von Kapazitätsänderungen gewährleistet werden.

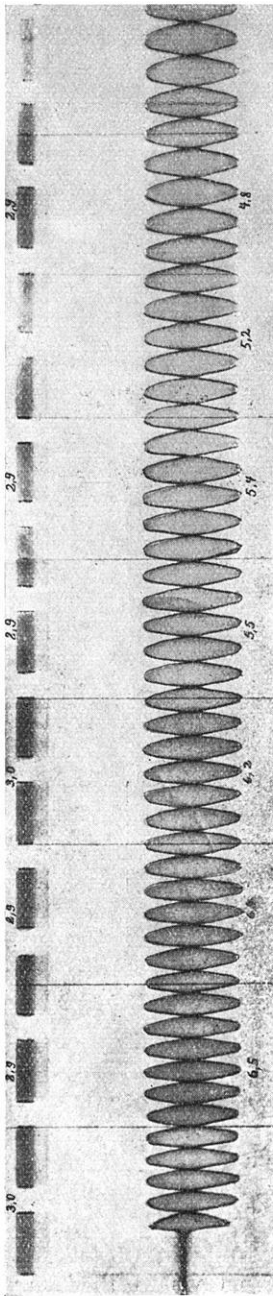


Fig. 4

Einen wesentlich geringeren instrumentellen Aufwand erfordert die direkte Ablesung der Kapazitätsänderung durch Kompensation mittels einer bekannten Kapazität. Zu diesem Zwecke wurde zur frequenzbestimmenden Kapazität des Meßoszillators ein variabler Kondensator parallelgeschaltet, auf dessen jeweilige Konstanz und Einstellungsschärfe ganz besondere Sorgfalt verwendet wurde. Durch Einbau in ein Kupfergehäuse wurden kapazitive Einflüsse von außen her verhindert. Durch eine dreifache Friktionsübersetzung der Einstellvorrichtung wurde eine Ableschärfe von  $10^{-3}$  cm  $dC/S$ aklenteil äußerer Übersetzung bei einer Gesamtkapazität von 59 cm erreicht. Die Eichung geschah statisch nach der Harmschen Methode der Ladungsteilung\*) mit Hilfe eines Pohlschen Einfadenelektrometers. Fig. 5 stellt die Eichkurve dieser Normkapazität dar. Der annähernd lineare Verlauf im unteren Bereich rechtfertigte eine graphische Interpolation bis  $10^{-3}$  cm  $dC$ .

Als Leiter wurde Aluminiumrohr (8 mm äußerer Durchmesser, 6 mm innerer Durchmesser) verwendet, das infolge seines geringen Gewichtes und seiner hohen mechanischen Starrheit solche störenden Kapazitätsänderungen ausschaltete, die durch Formänderung des Leiters infolge verschieden starken Durchhängens bei den verschiedenen in Vergleich zu setzenden Messungen begangen werden. Die „Störschicht“ wurde durch ein ebenes Aluminiumblech (200 × 100 × 0.2 cm) gebildet. Durch eine Hubvorrichtung, die mittels Zahn und Trieb betätigt wurde, konnte die Entfernung Leiter—Schicht auf Millimeter genau eingestellt werden.

Die Meßergebnisse. Mittels der beschriebenen Meßmethode und Meßanordnung wurden Größe und Sinn der Kapazitätsänderungen des linearen zylindrischen Leiters als

\*) F. Harms: Phys. Zeitschr. 1905, S. 47 ff.



Funktion der Entfernung der parallel zu ihm sich erstreckenden leitenden Schicht bestimmt. Darüber hinaus wurde untersucht, aus welcher größter Entfernung im Verhältnis zur Leiterlänge ein noch meßbarer Effekt zu erwarten ist.

Einen Teil der Meßreihen enthält umstehende Tabelle, ihr graphisches Bild stellen die Diagramme der Fig. 6 mit verschiedenen Leiterlängen als Parameter dar. Ihre Auswertung ergibt, daß die bisher zugrunde gelegte Relation (2), wie zu erwarten war, den experimentell gefundenen Werten keineswegs entspricht und den Diagrammen nicht genügt. Jedoch gelang es trotz der verschiedensten Transformationen noch nicht, für das in den Diagrammen enthaltene Gesetz einen glatten mathematischen Ausdruck zu finden, der sie streng erfüllt.

Die im Verhältnis zur Leiterlänge größte Entfernung, die die Kapazität des Leiters noch meßbar beeinflußt, ergibt sich aus den Diagrammen und den Werten der Tabelle zu angenähert dem  $1\frac{1}{2}$ fachen der Leiterlänge. Des weiteren geht aus den Diagrammen hervor, daß die Größe des Effektes der Leiterlänge annähernd proportional ist; durch Vergrößerung der Leiterlänge kann somit die Tiefenwirkung erhöht werden. Da jedoch mit der Verlängerung des Leiters auch die Schwierigkeiten der Reproduzierungeleicher Formen beim Wechsel des Instrumentenstandortes wachsen, so findet

die maximale Tiefenwirkung dort ihre Grenze, wo der durch mangelnde Reproduzierbarkeit begangene Fehler den zu messenden Effekt übersteigt. In praktischen Geländemessungen, über die demnächst berichtet werden soll, gelang es, noch einen 100 m langen Leiter mit einem genügenden Grade der Reproduzierbarkeit seiner Form und ohne nennenswerte Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit zu verwenden. Es folgt daraus die Möglichkeit, bei Erfüllung der notwendigen Bedingungen

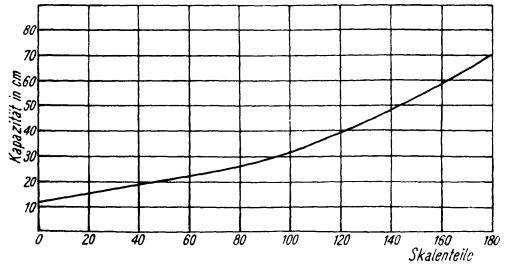


Fig. 5. Eichkurve der Kompensationskapazität

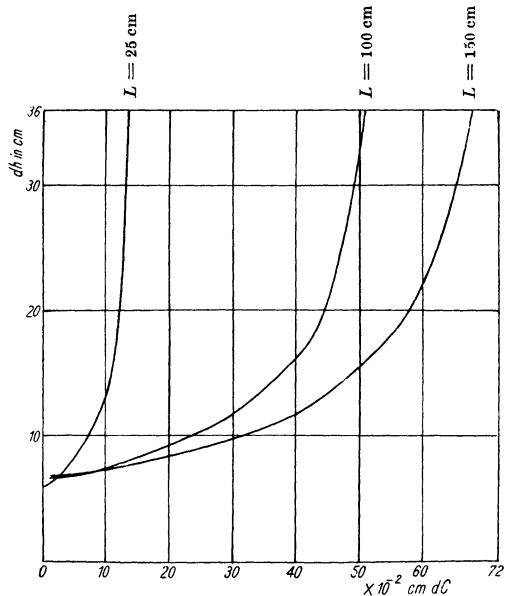


Fig. 6. Die Meßergebnisse

Dishomogenitäten des Untergrundes in bezug auf die Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit bis zu einer Tiefe von 150 m zu erkennen und zu bestimmen.

Tabelle 1

Schicht- entfernung in cm	Kapazitätsänderung in cm elst. Einh. für		
	$L = 25$ cm	$L = 100$ cm	$L = 150$ cm
5.8	0.000	—	—
6.0	0.005	—	—
6.3	0.013	—	—
6.4	—	0.000	—
6.5	—	—	0.000
6.7	0.026	—	0.023
6.9	—	0.052	0.051
7.1	—	—	0.077
7.2	0.037	—	—
7.5	—	0.098	0.127
7.7	0.045	—	—
8.0	—	0.137	0.169
8.2	0.052	—	—
8.5	—	—	0.218
9.0	0.061	0.201	0.253
10.0	0.071	—	0.316
11.0	0.085	0.278	0.360
12.0	0.096	—	0.404
13.0	0.103	—	0.429
14.0	0.107	0.356	0.467
15.0	0.110	—	0.490
16.0	—	—	0.515
17.0	0.115	—	0.534
18.0	—	—	0.549
19.0	0.120	0.437	0.564
20.0	—	—	0.575
21.0	0.124	—	—
22.0	—	—	0.596
23.0	0.126	—	—
24.0	—	0.466	0.615
25.0	0.128	—	—
27.0	—	—	0.637
29.0	—	0.488	—
30.0	0.131	—	0.654
34.0	—	0.504	—
35.0	0.133	—	0.674
37.0	—	0.510	—
40.0	0.134	—	0.688
42.0	—	0.519	—
45.0	0.135	—	0.697
46.0	—	0.527	—
51.0	0.135	0.528	0.706

Schlußbemerkung. Vorstehende Arbeit wurde im Göttinger geophysikalischen Institut ausgeführt. Für die Bereitstellung der zur Durchführung erforderlichen Mittel bin ich Herrn Prof. Angenheister zu großem Danke verpflichtet.