

## P. Messungen an Leitungsnetzen.

### 1. Allgemeines.

Bei der Vielseitigkeit der Verwendung der unterirdisch verlegten Kabel in der Technik ist das Kabelmeßwesen immer mehr ausgebildet worden. Schon lange hat man bei der Fabrikation und Legung submariner Kabel die unumgängliche Notwendigkeit der Messung von Leitungsfähigkeit, -widerstand und Isolationswiderstand für die Erhaltung und lange Lebensdauer der Kabel erkannt. Bei näherem Studium der Ladungserscheinungen in den Kabeln sind auch die Kapazitätsbestimmungen an den Kabeln und späterhin auch die Fehlerortsbestimmungen mit in den Bereich der Meßtechnik hineingezogen worden. Alle diese Prüfungen sind in einem gut eingerichteten Meßzimmer mit feststehenden Apparaten relativ leicht auszuführen.

In der Praxis müssen die Messungen am Orte der verlegten Kabel in Straßen oft unter sehr ungünstigen Verhältnissen oder aber in der Zentrale, wo man auch mit manchen anormalen Verhältnissen zu tun hat, vorgenommen werden.

In erster Linie handelt es sich um Bestimmung der Konstanten, d. h. 1. des Widerstandes, 2. der Leitungsfähigkeit, 3. des Isolationswertes, 4. der Kapazität des ganzen oder eines Teiles des verlegten Kabels, welche einen vorgeschriebenen vertraglich festgelegten Wert nicht überschreiten dürfen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Bestimmung der Konstanten der Kabel bzw. die Kupfernormalien<sup>1)</sup> sind von dem Verbands Deutscher Elektrotechniker und von der Vereinigung der Elektrizitätswerke<sup>2)</sup> festgelegt.

### 2. Messungen von Widerstand und Leitungsfähigkeit.

Die Methoden, welche gegenwärtig zur Bestimmung des Widerstandswertes der Leitungen angewandt werden, beruhen fast ausschließlich auf dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke.

<sup>1)</sup> Die betreffenden Vorschriften lauten:

§ 1. Der spezifische Widerstand des Leitungskupfers wird gegeben durch den in Ohm ausgedrückten Widerstand eines Stückes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 15° C.

§ 2. Als Leitfähigkeit des Kupfers gilt der reziproke Wert des durch § 1 festgesetzten spezifischen Widerstandes.

§ 3. Kupfer, dessen spezifischer Widerstand größer ist als 0,0175, oder dessen Leitfähigkeit kleiner als 57, ist als Leitungskupfer nicht annehmbar.

§ 4. Als Normalkupfer von 100 Proz. Leitfähigkeit gilt ein Kupfer, dessen Leitfähigkeit 60 beträgt.

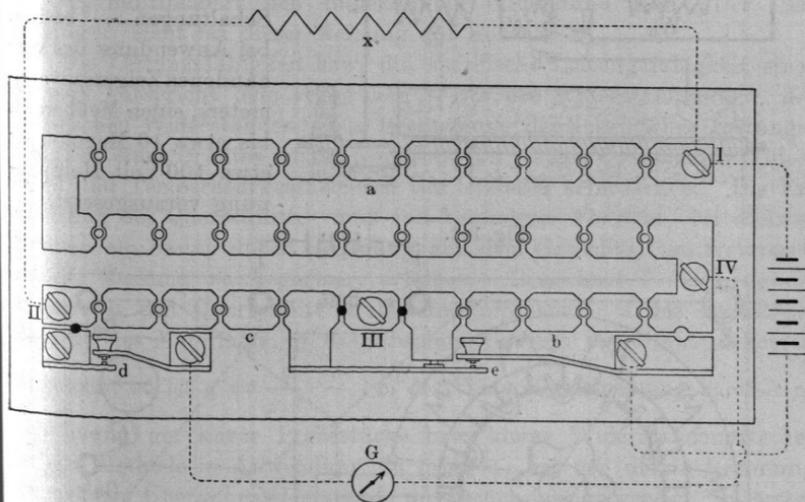
§ 5. Zur Umrechnung des spezifischen Widerstandes oder der Leitfähigkeit von anderen Temperaturen auf 15° C ist in allen Fällen, wo der Temperaturkoeffizient nicht besonders bestimmt wird, ein solcher von 0,4 Proz. für 1° C anzunehmen.

<sup>2)</sup> Siehe Anhang.

Für genaue Widerstandsmessungen, wie sie bei Kabeln vorgenommen werden müssen, werden Brücken mit Stöpsel- oder auch Schleifkontaktwiderständen verwendet. Bei der ersteren Meßmethode ist die Wahl des Verhältnisses der Brückenarme  $\frac{c}{b}$  beschränkt, während der bekannte Vergleichswiderstand  $a$  in weiten Grenzen veränderlich sein kann. Es ist hier nicht der Ort, näher auf die Widerstandsmeßmethoden einzugehen; daher soll hier nur kurz der in der Praxis sehr gebräuchliche Universalwiderstandskasten von Siemens u. Halske, welcher — wie später näher ausgeführt — auch zu anderen Messungen dient, nebenstehend schematisch skizziert und beschrieben werden.

Fig. 140.


 bedeutet. Stöpsel muß stecken  
 " " " kann " "  
 " " " darf nicht "



Bei der Widerstandsmessung stellt man die Verbindungen, wie die Fig. 140 zeigt, her. Es bedeutet  $x$  den zu messenden Widerstand,  $g$  ein gut gedämpftes Spiegelgalvanometer,  $a$  den Widerstand, bei welchem die Galvanometernadel keinen Ausschlag zeigt, wenn die Taster  $d$  und  $e$  geschlossen sind. Es bestehen dann die bekannten Relationen

$$a \cdot c = b \cdot x \quad \text{und} \quad x = a \cdot \frac{c}{b}.$$

Die bekannten Widerstände  $b$  und  $c$  sind dekadisch. Die Taster  $d$  und  $e$  dienen zur Einschaltung des Galvanometers bzw. zum Stromschlusse. Der Meßbereich geht von 0,0001 Ohm bis 10 000 000 Ohm und reicht somit für alle Arten von Ermittlung der Leitungswiderstände aus. Die Firma Hartmann u. Braun fabriziert ein Instrumentarium, mit welchem auf einfache Weise Widerstands-, Isolationsmessungen und

Fehlerortsbestimmungen vorgenommen werden können. Fig. 141 und Fig. 142 zeigen das Schema und die Ausführung des Apparates. Bei Widerstandsmessungen von einigen Hundertstel bis etwa 100 000 Ohm

ist, wie oben bereits erwähnt, das Prinzip der Wheatstoneschen Brücke mit Schleifdrahtwiderstand am einfachsten und genauesten, während bei Isolationsmessungen die Methode des direkten Ausschlages empfehlenswerter ist. Das Instrumentarium — eine Kombination beider Schaltungen — besitzt, bei Anwendung des vorhandenen Zeigergalvanometers, einen Meßbereich bis etwa 10 Megohm — etwa 100 Volt Meßspannung vorausgesetzt.

Fig. 141.

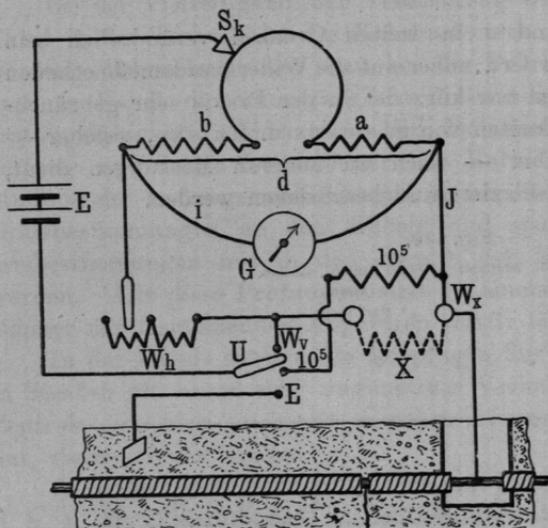
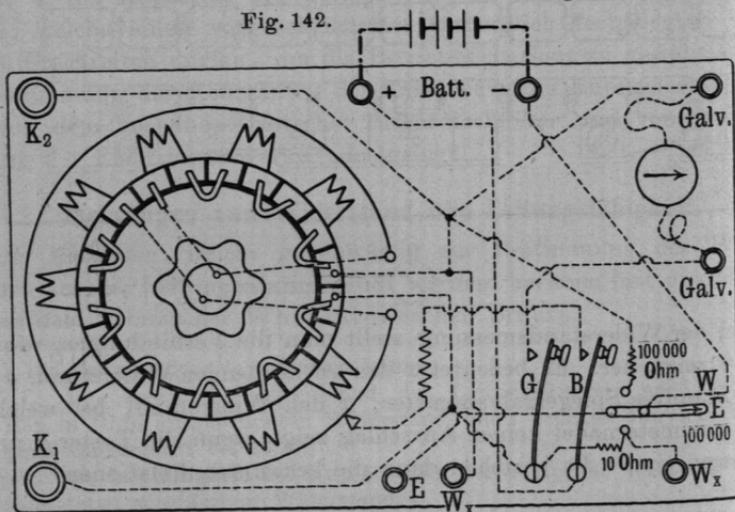


Fig. 142.



Schema zum Apparat für Fehlerortsbestimmung mit Einrichtung für Isolationsmessung.

Bei der Brückenschaltung kommt ein Schleifdraht mit Zusatzwiderständen in Anwendung, der durch die Einteilung in 10 000 Teile eine sehr genaue Ablesung ermöglicht. Dieser Schleifdrahtwiderstand kommt bei der Isolationsmessung als stetig veränderlicher Nebenschluß zum Galvanometer in Anwendung. Hierdurch wird die Handhabung

der Meßeinrichtung und die Ermittlung des Meßresultates sehr vereinfacht. In dem Schaltungsschema bzw. am Apparate Fig. 141 u. 142 bezeichnet  $d$  den Schleifdraht nebst neun Zusatzwiderständen — je von gleicher Größe wie der Schleifdraht —,  $W_v$  einen mehrstufigen Vergleichswiderstand,  $G$  das Galvanometer,  $W_h$  einen hohen Widerstand (100 000 Ohm) — Vergleichsnorm bei der Isolationsmessung —  $U$  einen Umschalter mit drei Kontaktstellungen,  $U$  bis  $S_k$  den Batterieanschluß,  $X$  den unbekanntem Widerstand und  $W_x$  bis  $W_x$  den Anschluß des unbekanntem Widerstandes. Das Wheatstonesche Viereck besteht aus den Abschnitten des Schleifdrahtes und aus  $W_h$  und  $X$ . Durch Verstellung des Schleifkontaktes nebst Schaltkurbel für die Zusatzwiderstände wird das Brückengleichgewicht erreicht. Die Ablesung erfolgt in Zehntausendsteln des Schleifdrahtwiderstandes. Aus einer Tabelle kann man direkt das Verhältnis der Brückenarme  $a$  und  $b$  feststellen, welches mit  $W_h$  multipliziert den unbekanntem Widerstand gibt. Der Umschalter  $U$  steht bei dieser Messung auf Kontakt  $W_v$ .

Die Leitungsfähigkeit bzw. die spezifische Leitungsfähigkeit eines Körpers entspricht dem reziproken Werte des Widerstandes bzw. des spezifischen Widerstandes. Zur Bestimmung der spezifischen Leitungsfähigkeit eines Drahtes ist die Kenntnis von Länge, Querschnitt, Widerstand und Temperaturkoeffizienten des letzteren erforderlich. Die Ermittlung des Querschnittes muß mit besonderer Vorsicht, bei dünnen Drähten am besten durch Rechnung aus dem Gewichte, um Irrtümern bei der Messung zu begegnen, erfolgen. Bezeichnet  $l$  die Länge in Metern,  $q$  den Querschnitt in Quadratmillimetern,  $s$  das spezifische Gewicht des Materiales,  $g$  das absolute Gewicht des Drahtstückes in

Grammen, so ist  $q = \frac{g}{s \cdot l}$ . — Bei der Widerstandsmessung handelt es sich häufig um kurze Probestücke bzw. kleine Widerstandswerte; es ist eine Methode in Anwendung zu bringen, bei der die in Rechnung kommenden Übergangswiderstände mit berücksichtigt werden. In erster Linie ist die Thomsonsche Doppelbrückenmethode — entsprechende Apparate bauen Hartmann u. Braun, Siemens u. Halske und andere — zu verwenden. Bei derselben können Widerstände bis zu 0,000 001 Ohm herab unabhängig von Übergangswiderständen ermittelt werden. Näheres hierüber findet sich in Apt, Kittler, Uppenborn, Wietz usw.<sup>1)</sup> Aus diesen durch Rechnung und Messung ermittelten Werten kann die Leitungsfähigkeit eines Drahtes gefunden werden.

### 3. Isolationsmessungen.

Ein sehr wichtiger Faktor bei Prüfung eines Kabelnetzes ist der Isolationswiderstand. Entsprechend den Sicherheitsvorschriften des Ver-

<sup>1)</sup> Raphael Apt, Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen; — Kittler, Handbuch der Elektrotechnik; — Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker.