

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Encyklopaedie der Naturwissenschaften

Elektricität und Magnetismus

Winkelmann, Adolph August

1893

Methoden zur Bestimmung von Widerständen und Leitungsfähigkeiten

Pole der Batterie werden mit den mittleren Näpfen b und e verbunden, derjenige Leiter r , in dem der Strom commutirt werden soll, mit den Näpfen g und f (oder auch c und d). Bei der einen Lage des Bügels g geht dann der Strom der Reihe nach durch

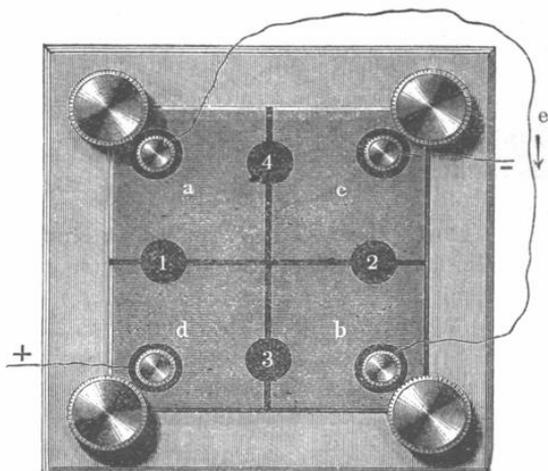
$$b l k g \rightarrow r \rightarrow f n o e,$$

bei der andern Lage durch

$$b l m c f \rightarrow r \rightarrow g h d p o e,$$

also durch r einmal in der Richtung von g nach f , das andere Mal in der Richtung f nach g .

2) Der Gyrotrop von RÜHMKORFF ist in Fig. 59 abgebildet. Derselbe besitzt eine drehbare Axe a , auf welcher ein Ebonitcylinder c sitzt. Dieser trägt zwei metallische Wülste d und e , welche die Metallfedern k und l berühren können. Die Axe a ist in der Mitte getheilt, und die beiden Hälften sind isolirt. Die vordere Hälfte steht mit d , die hintere mit e in Berührung. Die Pole der Batterie stehen mit g und f und dadurch mit e resp. d in Berührung. Der Leiter, in welchem der Strom umgekehrt werden soll, ist durch h und i mit k und l verbunden. Die Wirkungsweise des Apparates erhellt dann aus der Figur von selbst.



(P. 60.)

3) Stöpselumschalter, wie einer in Fig. 60 gezeichnet ist.

Vier von einander isolirte Messingplatten sitzen auf einem Brett. Mit der Batterie werden c und d , mit der Leitung, in der der Strom umgekehrt werden soll, a und b verbunden. Je nachdem man dann in die Löcher 1 und 2 oder in die Löcher 3 und 4 Stöpsel einschaltet, geht der Strom durch e in der einen oder andern Richtung.

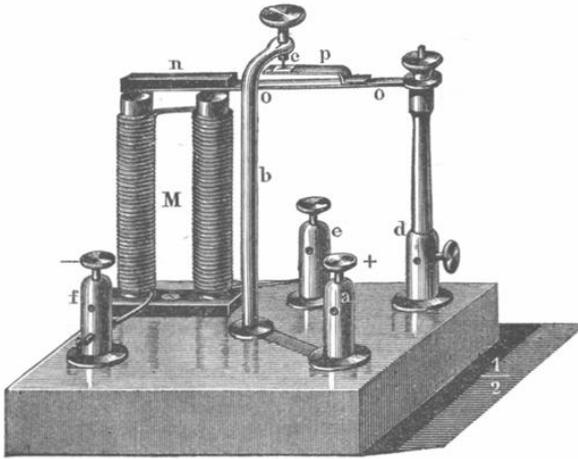
II. Stromunterbrecher.

Um den Strom in einer Leitung rasch einmal oder oft hintereinander zu unterbrechen, werden Stromunterbrecher angewendet.

Für einmalige Stromöffnung oder Stromschliessung lässt man am einfachsten die Enden eines Drahtes in zwei Quecksilbernäpfe tauchen, die man durch einen beweglichen Metallbügel verbindet. Oder man benutzt ein federndes Blech als Stromleitung, welches in Quecksilber eingetaucht wird, wenn man Stromschluss machen will. Oder man benützt den von DU-BOIS-REYMOND angegebenen Stromschlüssel, ein an einem Griff befestigtes Messingstück, welches sich mit Reibung zwischen zwei Messingklötzen hinein- oder aus ihnen herausdrehen lässt, welche selbst den Strom zu- oder abführen.

Zu oft wiederholten Unterbrechungen benutzt man den NEEF'schen Hammer Fig. 61, bei welchem eine Stahlfeder $o p n$ durch einen Elektromagneten M' angezogen oder losgelassen werden kann und bei dieser Bewegung den Strom unterbricht und schliesst, der durch die Spitze c in die Feder eintritt und selbst um den Elektromagneten geführt wird, so dass die Schliessungen und Oeffnungen

selbstthätig in rascher Folge geschehen. In *d* und *f* werden die Drähte vom Element, in *a* und *e* wird derjenige Draht eingeklemmt, in welchem der Strom unterbrochen werden soll.



(P. 61.)

Ein anderer, zu demselben Zweck dienender Apparat ist der Stimmgabelunterbrecher. Derselbe besteht aus einer Stimmgabel, zwischen deren Zinken eine Drahtrolle mit Eisenkern angebracht ist. Ein Strom wird in die Biegung der Stimmgabel eingeleitet, durchläuft eine Zinke derselben, welche einen Platindraht als federnden Contact trägt und geht durch diesen Platindraht, wenn er auf seiner Unterlage, die mit der Drahtrolle verbunden ist, aufliegt, in die Draht-

rolle. Durch die elektromagnetischen Kräfte werden die Zinken der Stimmgabel einander genähert, wodurch der Strom unterbrochen wird und nun schwingt die Gabel mit ihrer eigenen Schwingungszahl und öffnet und schliesst den Strom der Rolle. Wenn man noch eine andere Platinspitze an der andern Zinke anbringt, so kann man diese in Quecksilber tauchen lassen und dadurch einen zweiten Stromkreis im gleichen Tempo öffnen und schliessen lassen¹⁾.

III. Rheostaten.

Die Rheostaten sind Apparate, welche gestatten, durch einfache Operationen Widerstände in einen Stromkreis rasch einzuschalten, oder aus ihm auszuschalten. Sie enthalten alle Widerstände, gewöhnlich in Form von Drähten, und zwar abgemessene Widerstände, wenn sie zu quantitativen Vergleichen benutzt werden sollen, oder Widerstände von unbekannter resp. nicht genau constanter und bekannter Grösse, welche nur als Ballastwiderstände gebraucht werden, um dem Strom in einem Stromkreis eine bestimmte Stärke zu geben. Zu den Rheostaten letzterer Art sind jetzt die früher viel gebrauchten Walzenrheostaten²⁾ zu rechnen, bei denen der Draht auf einem Cylinder von Marmor oder Serpentin schraubenförmig aufgewunden ist. Durch Drehung des Cylinders verschiebt sich ein Contactröllchen längs des Drahtes und bringt dadurch verschiedene Drahtlängen in den Stromkreis. Der variable Widerstand dieses Contactröllchens macht den Rheostaten für genaue Messungen unbrauchbar. Dagegen ist er sehr praktisch zur Einschaltung von Ballastwiderständen mässiger Grösse.

Der Rheostat von POGGENDORFF³⁾ ist ein auch zu Messungen geeigneter Apparat. Er besteht aus zwei ausgespannten, gleichmässig dicken Drähten, welche durch zwei enge Löcher eines verschiebbaren, eisernen, mit Quecksilber

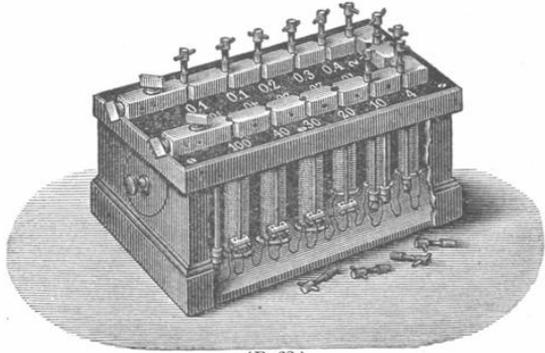
¹⁾ s. auch Bernstein. Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskel-system. Heidelberg 1871.

²⁾ WHEATSTONE, POGG. Ann. 62, pag. 509. 1844; JACOBI, POGG. Ann. 54, pag. 340. 1841; 59, pag. 145. 1843. Eine neue Form der Walzenrheostaten, durch welche diese zu exakten Messungen geeignet werden sollen, giebt Sir W. THOMSON, Lum. é. 22. pag. 87. 1886.

³⁾ POGGENDORFF, POGG. Ann. 52, pag. 511. 1841.

gefüllten Gefässes gehen. Durch Verschieben dieses Contactes kann man mehr oder weniger lange Stücke dieser Drähte in einen Stromkreis einschalten. Auch dieser Apparat ist nur für verhältnissmässig kleine Widerstände geeignet.

Um beliebig grosse und genau zu messende Widerstände durch Rheostaten in Stromkreise einzuführen, bedient man sich jetzt nach der Einführung von SIEMENS der Widerstandskästen oder Stöpselrheostaten. Dieselben bestehen (Fig. 62) aus einem Kasten, in welchem eine Anzahl abgemessener Widerstände in Form von Drahtrollen angebracht sind. Die zwei Enden jeder Rolle sind durch dicke Kupferstreifen an je zwei aufeinanderfolgenden, dicken Messingklötzen befestigt, welche auf dem Deckel des Kasten aufsitzen¹⁾.



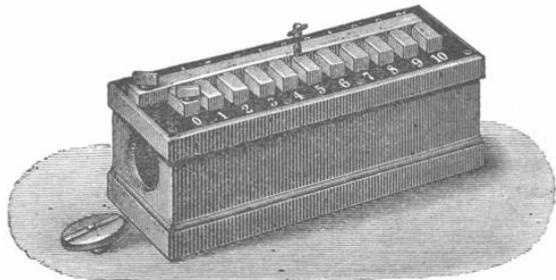
(P. 62.)

Durch Einstecken eines Messingstöpsels zwischen zwei solche Messingklötze wird die betreffende Drahtrolle aus dem Stromkreis ausgeschaltet, da der Strom dann nur durch die fast widerstandslosen Messingklötze geht. Durch das Herausnehmen dieses Stöpsels wird umgekehrt der betreffende Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet. Die Widerstandsrollen werden gewöhnlich bifilar gewickelt, damit sie sowohl für Gleichströme, wie für Wechselströme verwendbar seien. Die Widerstände werden jetzt häufig aus Nickelin oder Nickelmangankupfer, früher wurden sie aus Neusilber hergestellt. Das Nickelin und namentlich das Nickelmangankupfer haben nämlich einen äusserst geringen Temperaturcoefficienten für die Leitungsfähigkeit, so dass sich ihr Widerstand fast gar nicht mit der Temperatur ändert. Bei den Widerstandskästen von SIEMENS haben die aufeinanderfolgenden Rollen folgende Werthe des Widerstandes in Ohm:

0·1; 0·2; 0·2; 0·5; 1, 1, 2, 5; 10, 10, 20, 50, 100, 100, 200, 500, 1000, 1000, 2000, 5000.

Dadurch kann man alle Widerstände von 0·1—10000 Ohm, um je 0·1 Ohm fortschreitend, bilden. Bei den Rheostaten von HARTMANN und BRAUN schreiten die Widerstände in der Reihenfolge 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30, 40 u. s. w. fort, wodurch man, bei derselben Zahl von Rollen, im Stande ist, jede Einheit einer höheren Dekade mit der Summe der Rollen in der nächst niederen Dekade direkt zu vergleichen (z. B. 100 mit 10 + 20 + 30 + 40).

Da für genaue Messungen, insbesondere bei kleinen Widerständen, der Widerstand der Stöpsel nicht ganz zu vernachlässigen ist und die einzelnen Stöpsel nicht genau gleiche Widerstände haben, so werden für diese Zwecke sogen. Dekadenwiderstände construirt, welche nur einen einzigen Stöpsel von sehr geringem Widerstand besitzen. Dieselben bestehen (Fig. 63) aus 10 gleichen Rollen, z. B. von je 0·1 Ohm, welche wieder



(P. 63.)

¹⁾ Ueber die Widerstände dieser Streifen s. DORN, WIED. Ann. 22, pag. 558. 1884.

mit ihren Enden an je zwei nebeneinanderliegende Messingklötze befestigt sind. Diese sind aber parallel einer langen Mittelschiene auf dem Deckel des Kastens angebracht, in welche der Strom eingeführt wird, und welche durch den Stöpsel mit einem der 10 Klötze verbunden wird. Dann durchläuft der Strom alle Rollen bis zu diesem Klotz und kehrt durch die lange Schiene zurück.

Für sehr grosse Widerstände, von 1 bis zu 100 Millionen Ohms kann man Metalldrähte nicht gut verwenden, da die Drähte zu lang oder zu dünn und jedenfalls zu kostspielig sein würden. Für diese Zwecke ist ein einfaches Verfahren von PHILLIPS¹⁾ angegeben worden. Man zieht auf einer Platte von Ebonit oder mattem Glas mit dem Bleistift eine Linie. Diese hat sehr bedeutenden Widerstand. Man verbindet diese Enden mit Elektroden und übersteicht sie mit Lack. Der Widerstand ändert sich allerdings etwas mit der Zeit, ist aber von der Temperatur wenig abhängig. Von SIEMENS und HALSKE wurden solche Widerstände bis 100 Millionen Ohm hergestellt, die aus einem Ebonitcylinder bestehen, auf welchem eine spiralförmige Nuth sich befindet, die mit Graphit eingerieben ist.

Eine andere Anordnung der Widerstandskästen, durch welche man leicht Bruchtheile von Widerständen messen kann, hat W. THOMSON angegeben²⁾. Bei dieser werden die Rollen durch die Stöpsel nicht hintereinander, sondern nebeneinander in den Stromkreis eingeschaltet. Zu dem Zwecke sind die unteren Enden aller Rollen mit einer gemeinschaftlichen Messingschiene verbunden. Die oberen Enden laufen in getrennte Messingklötze aus, welche durch Stöpsel mit einer zweiten Messingschiene verbunden werden können, die als zweite Stromzuleitung dient. Je mehr Stöpsel eingeschaltet sind, desto mehr Rollen sind nebeneinander geschaltet, desto kleiner ist der Widerstand des Kastens. Nach den KIRCHHOFF'schen Gesetzen ist der reciproke Werth des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der reciproken Werthe der einzelnen Widerstände.

Sind also z. B. die Rollen $w_1 = 10$ Ohm und $w_2 = 50$ Ohm eingeschaltet, so ist

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{50} = \frac{6}{50},$$

also

$$w = \frac{50}{6} = 8.3333 \text{ Ohm}^3).$$

IV. Widerstandseinheiten.

Um Widerstände mit der Einheit des Widerstands, 1 Ohm, zu vergleichen, benutzt man Widerstandsetalons, welche genau 1 Ohm Widerstand haben. Da 1 Ohm für den praktischen Gebrauch als der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 \square mm Querschnitt und 106 cm Länge definiert ist (während nach den genauesten Messungen das wahre Ohm, wie es aus dem elektromagnetischen System folgt, durch eine solche Quecksilbersäule von 106.32 cm Länge dargestellt wird, also um 0.30% grösser ist als das praktisch gebrauchte Ohm), so erhält man den genauesten Werth eines Widerstands in Ohm, indem man ihn direkt mit dem Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 \square mm Querschnitt und genau gemessener Länge vergleicht. Der Widerstand der letzteren ist eben aus den Dimensionen zu berechnen. Zu diesem Behuf werden von SIEMENS und

¹⁾ PHILLIPS, Phil. Mag. Juli 1870.

²⁾ MAXWELL, Treatise I, deutsche Ausg., pag. 491.

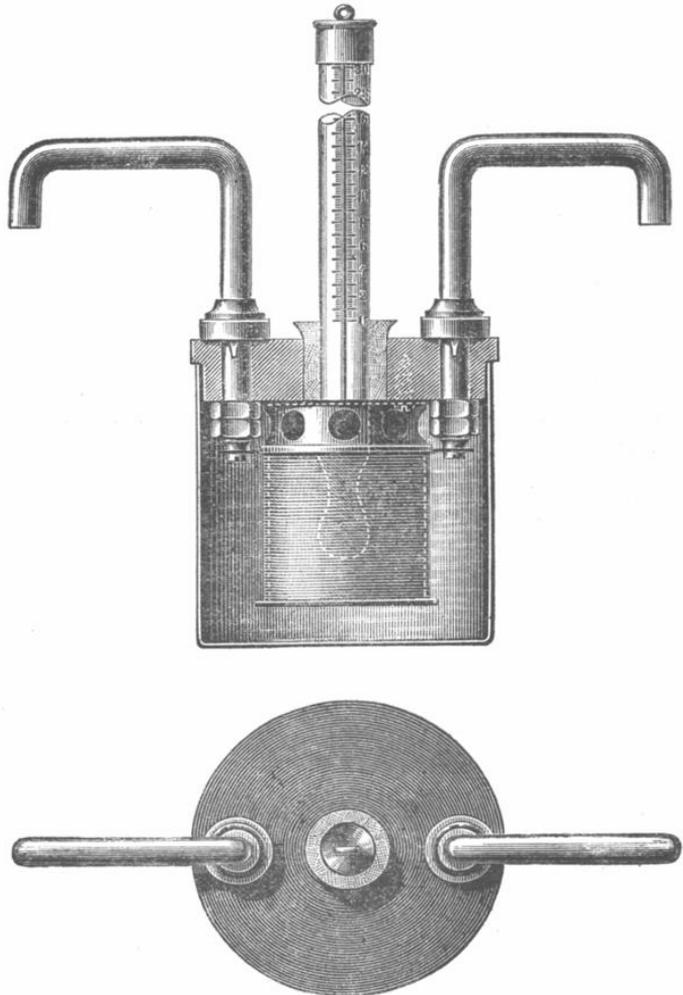
³⁾ Eine andere Anordnung s. F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. 31, pag. 600.

HALSKE Normal-Einheiten verfertigt, welche aus einer Glasröhre von $1 \square \text{ mm}$ Querschnitt und ca. 1 m Länge bestehen; die Glasröhre mündet in weite Glasgefäße, welche ebenfalls mit Quecksilber gefüllt werden und als Zuleitung dienen. Bei anderen mehr für den praktischen Gebrauch berechneten Normaleinheiten ist die Glasröhre spiralförmig gewunden und befindet sich mit den weiten Zuleitungsgefäßen zusammen in einer Glasglocke.

Die eigentlichen Gebrauchsnormaleinheiten, welche jetzt von der technisch-physikalischen Reichsanstalt geliefert werden¹⁾ bestehen (Fig. 64) aus einer cylindrischen Büchse, welche mit Petroleum gefüllt ist, und einen Ebonitdeckel trägt.

Im Innern der Büchse, im Petroleum, befindet sich der Widerstand, der aus Patentnickeldrähten (jetzt aus Nickelmangankupferdrähten) besteht, die auf einen hohlen Messingcylinder aufgewickelt sind. Das Petroleum kann durch Löcher im Innern der Büchse ebenfalls circuliren und dient dazu, die durch den Strom erzeugte Wärme auszugleichen und so eine

constante, messbare Temperatur hervorzubringen, die an einem durch den Deckel gesteckten und bis in die Mitte der Rolle reichenden Thermometer (in $\frac{1}{10}^\circ$ eingetheilt) abgelesen wird. Die Enden des Patentnickeldrahtes sind durch Verschraubung und Silberverlöthung an die durch den Deckel hindurchgehenden Zuleitungen befestigt, welche aus 7 mm starkem Kupferdraht gebogen sind. Diese werden in Quecksilbernäpfe zur Stromzuleitung getaucht. Die genaue Abmessung des Drahtes bis auf $\frac{1}{1000} \%$ geschieht dadurch, dass namentlich bei geringeren Widerständen zu dem Hauptdraht parallel ein Nebenschlussdraht von grossem Widerstand geschaltet wird, an dem die letzten Correctionen der Länge vorgenommen werden. So bestehen die Normalen, welche gerade 1 Ohm Widerstand besitzen, aus einem Patentnickeldraht von 241 cm



(P. 64.)

¹⁾ FEUSSNER, WIED. Ann. 40, pag. 139. 1890.

Länge und 1 mm Durchmesser, welcher für sich selbst 1.01 Ohm Widerstand besitzt. Parallel zu ihm ist ein Nebenschlussdraht von 470 cm Länge und 0.014 cm Durchmesser geschaltet, welcher für sich 100 Ohm Widerstand hat, so dass der gesammte Widerstand der Rollen sich berechnet aus

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{1.01} + \frac{1}{100} = \frac{10101}{10100},$$

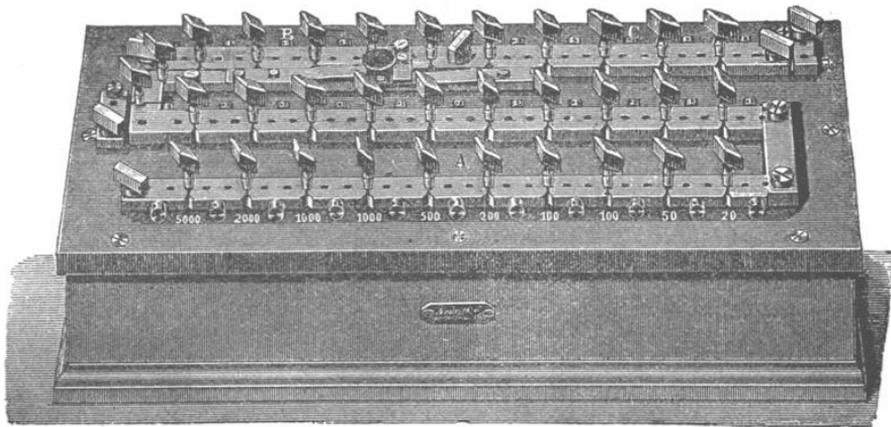
womit $w = 1.00001$ Ohm, also bis auf $\frac{1}{10000}$ gleich 1 Ohm wird.

In anderen Formen werden die Einheiten von SIEMENS und HALSKE fabricirt, nämlich als Doseneinheiten. Sie bestehen aus einer Holzdose, in welcher sich der abgemessene Nickelindraht befindet. Seine Enden sind an dicke, vernickelte Messingstäbe geführt, die sowohl mit ihren Enden in Quecksilber eintauchen können, als auch mit Klemmschrauben zur Befestigung von Drähten versehen sind.

V. Messbrücken.

Da die meisten und genauesten Widerstandsmessungen nach der Methode der WHEATSTONE'schen Brücke ausgeführt werden, so hat man für diesen Zweck besondere Apparate construiert, welche diese Messungen rasch und genau auszuführen gestatten.

Die einfache Messbrücke besteht aus einem ausgespannten, gleichmässig calibrirten Draht¹⁾ (aus Platin oder Platinsilber) von gewöhnlich 1 m Länge, der neben oder über einer Skala sich befindet. Auf ihm wird ein Laufkontakt verschoben und zwar bei den einfachen Apparaten mit der Hand²⁾.



(P. 65.)

Bei der grossen Messbrücke von SIEMENS und HALSKE ist dieser Laufkontakt durch eine Schraube grob und durch eine Mikrometerschraube fein verstellbar. Ausserdem ist bei dieser Messbrücke eine Ventilationseinrichtung angebracht, durch welche der Draht auf gleichmässiger Temperatur erhalten werden kann, indem ihm die in ihm erzeugte JOULE'sche Wärme entzogen wird.

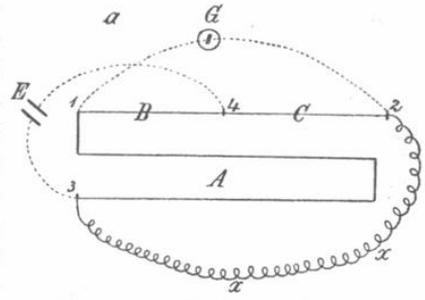
¹⁾ Ueber die Calibrirung von Brückendrähten s. u. a. STROUHAL u. BARUS, WIED. Ann. 10, pag. 326. 1880; BRAUN, Centralzeitg. f. Optik und Mechanik 4, pag. 134. 1883; GIESE, WIED. Ann. 11, pag. 443. 1880.

²⁾ Anordnungen des Messdrahtes und Contactes s. H. MEYER, WIED. Ann. 22, pag. 460. 1884; BODYNSKI, WIED. Ann. 22, pag. 463.

Die Skala ist bei diesen Messbrücken gewöhnlich einfach in Millimeter geteilt. Zuweilen ist sie so geteilt, dass man direkt das Verhältniss der Längen der beiden Abschnitte des Drahtes ablesen kann.

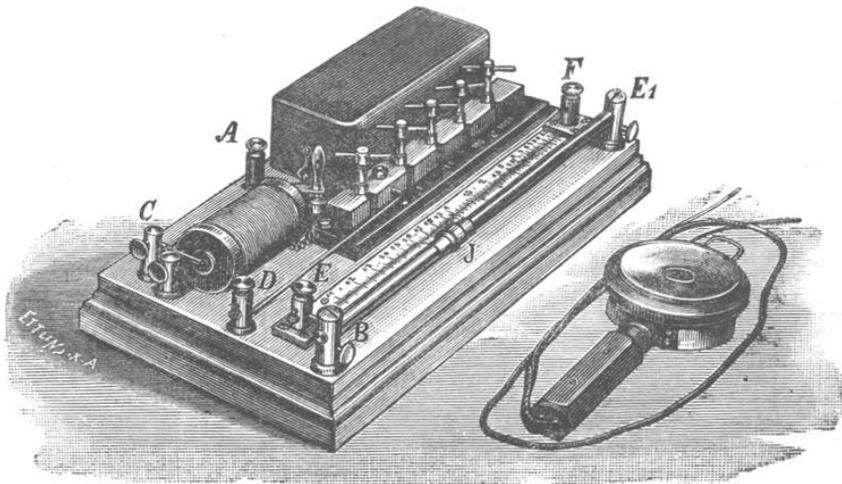
In anderen Fällen ist der Messdraht nicht gerade ausgespannt, sondern kreisförmig oder spiralförmig aufgewunden, so bei dem Universalgalvanometer von SIEMENS und HALSKE und bei den Brückenwalzen von HARTMANN und BRAUN nach F. KOHLRAUSCH¹⁾. Letztere besteht aus einer Serpentinwalze, in welche eine Schraubenlinie eingeschnitten ist. In dieser liegt der Messdraht, auf welchem durch Drehung der Walze ein Röllchen sich verschiebt, das durch Federn angedrückt wird. Die Stromzuleitung wird durch einen Bürstencontact vermittelt.

Die SIEMENS'schen Universalwiderstandskasten (Fig. 65) sind ebenfalls speciell als Messbrücken eingerichtet. In einem solchen Kasten sind nämlich 3 Rheostaten vereinigt, zwei Widerstandskasten *B* und *C* mit je 10, 100 und 1000 Ohm, und ein Kasten *A* von 0.1—5000 Ohm gehend. Die beiden ersten bilden zwei aneinanderstossende Seiten des WHEATSTONE'schen Drahtvierecks, die beiden andern Seiten werden von dem zu messenden Widerstand und von dem grossen Widerstandskasten gebildet. Die Verbindung zur Herstellung der WHEATSTONE'schen Brücke ist durch Fig. 66 angegeben. Das Element *E* wird an die Klemmen 3 und 4, das Galvanoskop *G* an die Klemmen 1 und 2, der zu untersuchende Widerstand *x* an die Klemmen 2 und 3 angelegt.



(P. 66.)

Die einfache Messbrücke nach KOHLRAUSCH von HARTMANN und BRAUN enthält Widerstände von 1, 10, 100, 1000 Ohm und einen ausgespannten Draht,



(P. 67.)

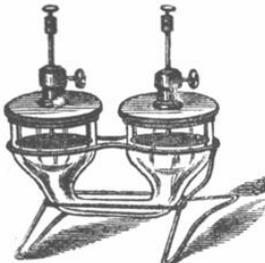
welcher auf einer Skala liegt, die, wie oben erwähnt, das Verhältniss der Längen direkt giebt. Bei der Universalmessbrücke (Fig. 67) nach F. KOHLRAUSCH

¹⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. II, pag. 658. 1880.

ist ausser den Widerständen und dem gespannten Draht J noch ein kleiner Inductionsapparat angebracht, so dass diese Messbrücke sowohl für Gleichströme wie für Wechselströme einfach zu verwenden ist. In letzterem Falle wird ein Telephon oder ein Elektrodynamometer in die Brücke eingeschaltet. Die Verbindungen geschehen so, dass bei Beobachtungen mit dem Galvanometer die Elemente bei A und B , des Galvanometer bei E_1 und F , der zu messende Widerstand bei D und E eingeschaltet werden. Der Stöpsel S wird gezogen. Bei Beobachtungen mit Wechselströmen wird die Stromquelle in A und C , das Telephon an E_1 und F , der Widerstand wieder an D und E gelegt. Stöpsel S bleibt stecken¹⁾.

VI. Widerstandsgefässe für Elektrolyte.

Zur Untersuchung des Leitungswiderstandes von elektrolytischen Flüssigkeiten bedient man sich jetzt nach dem Vorgang von F. KOHLRAUSCH²⁾ der Gefässe, wie sie in Fig. 68 und 69 in einigen Formen abgebildet sind. Für schlechter leitende



(P. 68.)



(P. 69.)

Flüssigkeiten nimmt man Gefässe von der in Fig. 69 abgebildeten Form. Es sind dies Glasgefässe, in welche die Elektroden entweder eingeschmolzen sind oder durch Ebonitdeckel eingesetzt werden. Die Elektroden im Gefäss 68 haben 45 mm Durchmesser, bestehen aus Platin und sind stark platinirt. Marken an den Stielen lassen

erkennen, ob die Tiefe des Eintauchens constant bleibt. Zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit von Flüssigkeiten müssen diese Gefässe calibrirt d. h. ihre Widerstandscapacität gemessen werden. Zu diesem Zwecke werden sie mit einer Flüssigkeit von bekanntem Leitungsvermögen gefüllt und ihr Widerstand gemessen. Als solche Flüssigkeiten zum Calibriren empfiehlt KOHLRAUSCH folgende 4, bei denen zugleich ihr Leitungsvermögen t bei der Temperatur k angegeben ist:

I. Verdünnte Schwefelsäure von 30·4% H_2SO_4 spec. Gew. = 1·224
 $K = 0·00006914 + 0·00000113 (t - 18^\circ)$.

II. Gesättigte Kochsalzlösung von 26·4% $NaCl$. Spec. Gew. 1·201
 $K = 0·00002015 + 0·00000045 (t - 18^\circ)$.

III. Bittersalzlösung von 17·3% $MgSO_4$ (wasserfrei). Spec. Gew. = 1·187.
 $K = 0·00000456 + 0·00000012 (t - 18^\circ)$.

IV. Essigsäure von 16·6% $C_2H_4O_2$. Spec. Gew. 1·022
 $K = 0·000000152 + 0·0000000027 (t - 18^\circ)$.

Zeigt das Gefäss mit einer dieser Flüssigkeiten gefüllt den Widerstand W Ohm, so ist die Widerstandscapacität des Gefässes für Quecksilber von 0°

$$\gamma = WK.$$

¹⁾ Ueber die Messbrücke von SIEMENS und HALSKE für sehr kleine Widerstände nach der KIRCHHOFF'schen Methode s. Zeitschr. des elektrotechnischen Vereins in Wien 2, pag. 20. 1884.

²⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. Ann. II, pag. 659. 1880; frühere Anordnungen; KOHLRAUSCH u. GROTRIAN, POGG. Ann. 151, pag. 381. 1874 und KOHLRAUSCH WIED. Ann. 6, pag. 5. 1879.

Zeigt dann eine andere, die zu untersuchende, Flüssigkeit in dem Gefäß den Widerstand w Ohm, so ist ihr auf Quecksilber bezogenes Leitungsvermögen

$$k = \frac{\gamma}{w} = K \frac{W}{w}.$$

B. Methoden zur Vergleichung von Widerständen und zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit.

I. Messung von Widerständen der Leiter erster Klasse.

1) Substitutionsmethode (OHM). Man verbindet eine möglichst constante Säule von der elektromotorischen Kraft E mit dem zu messenden Widerstand x , den man durch eine Zweigschaltung von verschwindendem Widerstand — einen kurzen, dicken Draht — ausschalten kann, einem Rheostaten und einem Galvanometer. Man beobachtet den Ausschlag des Galvanometers bei eingeschaltetem x und einem beliebig grossen, eingeschalteten Rheostatenwiderstand R_0 . Man schaltet dann x aus und dafür aus dem Rheostaten so viel neuen Widerstand R ein, bis das Galvanometer denselben Ausschlag zeigt. Dann ist $x = R$. Denn bedeutet J die beobachtete Stromstärke und w_0 den sonstigen Widerstand im Stromkreis, so ist

$$I = \frac{E}{x + R_0 + w_0} = \frac{E}{R + R_0 + w_0},$$

woraus $x = R$ folgt.

Die Forderung der Constanz von E macht diese Methode ungenau.

Man kann natürlich auch das Galvanometer in eine Zweigleitung legen. Abänderungen dieser Methode sind von BOSSCHA¹⁾ und SICKS²⁾ angegeben.

2) Methode von BECQUEREL³⁾ mit dem Differentialgalvanoskop.

Zu dieser Methode gehört ein Galvanometer, welches zwei Drahtrollen besitzt, die so geschaltet werden können, dass sie entgegengesetzte Wirkungen auf die Magnetnadel ausüben, so dass bei Gleichheit der Stromstärke in ihnen keine Ablenkung der Magnetnadel stattfindet. Von der Batterie aus wird der Strom so zu dem Galvanometer geführt, dass er die beiden Rollen in entgegengesetztem Sinne durchläuft. In den Kreis jeder der beiden Rollen ist einer von den zu vergleichenden Widerständen eingeschaltet, also in den einen ein Rheostat, in der andern der zu untersuchende Widerstand x .

Es ist in Fig. 70 die Schaltung der Batterie E mit den beiden zu vergleichenden Widerständen A und B und mit dem Differentialgalvanometer G angegeben. Die beiden Rollen des letzteren mögen die Widerstände α und β haben. Der Widerstand von D bis C sei r und E sei die elektromotorische Kraft der Batterie. Dann bestehen zwischen den Stromstärken J_1 , J_2 , J resp. in α , β und CD die Gleichungen

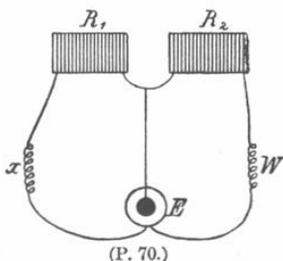
$$J_1 (A + \alpha) = J_2 (B + \beta) = E - Jr$$

$$J_1 + J_2 = J.$$

Daraus ergibt sich die Ablenkung der Magnetnadel zu

$$\delta = \frac{E}{D} [m(B + \beta) - n(A + \alpha)],$$

wenn D , m , n Constanten sind⁴⁾.



¹⁾ BOSSCHA in SCHRÖDER VAN DER KOLK, POGG. ANN. 110, pag. 452. 1860.

²⁾ SICKS, POGG. ANN. 137, pag. 156. 1869.

³⁾ BECQUEREL, ANN. CHIM. PHYS. (3) 17, pag. 242. 1846.

⁴⁾ MAXWELL, ELEKTRICITÄT, DEUTSCHE AUSGABE I, pag. 493.

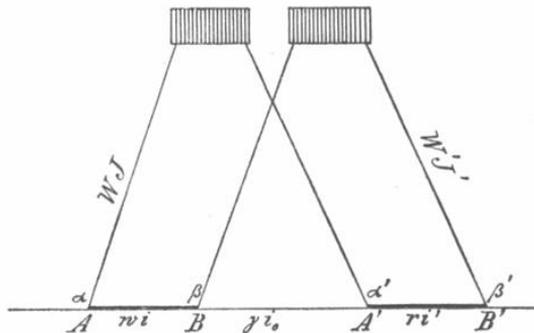
Um diese Messung genau auszuführen, soll man nach MAXWELL, wenn man einen Rheostatenwiderstand A' mit A zu vergleichen hat, erst einen Rheostatenwiderstand B mit A vergleichen, so dass $\delta = 0$ wird und dann A durch A' ersetzen, also A' mit B vergleichen.

Um A mit B direkt zu vergleichen¹⁾, bringt man einen Commutator an, durch den man diese beiden Widerstände abwechselnd mit der einen und der anderen Umwindung des Galvanometers in Verbindung bringen kann²⁾.

Man kann auch, und das ist namentlich bei kleinen Widerständen vortheilhaft, den zu messenden Widerstand x und den Rheostatenwiderstand R hintereinander in den Stromkreis einer Säule einschalten und sowohl von den Enden von x , wie von denen von R Abzweigungen zum Differentialgalvanoskop führen, so dass ihre Ströme in entgegengesetzter Richtung durch die Rollen fließen³⁾.

Letztere Anordnung ist in ähnlicher Weise auch von KIRCHHOFF⁴⁾ zur Messung kleiner Widerstände empfohlen und von ihm und HANSEMANN⁵⁾ angewendet worden, weil bei grossem Widerstand des Galvanometers der variable Contact zum Nebenschluss dabei nicht wesentlich ins Gewicht fällt.

Wenn man die beiden Widerstände w und r so mit den beiden



(P. 71.)

Multiplikatorrollen im Nebenschluss verbindet, dass die beiden Rollen und die Widerstände hintereinander geschaltet sind (also z. B. von dem einen Ende von w nach der Rolle 1, von deren Ende zum Widerstand r , von dessen Ende zur Rolle 2 und dann nach w zurück) (Fig. 71), so kann man sich ganz von den Uebergangswiderständen frei machen⁶⁾. Werden nämlich die Zuleitungen zum

Galvanometer durch einen Commutator vertauscht, ohne dass sonst etwas geändert ist, und ist das erste Mal R_1 , das andere Mal R_2 einzuschalten, um die Multiplikatornadel auf Null zu bringen, so ist

$$w = \frac{1}{2} (R_1 + R_2),$$

unabhängig von Uebergangswiderständen und Fehlern des Galvanometers⁷⁾.

3) Methode mit Nebenschlussgalvanometer.

Man legt die Enden eines Galvanometers von hohem Widerstand (z. B. eines Torsionsgalvanometers) an die Enden ein Mal des zu bestimmenden, das andere Mal an die Enden des Vergleichswiderstands an und beobachtet die Ausschläge. Letztere verhalten sich wie die zu vergleichenden Widerstände.

4) Methode der WHEATSTONE'schen Brücke.

¹⁾ W. WEBER, Abhandl. d. Götting. Gesellsch. Bd. X, pag. 65.

²⁾ Ueber Anordnungen zu dieser Methode s. W. SIEMENS, Rep. of Brit. Assoc. 1867, pag. 479 FLEEMING JENKIN, ebenda, pag. 481; VOLLER, Beibl. 8, pag. 663. 1884.

³⁾ HEAVISIDE, Phil. Mag. (4) 45, pag. 245. 1873.

⁴⁾ KIRCHHOFF, WIED. ANN. 11, pag. 801. 1883; s. auch DIETERICI, WIED. ANN. 16, pag. 234. 1882.

⁵⁾ KIRCHHOFF und HANSEMANN, WIED. ANN. 13, pag. 410. 1881; s. SIEMENS und HALSKE Zeitschr. des elektrotechnischen Vereins Wien 2, pag. 20. 1884.

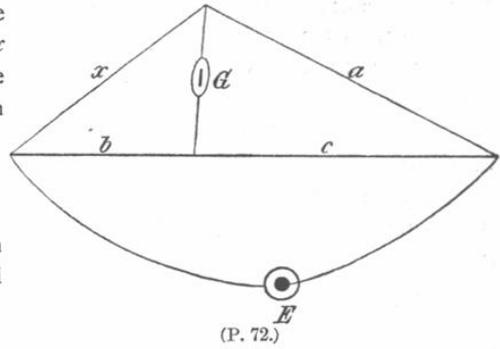
⁶⁾ F. KOHLRAUSCH, WIED. ANN. 20, pag. 76. 1883.

⁷⁾ S. a. STRECKER, WIED. ANN. 25, pag. 464. 1885.

Wenn zwischen vier Widerstände (Fig. 72) x und a einerseits, b und c andererseits die WHEATSTONE'sche Brücke eingeschaltet wird, und der Strom in der Brücke verschwindet, so ist

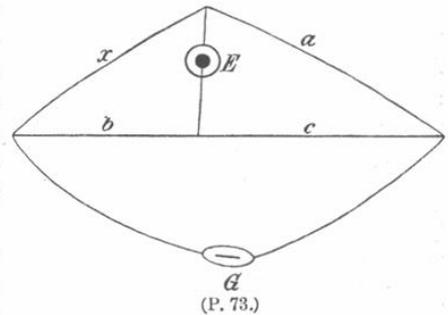
$$x = \frac{ab}{c},$$

wodurch man x findet. Man kann entweder a als bekannten Widerstand annehmen und nur das Verhältniss $\frac{b}{c}$



messen, welches den Brückenstrom gleich Null macht, oder man kann $\frac{b}{c}$ bekannt machen und a so bestimmen, dass der Brückenstrom verschwindet. Ersteres ist der Fall bei denjenigen Anordnungen, die einen Messdraht mit variablem Contact benutzen, letzteres unter anderem bei dem SIEMENS'schen Universalwiderstandskasten.

Da die vier Leiter x, a, b, c ein Viereck bilden, dessen Diagonalen einerseits von dem Galvanometerzweig, andererseits von dem Batteriezweig gebildet werden, so kann man Galvanometer und Batterie vertauschen, also auch die Batterie in die Brücke bringen (Fig. 73), wie es z. B. bei dem SIEMENS'schen Universalgalvanoskop der Fall ist.



Aus einer eingehenden Betrachtung über die Empfindlichkeit der Methode findet man ¹⁾, dass man am vorteilhaftesten von den beiden Widerständen, die einerseits das Galvanometer, andererseits die Batterie bieten, den grösseren mit denjenigen gegenüberliegenden Punkten des Drahtvierecks verbindet, in welchem die beiden grössten Widerstände einerseits und die beiden kleinsten andererseits zusammenstossen.

Kennt man ungefähr den zu messenden Widerstand x und die Widerstände des Galvanometers α und der Batterie a , so macht man am besten ²⁾ die beiden Widerstände, deren Verhältniss in die Messung eingeht, resp. gleich

$$\sqrt{a\alpha} \quad \text{und} \quad \sqrt{ax \frac{a+x}{a+x}}$$

und den dritten Widerstand gleich

$$\sqrt{ax \frac{a+x}{a+x}}$$

5) Messung sehr geringer Widerstände. Methode von MATTHIESSEN und HOCKIN.

Da die Uebergangswiderstände variable sind und der durch sie hervorbrachte Fehler besonders dann störend ist, wenn der zu messende Widerstand selbst klein ist, so hat THOMSON ³⁾ die einfache WHEATSTONE'sche Brücke in der

¹⁾ MAXWELL, Elektrizität und Magnetismus; deutsche Ausgabe I, pag. 490.

²⁾ HEAVISIDE, Phil. Mag. (4) 45, pag. 114. 1873; s. H. WEBER, WIED. Ann. 30 pag. 638. 1887.

³⁾ THOMSON, Phil. Mag. (4) 24, pag. 149. 1862.

Weise verändert, dass die Widerstände des Uebergangs wenig Einfluss haben. Vollständig wird dies durch eine Methode von MATHIESSEN und HOCKIN¹⁾ erreicht.

Die beiden kurzen, dicken Drähte, die auf ihren Widerstand verglichen werden sollen, werden hintereinander verbunden und bilden die Seiten 1 und 2 eines WHEATSTONE'schen Drahtvierecks. Die Seiten 3 und 4 bildet ein ausgespannter Draht. Man schaltet nun eine Brücke zwischen je einem Punkte der zu vergleichenden Drähte und einem Punkt des Normaldrahts ein. Fließt durch die Brücke kein Strom, so ist ihr Potential dasselbe. Zu einem zweiten Punkte des dicken Drahtes sucht man ebenso denjenigen auf dem Normaldraht, welcher mit ihm gleiches Potential hat. Dasselbe macht man für zwei gleich weit abstehende Punkte des Vergleichsdrahts. Das Verhältniss der so gefundenen Längen auf dem Normaldraht ist gleich dem Verhältniss der Widerstände gleich langer Stücke der zu vergleichenden Drähte.

6) Vergleichung grosser Widerstände.

Die Widerstände sehr schlechter, fester Leiter kann man dadurch bestimmen, dass man durch sie einen Strom schickt, dessen Stärke man an einem Galvanometer misst und ausserdem an zwei Punkten derselben die Potentialdifferenz am Elektrometer misst. Die letztere durch die Stromstärke dividirt, giebt den gesuchten Widerstand. Ist der Widerstand so gross, dass man keinen messbaren Ausschlag am Galvanometer bekommt (bei der angewendeten Batterie), so lässt man durch diesen Strom eine gemessene Zeit hindurch einen Condensator laden und entladet diesen durch ein empfindliches Galvanometer. Dessen Ausschlag ist der Elektrizitätsmenge proportional, die in dieser Zeit auf den Condensator übergegangen ist. Durch Division mit der Zeit findet man die Stromstärke in dem Leiter und wenn man die angewendete elektromotorische Kraft kennt, so findet man dadurch den Widerstand des Leiters²⁾.

Man kann auch den Widerstand sehr schlechter Leiter rein elektrometrisch bestimmen. Hat man nämlich einen Condensator von der Capacität C geladen und entladet man ihn durch den schlechten Leiter vom Widerstand R , indem man an einem Elektrometer den zeitlichen Abfall der Potentialdifferenz der Condensatorbelegungen misst, so ergibt sich der Widerstand³⁾ aus 2 Elektrometerablesungen E_1 und E_2 zu den Zeiten t_1 und t_2 , als

$$R = \frac{t_2 - t_1}{S \log \frac{E_1}{E_2}}.$$

Diese Methode rührt von SIEMENS her⁴⁾.

7) Vergleichung von Widerständen durch die Dämpfung eine Magnetrnadel⁵⁾.

Man lässt eine Galvanometernadel schwingen, und beobachtet ihr logarithmisches Dekrement.

- 1) Wenn der Multiplikator ganz offen ist — das Dekrement sei λ' .
- 2) Wenn der Multiplikator vom Widerstand w_0 in sich geschlossen ist, das Dekrement sei λ_0 .

¹⁾ s. MAXWELL, Electr. I, pag. 506 (deutsche Ausgabe).

²⁾ Methode von BRIGHT und CLARK, s. MAXWELL I, pag. 509. (Deutsche Ausgabe.)

³⁾ MAXWELL I, pag. 510 (deutsche Ausgabe).

⁴⁾ Andere Methoden s. FUCHS, POGG. Ann. 156, pag. 162. 1873; LIPPMANN, C. R. 83, pag. 192. 1876.

⁵⁾ F. KOLHRAUSCH, POGG. Ann. 142, pag. 218. 1871.

- 3) Wenn der Multiplikator durch den Widerstand w geschlossen ist — Dekrement λ_1 .
 4) Wenn der Multiplikator durch den Widerstand x geschlossen ist — Dekrement λ .

Dann ist, wenn C eine Constante bedeutet

$$\frac{1}{w_0} = C(\lambda_0 - \lambda'), \quad \frac{1}{w_0 + w_1} = C(\lambda_1 - \lambda'), \quad \frac{1}{w_0 + x} = C(\lambda - \lambda'),$$

daraus folgt

$$\frac{x}{w} = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 - \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda'}{\lambda - \lambda'}.$$

Die Methode ist nur für kleine Widerstände anwendbar. Wenn die Dekremente gross sind, so muss man statt λ einsetzen

$$\lambda - \frac{\lambda^3}{4}.$$

- 8) Vergleichung von Widerständen durch die Inductionswege¹⁾.

Die von HUGHES erfundene Inductionswege kann unter bestimmten Bedingungen zur Vergleichung von Leitungsfähigkeiten benutzt werden. Dazu ist nach OBERBECK nöthig, dass ein Wechselstrom durch zwei Rollen A und B und durch eine dritte C hintereinander gesendet wird. C dient nur dazu, um in die festen Rollen eines Elektrodynamometers Wechselströme zu senden. Der Rolle A steht eine andere A' , der Rolle B eine andere B' gegenüber; A' und B' werden inducirt, ihre Ströme werden gegeneinander geschaltet und in die bewegliche Rolle des Elektrodynamometers gesendet. Nachdem die Stellung der Rollen so abgeglichen ist, dass die bewegliche Rolle stromlos ist, wird zwischen A und A' das zu untersuchende Metall in Form einer Scheibe gebracht. Die in diesem erzeugten Inductionsströme stören das Gleichgewicht und werden dadurch compensirt, dass zwischen B und B' ebenfalls Metallscheiben von verschiedener Dicke eingesetzt werden, deren Inductionswirkung schon früher gemessen ist. So kann man die Leitungsfähigkeit des zu untersuchenden Metalls durch Einschliessen bestimmen, in derselben Weise, wie man bei einer Wägung das Gewicht in immer engen Grenzen einschliesst.

II. Messung des Widerstandes von Elektrolyten.

Da beim Durchgang eines Stromes durch einen Elektrolyten Polarisation und damit eine elektromotorische Gegenkraft entsteht, so lassen sich die Widerstände solcher zersetzbarer Leiter nicht in derselben Weise mit einem Strom von constanter Richtung messen, wie die metallischen Leiter. Durch Kunstgriffe verschiedener Art muss man also entweder die Polarisation aufheben oder aus dem Resultat der Messungen eliminiren. Man hat dazu folgende Methoden.

1. Messungen mit gleichgerichtetem Strom.

Man bringt die Flüssigkeit in eine calibrirte Röhre, die grade oder U-förmig gebogen ist und an deren beiden Enden die Elektroden sich befinden. Die eine Elektrode ist fest, die andere beweglich. Man kann auch zwei messbar zu verschiebende Elektrodenplatten in ein Gefäss mit der Flüssigkeit eintauchen²⁾.

Dann kann man zunächst nach der Substitutionsmethode in folgender Weise messen. Man sendet einen Strom von so hoher elektromotorischer Kraft,

¹⁾ OBERBECK und BERGMANN, WIED. ANN. 31, pag. 792. 1887; OBERBECK, WIED. ANN. 31, pag. 812. 1887; HUGHES, Phil. Mag. (5) 8, pag. 50. 1879; LODGE, Phil. Mag. (5) 9, pag. 123. 1880; RAYLEIGH, Rep. Brit. Assoc. 1880, pag. 472.

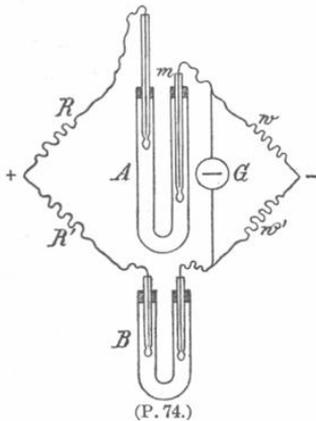
²⁾ BECQUEREL, Ann. chim. et phys. (3) 17, pag. 267. 1846.

dass das Maximum der Polarisation erzeugt wird, durch die Flüssigkeit, einen Rheostaten und ein Galvanometer und bestimmt den Ausschlag. Dann verschiebt man die bewegliche Elektrode um ein beliebiges Stück l und schaltet dafür so viel Rheostatenwiderstand ein, bis der Galvanometerausschlag der gleiche ist. Es sei p das Maximum der Polarisation, W der gesammte Flüssigkeitswiderstand, w der des ausgeschalteten Stückes, ρ der Rheostatenwiderstand, der dafür eingeschaltet wird und w' die sonstigen Widerstände, so ist

$$i = \frac{E - p}{w' + W} = \frac{E - p}{w' + W - w + \rho},$$

woraus $w = \rho$ folgt.

Zweitens kann man die Methode des Differentialgalvanometers anwenden, indem man in beide Zweige eine Flüssigkeitssäule einschaltet und in dem einen Zweig allein deren Länge verändert.



Drittens kann man in derselben Weise die WHEATSTONE'sche Brücke anwenden¹⁾ (Fig. 74), indem man in zwei Zweige Rheostaten R und R' und solche Flüssigkeitsröhren A und B bringt, von denen die eine verschiebbare Elektroden hat.

2) Methode von PAALZOW. Da Zinkelektroden in Zinkvitriollösung keine Polarisation erfahren, so taucht PAALZOW solche Elektroden in Zinkvitriollösung und stellt in diese Lösung Thonzellen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, die durch Heber von verschiedener Länge verbunden werden²⁾.

3) Messungen mit Wechselströmen.

Durch Anwendung rasch wechselnder Ströme wird die Polarisation an den Elektroden aufgehoben. Die Methode der Wechselströme ist von F. KOHLRAUSCH und GROTRIAN³⁾ ausgebildet und immer weiter vereinfacht worden. Es wird dabei stets die WHEATSTONE'sche Brücke angewendet. Als Erzeuger der Wechselströme wurde zuerst ein Sinusinduktor verwendet, welcher reine Sinusschwingungen giebt. Jetzt wendet man einen gewöhnlichen Inductionsapparat mit NEES'schen Hammer an. Die Vergleichswiderstände müssen bifilar gewickelt sein. In die Brücke schaltet man ein Elektrodynamometer oder ein Telephon ein. Wenn letzteres keinen Ton oder ein Tonminimum giebt, ist die richtige Abgleichung der Widerstände hergestellt. Bei der Anwendung des Elektrodynamometers würde man zu geringe Empfindlichkeit haben, wenn man sowohl die festen wie die bewegliche Rolle in die Brücke einschalten würde, weil die Ablenkung dem Quadrat des Brückenstroms proportional ist; ausserdem kann man dabei den Strom nicht commutiren, da die Richtung des Stromes keinen Unterschied macht, wenn er in beiden Rollen commutirt wird. Diese Uebelstände vermeidet man vollständig, indem man die festen Rollen des Elektrodynamometers in den unverzweigten Hauptstrom (Stromstärke I) und nur die bewegliche Rolle in die Brücke mit einem Commutator (Stromstärke $\pm i$) einschaltet. Die Ablenkung der Rolle ist dann proportional

¹⁾ TOLLINGER, WIED. ANN. I, pag. 511. 1877.

²⁾ PAALZOW, POGG. ANN. 136, pag. 489. 1869.

³⁾ F. KOHLRAUSCH und GROTRIAN, POGG. ANN. 154, pag. 3. 1875; F. KOHLRAUSCH, WIED. ANN. 6, pag. 36. 1879; II, pag. 653. 1880.

$$\pm Ii$$

und verschwindet für $i = 0$ ¹).

4) Elektrostatische Methode.

Man schickt den Strom von einer Säule durch die in einem Rohr mit eingeschmolzenen Seitenelektroden befindliche Flüssigkeit und durch einen Rheostaten zur Erde. Man bestimmt mit dem Elektrometer die Potentialdifferenz an zwei Querschnitten der Flüssigkeit und sucht diejenige Rheostatenlänge, welche die gleiche Potentialdifferenz ergibt. Die dazwischen liegenden Widerstände sind dann gleich²).

III. Messung des inneren Widerstandes von Elementen.

1) Methode der Wechselströme.

Am raschesten und einfachsten misst man den inneren Widerstand von Elementen nach der unter II 3 angegebenen Methode der Wechselströme in der WHEATSTONE'Schen Brücke³).

Von früheren Methoden, die jetzt nur noch selten bei wissenschaftlichen Bestimmungen angewendet werden, seien nur folgende erwähnt:

2) Methode von OHM.

Element (elektromotorische Kraft E , Widerstand w_i), Galvanometer (Widerstand w_g) und Rheostat (Widerstand r) werden hintereinandergeschaltet und der Galvanometerausschlag α_1 beobachtet. Dann wird mehr Widerstand aus dem Rheostaten ($r + \rho$) in den Kreis eingeschaltet und der neue Nadelausschlag α_2 beobachtet, der am besten $= \frac{\alpha_1}{2}$ gemacht wird. Dann ist, wenn C eine Constante bedeutet:

$$\alpha_1 = \frac{CE}{w_i + w_g + r} \quad \alpha_2 = \frac{CE}{w_i + w_g + r + \rho},$$

woraus

$$w_i(\alpha_1 - \alpha_2) = (w_g + r)(\alpha_2 - \alpha_1) + \rho\alpha_2,$$

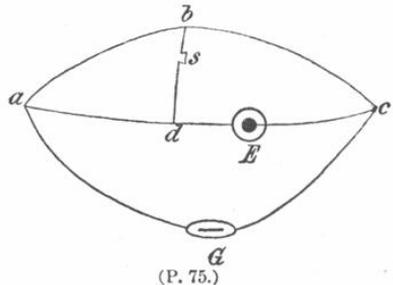
also

$$w_i = \frac{\rho - (w_g + r) \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1 \right)}{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1}.$$

Die elektromotorische Kraft muss möglichst constant sein.

3) Methode von MANCE⁴) (Fig. 75).

Man macht die WHEATSTONE'Sche Drahtcombination, schaltet aber das zu untersuchende Element in eine der Seiten des Drahtvierecks ein (dc in der Figur). In die eine Diagonale kommt das Galvanometer G , in die andere der Schlüssel S . Man verändert den Kontaktpunkt b so lange, bis das Galvanometer den-



¹) S. auch PÜRTHNER, WIED. Ann. 35, pag. 558. 1888.

²) LIPPIMANN, C. R. 83, pag. 19. 1876; FUCHS, POGG. Ann. 156, pag. 156. 1875; AYRTON u. PERRY, Phil. Mag. (5) 16, pag. 132. 1883; KNOTT, Proc. Roy Soc. Edinb 1882/83, pag. 178; KOLACZEK, Wien. Ber. 89 (2), pag. 873. 1884.

³) LESS, WIED. Ann. 15, pag. 80. 1882.

⁴) MANCE, Proc. Roy. Soc. 1871; Abänderungen s. LODGE, Phil. Mag. (5) 3, pag. 515. 1877; GUGLIELMO, Atti di Torino 16. 1881; 20, pag. 279. 1885; SOLOTAREFF, Beibl. 9, pag. 343. 1883.

selben Ausschlag giebt, ob nun der Schlüssel niedergedrückt ist oder nicht, dann verhalten sich die Widerstände von

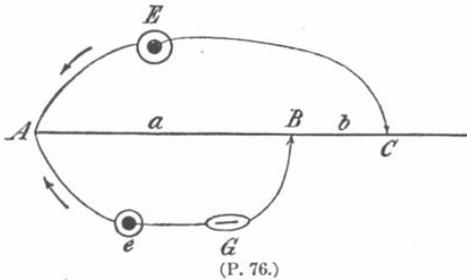
$$dc : bc = ad : ab.$$

Denn in dem Brückenweige kann dann kein Strom fließen, mithin muss das Potential in b gleich dem in d sein, also auch der Spannungsverlust auf ab gleich dem auf ad und der Spannungsverlust auf bc gleich dem auf dc . Da nun, wenn die Brücke stromlos ist, im ganzen Zweige abc dieselbe Stromstärke i_1 , und im ganzen Zweige adc dieselbe Stromstärke i_2 herrschen muss, so ist

$$\begin{aligned} i_1 ab &= i_2 ad \\ i_1 bc &= i_2 dc \\ \frac{ab}{bc} &= \frac{ad}{dc} \end{aligned}$$

Es wird hierbei der Widerstand der geschlossenen Säule bestimmt.

4) Die Compensationsmethode¹⁾ (Fig. 76).



Es sei E die zu untersuchende Säule vom Widerstand W (mit den Verbindungsdrähten nach A und b). Ab ist ein ausgespannter Platindraht, e eine Hilfssäule von kleinerer elektromotorischer Kraft, von der der gleichnamige Pol mit A verbunden wird, wie von der Säule E . G ist ein Galvanometer, bei a und b sind verschiebbare Kontakte. Man stellt erst a fest und

verschiebt b so lange, bis in G kein Strom fließt. Dann giebt man dem ersten Contact eine andere Länge a' und verschiebt b wieder bis b' , bis G keinen Strom enthält. Dann ist

$$W = \frac{a'b - ab'}{a - a'}.$$

Denn wenn in G kein Strom fließt, ist die Stromstärke im Kreise $AEBa$ überall dieselbe i . Also ist

$$E = (W + a + b) i.$$

Andererseits ist $e = a i$, also

$$\frac{E}{e} = \frac{W + a + b}{a} = \frac{W + a' + b'}{a'},$$

woraus einerseits W , wie oben sich ergibt, andererseits auch $\frac{E}{e}$ gemessen werden kann.

Abänderungen dieser Methode s. in dem Abschnitt »Vergleichung elektromotorischer Kräfte«²⁾. GRAETZ.

¹⁾ v. WALTENHOFEN, POGG. Ann. 134, pag. 218. 1658; BERTZ, POGG. Ann. 142, pag. 573. 1871; KOHLRAUSCH, Leitfaden d. prakt. Physik, 3. Aufl., pag. 173; (6. Aufl., pag. 247); BERTZ, WIED. Ann. 3, pag. 1. 1878.

²⁾ Ueber andere Methoden s. d. Zusammenstellung in WIEDMANN El. I, pag. 480 ff; und FUCHS, WIED. Ann. 21, pag. 274. 1884.