

oder Verhältnisse der Widerstand sich in so weiten Grenzen bewegen kann.

Was man unter Widerstand überhaupt zu verstehen hat, ist eingehend erklärt worden. Es erübrigt sich, nun noch festzustellen, durch welche Umstände ein gegebener Widerstand verändert wird.

Um uns durch eigene Anschauung von den bestehenden Tatsachen zu überzeugen, nehmen wir wieder unsere Hilfsmittel zur Hand und stellen einige Versuche an. In den Stromkreis eines konstanten galvanischen Elementes, wie wir solche kennen gelernt haben, schalten wir unsere Tangentenbussole ein. Wir wissen auf Grund unserer Berechnungen, dass der Strom stärker wird, wenn der Widerstand geringer ist, wir wissen aber auch, dass bei grösserer Stromstärke die Magnetnadel der Tangentenbussole einen grösseren Ausschlag zeigt, und diese Erscheinung wollen wir nun praktisch nutzbar machen.

Wir schalten in den Stromkreis des gedachten Elementes und der Tangentenbussole ein Stück Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt (nicht Durchmesser) und notieren den Ausschlag der Magnetnadel. Nun vertauschen wir den Draht von 1 m mit einem solchen von 20 m und gleichfalls 1 qmm Querschnitt und beobachten den Ausschlag der Nadel. Es zeigt sich, dass die Nadel einen viel geringeren Ausschlag macht; wir schliessen also daraus, dass die Stromstärke geringer ist, als wie vorhin, und dass diese geringere Stromstärke nur von dem höheren Widerstand des stromleitenden Drahtes bedingt wird. Würden wir anstatt 20 m 40 m desselben Drahtes einschalten, so zeigt die Tangentenbussole abermals eine Verringerung der Stromstärke.

Wir können demnach die Regel aufstellen: „dass der Widerstand eines Leiters mit der zunehmenden Länge desselben grösser wird.“

Haben wir uns den Ausschlag der Nadel notiert, der bei Einschaltung eines 20 m langen Kupferdrahtes zu beobachten war, so wiederholen wir den Versuch noch einmal und schalten jetzt einen Kupferdraht von 20 m Länge und 2 qmm Querschnitt in den Stromkreis. Die Nadel schlägt weiter aus und zeigt uns eine doppelte Stromstärke an, wie vorhin. Auch 40 m Kupferdraht von 2 qmm Querschnitt ergeben die doppelte Stromstärke, als 40 m mit halbem Querschnitt. Wir sehen also, dass nicht nur die Länge des Drahtes allein massgebend ist für den jeweiligen Widerstand desselben, sondern auch der Querschnitt oder Quadratinhalt des Leiters eine ebenso grosse Rolle spielt. Da ein Kupferdraht von bestimmter Länge und doppeltem Querschnitt auch einen doppelt so starken Strom hindurchlässt, so müssen wir auf Grund unserer Rechnungen auch annehmen, dass sein Widerstand einhalbmal so gering ist, als bei einem Draht von 1 qmm Querschnitt. Wir könnten somit den zweiten Satz aufstellen und sagen: „mit zunehmendem Querschnitt nimmt der Widerstand eines Leiters ab.“

Mit diesen Versuchen sind wir aber noch nicht über alles aufgeklärt, denn als Leitungsdrähte erscheinen uns auch andere Metalle geeignet, z. B. Eisen- oder Stahldrähte.

Auch mit diesem Material wollen wir Versuche anstellen, und zwar wieder genau dieselbe Drahtstärke und -Länge wählen wie beim Kupfer.

Nehmen wir zunächst einen Eisendraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Der Ausschlag der Magnetnadel sagt uns, dass die durch diesen Draht fliessende Stromstärke fast fünf- bis sechsmal geringer ist, als die vom Kupferdraht in gleichen Abmessungen durchgelassene. 20 und 40 m langer Eisendraht hat ebenfalls eine 20 und 40fache Abnahme der Stromstärke zur Folge. Auch die Einschaltung eines Eisendrahtes von 2 qmm Querschnitt zeigt, dass der Widerstand der jeweiligen Längen halb so gross ist, als bei 1 qmm derselben Länge; aber immer ist der Widerstand des Eisendrahtes fünf- bis sechsmal grösser, als der des Kupferdrahtes. Würden wir die Versuche auch auf andere Metalle ausdehnen, so hätten wir stets dasselbe Ergebnis zu verzeichnen; nur würde jedes Material bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt einen dem jeweiligen Widerstand oder, was das dasselbe ausdrückt, ein eigenes Leistungsvermögen zeigen.

Dieses verschiedenartige Verhalten der Körper zueinander in bezug auf Leitungsfähigkeit oder Widerstand bezeichnet man mit „spezifischem Widerstand“.

Man hat nun die verschiedensten, als Leiter der Elektrizität in Betracht kommenden Metalle usw. geprüft und auf Grund genauer Messungen festgestellt, dass ein 1 m langer und 1 qmm starker Kupferdraht einen Widerstand von 0,0175 Ohm besitzt.

Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Kupfer in einer entsprechenden Reinheit zur Verwendung kommt; Beimengungen von anderen Metallen, sowie der jeweilige Härtegrad beeinflussen auch den Widerstand. Auch die Erwärmung des Drahtes ist geeignet, den Widerstand zu verändern. So würde z. B. eine Erwärmung von 10 Grad den Widerstand auf etwa 0,0180 bis 0,0181 erhöhen. Da jedoch in der elektrischen Uhrmacherei die zur Anwendung kommenden Ströme nur von kurzer Dauer sind, so kann dieser Faktor ausser acht gelassen werden.

Nachdem wir nun den spezifischen Widerstand des Kupfers wissen, ist es nicht allzu schwer, aus einer bestimmten Länge und Querschnitt eines Kupferdrahtes den Widerstand durch Berechnung zu finden.

Unsere Versuche haben uns gezeigt, dass der Widerstand eines Drahtes sich verdoppelt, wenn bei gleichem Querschnitt die Länge verdoppelt wird. Hat ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt einen Widerstand von 0,0175 Ohm, so haben 2 m von gleichem Querschnitt  $2 \times 0,0175 = 0,0350$  Ohm, 10 m  $10 \times 0,0175 = 0,175$  Ohm und 100 m  $100 \times 0,0175 = 1,75$  Ohm usw. Wir können dieses Verhältnis nun dadurch ausdrücken, indem wir sagen: „Der Widerstand eines Drahtes ist der Länge desselben direkt proportional.“

Der Widerstand ist aber auch abhängig vom Querschnitt. Hat ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt einen Widerstand von 0,0175 Ohm, so hat dieselbe Drahtlänge mit einem Querschnitt von 2 qmm den halben Widerstand, also  $0,0175 : 2 = 0,00875$  Ohm, 1 m Länge und 10 qmm Querschnitt  $0,0175 : 10 = 0,00175$  Ohm usw.

In diesem Falle sind also beide Verhältnisse umgekehrt proportional.

Wollen wir also den Widerstand eines Kupferdrahtes berechnen, so müssen wir den spezifischen Widerstand mit der Länge (in Metern) malnehmen und diese Summe durch den Querschnitt (in Quadratmillimetern) teilen:

$$\frac{\text{Spezifischer Widerstand} \times \text{Länge in Metern}}{\text{Querschnitt in Quadratmillimetern}}$$

Diesen Rechenansatz können wir in einer Formel ausdrücken, wenn wir für jede Grösse ein bestimmtes Zeichen wählen, z. B.

$$W = \text{Leitungswiderstand (der errechnet werden soll)},$$

$$s = \text{spezifischer Widerstand,}$$

$$l = \text{Länge,}$$

$$q = \text{Querschnitt,}$$

$$\text{Demnach ist } W = \frac{s \cdot l}{q} \text{ Ohm.}$$

Beispiel: Ein Kupferdraht von 10 m Länge und 1 qmm Querschnitt hat wieviel Ohm?

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 10}{1} = \frac{0,175}{1} = 0,175 \text{ Ohm.}$$

Ferner 10 m Länge und 0,5 qmm Querschnitt:

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 10}{0,5} = \frac{0,175}{0,5} = 0,35 \text{ Ohm.}$$

Ein Kupferdraht von 1000 m Länge und 2 qmm Querschnitt würde einen Widerstand von wieviel Ohm haben?

$$W = \frac{s \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 1000}{2} = \frac{17,5}{2} = 8,75 \text{ Ohm.}$$

Bei diesen Rechnungen ist die Drahtstärke stets in Quadratmillimeter ausgedrückt. Da wir jedoch in der Praxis keine vierkantigen Leitungsdrähte haben, sondern runde, so muss aus dem Durchmesser des runden Drahtes erst der Querschnitt ermittelt werden. Der Inhalt eines Kreises wird bekanntlich nach der Formel  $r \cdot r \cdot \pi$  berechnet.  $r$  bedeutet den Radius, also den Halbmesser des Kreises, während  $\pi$  oder pi die Ludolfsche Verhältniszahl