

## E1 Elektrische Meßinstrumente

Stoffgebiet: Elektrische Grundgrößen, Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Gesetze, Wheatstonesche Brücke

Versuchsziel: Benützung elektrischer Messinstrumente (Amperemeter, Voltmeter, Ohmmeter), Messung von elektrischen Widerständen, Aufbau einfacher elektrischer Schaltungen, Kennenlernen der Beeinflussung einer Messgröße durch die Messung, Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze

Literatur: Lehrbücher der Physik, z.B.  
Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure  
Dobrinski, Krakau, Vogel: Physik für Ingenieure  
Lindner: Physik für Ingenieure

### 1. Grundlagen

#### 1.1 Der elektrische Strom

Den Quotienten aus der Ladung  $dQ$ , die in der Zeit  $dt$  durch den Querschnitt eines Leiters fließt, und der Zeit  $dt$  nennt man Stromstärke  $I$

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Die Einheit der Basisgröße Strom ist das Ampere:

$$[I] = A = \frac{C}{s}$$

Ein elektrischer Strom entsteht durch das Anlegen einer elektrischen Spannung. Das zugehörige elektrische Feld übt eine Kraftwirkung auf geladene Teilchen aus und führt zu deren Bewegung.

## 1.2 Ohmsches Gesetz

Legt man an verschiedene elektrische Leiter (Metalle) die gleiche Spannung an, dann fließen verschiedene Ströme. Man sagt, die Metalle haben einen verschiedenen elektrischen Widerstand. Bei konstanter Temperatur ist für einen bestimmten Leiter  $I$  proportional  $U$ . Den Quotienten aus Spannung  $U$  und Strom  $I$  nennt man elektrischen Widerstand:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{bei } T = \text{const.} \quad [R] = \frac{V}{A} = \Omega$$

In der Elektrotechnik nennt man nicht nur die Größe  $\frac{U}{I}$  Widerstand, sondern auch den widerstandsbehafteten Leiter selbst.

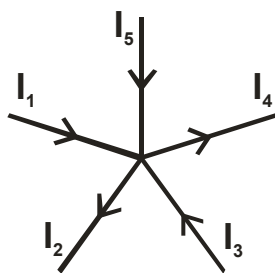
Der elektrische Widerstand eines Leiters der Länge  $l$  mit dem Querschnitt  $A$  ist

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Der spezifische Widerstand  $\rho$  ist vom Material und der Temperatur abhängig.

## 1.3 Kirchhoffsche Gesetze

### Erstes Kirchhoffsches Gesetz (Knotenregel):

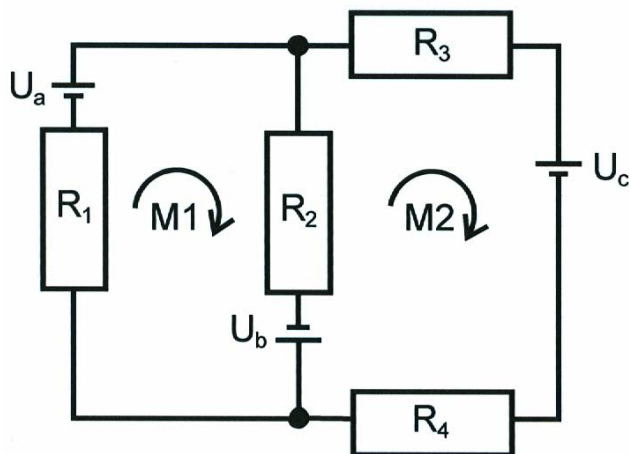


In einem Knotenpunkt ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme.  
Begründung: Ladungen werden nicht neu erzeugt, gehen nicht verloren und werden nirgends gestaut.

$$\sum I_{\text{zu}} = \sum I_{\text{ab}}$$

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

Zweites Kirchhoffsches Gesetz (Maschenregel):



In jedem geschlossenen Teilkreis eines Netzwerkes ist die Summe der Spannungsabfälle an den Widerständen gleich der Summe der Klemmenspannungen aller vorhandenen Spannungsquellen.  
Begründung: Energiesatz  
Wichtig ist hierbei die Beachtung des Vorzeichens und eine einheitliche Umlaufrichtung in der Masche.

Masche 1:

$$R_1 \cdot I_1 - U_a + R_2 \cdot I_2 - U_b = 0$$

$$U_1 + U_2 = U_a + U_b$$

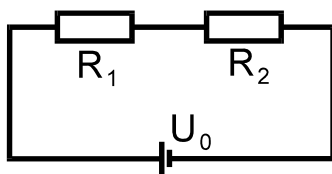
Masche 2:

$$U_b - R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 + U_c - R_4 \cdot I_4 = 0$$

$$U_b + U_c = U_2 + U_3 + U_4$$

1.4 Schaltung von Widerständen

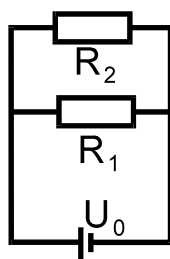
Serienschaltung (oder Reihenschaltung)



$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$$

Die Einzelwiderstände addieren sich zum Gesamtwiderstand.

Parallelschaltung:



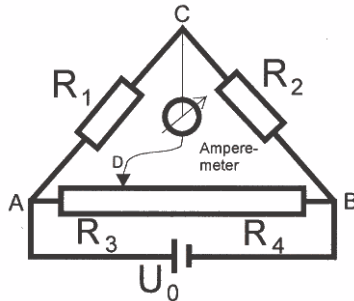
$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Die Kehrwerte der Einzelwiderstände addieren sich zum Kehrwert des Gesamtwiderstandes.

## 1.5 Wheatstonesche Brücke

Eine Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze ist die Wheatstonesche Brücke zur Bestimmung von elektrischen Widerständen.

Prinzip:



Zur Bestimmung des Widerstandes  $R_1$  wird der Kontakt auf dem Messdraht **AB** solange verschoben, bis das empfindliche Amperemeter keinen Strom mehr anzeigt. Dann gilt die Beziehung

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Als  $R_2$  wird ein genau bekannter Präzisionswiderstand benutzt und das Verhältnis

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$  ergibt sich bei einem homogenen Draht mit konstantem Querschnitt

unmittelbar aus dem Längenverhältnis  $\frac{A - D}{D - B}$ .

## 1.6 Arbeiten mit Messinstrumenten

- Messgeräte auf richtige Spannung einstellen (Gleich- oder Wechselspannung)
- Strom- bzw. Spannungspfad an richtige Buchse anschließen
- Vorsichtshalber größten Messbereich (Strom, Spannung, usw.) einschalten. Übergang auf kleineren Messbereich darf nur erfolgen, wenn die Ablesung einwandfrei zeigt, dass der Messwert unter dem Höchstwert des kleineren Messbereichs liegt.
- Ablesung auf richtiger Skala (Gleich- oder Wechselspannung) sorgfältig durchführen (Parallaxenfehler vermeiden).
- Beachtung der Symbole auf den Messinstrumenten

Wichtige Symbole:



Gleichstrom



Wechselstrom

## 2. Versuchsdurchführung

### 2.1 Versuchsaufbau

Nach dem Ohmschen Gesetz  $R = \frac{U}{I}$  lässt sich der ohmsche Widerstand

bestimmen, indem man die Spannung  $U$ , die an einem Widerstand anliegt, sowie den Strom  $I$ , der durch den Widerstand fließt, misst.

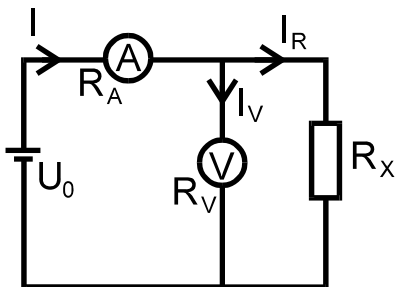
Es gibt dazu prinzipiell zwei verschiedene Möglichkeiten:

2.1.1 Bestimmung der Widerstände  $R_x$ ;  $R_1$ ;  $R_2$  nach der Farbcodetabelle und durch Verwendung des Milliohmmeters.

Bestimmung der Innenwiderstände  $R_A$  und  $R_V$  für den richtig gewählten Messbereich, ebenfalls mit dem Milliohmmeter.

### 2.2 Stromfehlerschaltung

Schaltung 1:



$R_x$  = unbekannter Widerstand

$R_A$  und  $R_V$  = Innenwiderstände der benutzten Messinstrumente

Das Amperemeter misst nicht nur den Strom  $I_R$ , der durch den Widerstand fließt, sondern den Gesamtstrom.

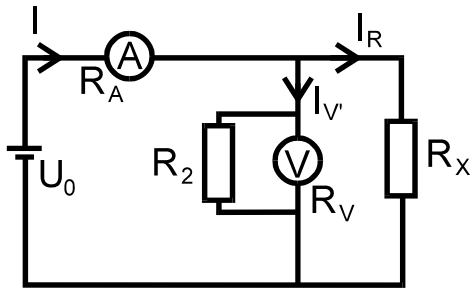
$$I = I_R + I_V \quad R = \frac{U}{I} \rightarrow R_x = \frac{R \cdot R_V}{R_V - R}$$

Beachte: Während der gesamten Messung darf der Messbereich nicht verändert werden, da die Messungen sonst nicht vergleichbar sind. Warum ?

2.2.1 Aufbau der **Schaltung 1** und Messung von  $U$  und  $I$  bei **10** verschiedenen Urspannungen  $U_0$  (bis maximal 10 V).

(Zweckmäßigerweise stellt man  $U_0$  so ein, dass man für  $U$  einen glatten Zahlenwert bekommt, z.B.  $U = 1V, 2V, \dots$ )

## 2.2.2



Schaltung 1a

Bei **Schaltung 1** wird der Innenwiderstand des Voltmeters durch Parallelschalten eines zusätzlichen Widerstandes  $R_2$  auf  $R_{V'}$  verkleinert (**Schaltung 1a**). Was bedeutet das für den gemessenen Strom ?

Es gilt dann:

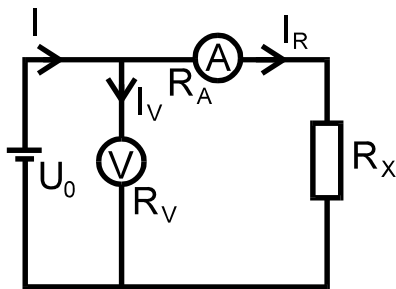
$$\frac{1}{R_{V'}} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_2}$$

Der berechnete Wert von  $R_{V'}$  wird mit dem Milliohmometer nachgemessen.

Dann werden die gleichen Messungen wie bei 2.2.1 ausgeführt.

## 2.3 Spannungsfehlerschaltung

### Schaltung 2:



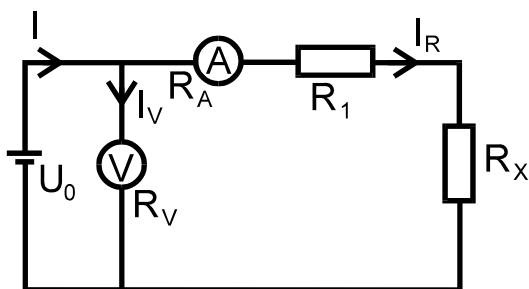
Das Voltmeter misst nicht nur die Spannung  $U_R$ , die am Widerstand  $R_X$  liegt, sondern auch den Spannungsabfall  $U_A$  am Amperemeter:

$$U = U_A + U_R$$

$$R = \frac{U}{I} \rightarrow R_X = R - R_A$$

2.3.1 Aufbau der **Schaltung 2** und Messung von  $U$  und  $I$  bei **10** verschiedenen Urspannungen  $U_0$  (bis maximal 10 V).

### 2.3.2



Schaltung 2a

Bei **Schaltung 2** wird der Innenwiderstand des Amperemeters durch die Reihenschaltung eines zusätzlichen Widerstandes  $R_1$  auf  $R_{A'}$  vergrößert (**Schaltung 2a**). Was bedeutet das für den Spannungsabfall ?

Es gilt dann:

$$R_{A'} = R_A + R_1$$

Der berechnete Wert von  $R_{A'}$  kann mit dem Milliohmometer nachgemessen werden.

Dann werden die gleichen Messungen wie unter 2.3.1 ausgeführt.

Die Versuchsergebnisse der Messungen 2.2.1 bis 2.3.2 sind in Tabellen übersichtlich darzustellen.

## 2.4 Versuchsauswertung

2.4.1 Tragen Sie für die **Schaltung 1, 1a, 2 und 2a** die Werte **U als Funktion von I** in einem Diagramm mit Hilfe der Computeranwendung auf.

2.4.2 Entnehmen Sie für die **Schaltung 1 und 1a** mit Hilfe der linearen Regression den Mittelwert von **R** und dessen mittleren Fehler **ΔR**.

2.4.3 Berechnen Sie hieraus den Mittelwert von **R<sub>x</sub>** und dessen mittleren Fehler. (Hinweis: Für die Berechnung des Fehlers von **R<sub>x</sub>** kann näherungsweise **R<sub>v</sub>** bzw. **R<sub>v</sub>** als fehlerfrei betrachtet werden).

$$\text{Formel für } \Delta R_x = \frac{R_v^2}{(R_v - R)^2} \cdot \Delta R \quad \text{bei Schaltung 1}$$

2.4.4 Berechnen Sie für die **Schaltung 2 und 2a** mit Hilfe der linearen Regression den Mittelwert von **R** und dessen mittleren Fehler.

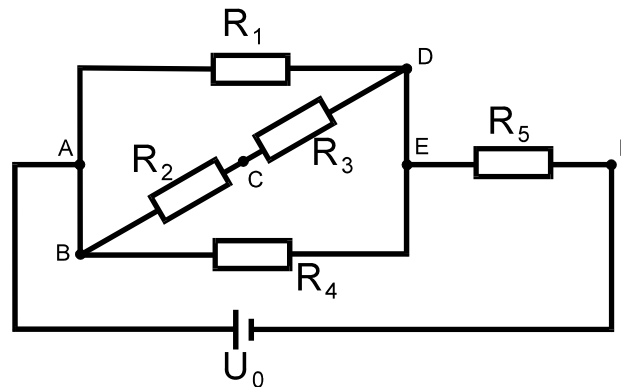
2.4.5 Berechnen Sie hieraus den Mittelwert von **R<sub>x</sub>** und dessen mittleren Fehler. (Hinweis: Für die Berechnung des Fehlers von **R<sub>x</sub>** kann näherungsweise **R<sub>A</sub>** bzw. **R<sub>A</sub>** als fehlerfrei betrachtet werden).

2.4.6 Vergleichen Sie die verschiedenen Werte **R<sub>x</sub>**, die Sie aus den verschiedenen Messverfahren bekommen haben. Diskutieren Sie die Unterschiede und versuchen Sie diese zu erklären.

## 2.5 Kirchhoffsche Gesetze

2.5.1 Messen Sie unter Verwendung des Milliohmmeters die Einzelwiderstände  $R_1$  bis  $R_5$  und berechnen Sie daraus den Gesamtwiderstand zwischen den Punkten **A** und **F**.

2.5.2 Bauen Sie die Widerstände  $R_1$  bis  $R_5$  zur folgenden Schaltung zusammen:



2.5.3 Kontrollieren Sie die Rechnung aus 2.5.1, indem Sie den Widerstand zwischen den Punkten **A** und **F** unmittelbar mit dem Milliohmmeter messen.

2.5.4 Berechnen Sie den Spannungsabfall zwischen den Punkten **B** und **C** bzw. zwischen den Punkten **C** und **D** wenn zwischen den Punkten **A** und **F** eine Spannung  $U_0 = 10V$  angelegt wird. Prüfen Sie diese Rechnung nach, indem Sie mit einem Voltmeter diese Spannungsabfälle unmittelbar messen.

2.5.5 Messen Sie die Ströme in den Zweigen von  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$ . Welche Beziehung gilt zum Strom durch  $R_5$ ? Messen Sie nach.



### 3. Fragen zum Stoffgebiet

- 3.1 Welche Gesetze für unverzweigte und verzweigte Stromkreise kennen Sie ?  
Kurze Ableitung !
- 3.2 Wie funktioniert die Wheatstonesche Brücke ? Leiten Sie die Formel her,  
nach welcher der unbekannte Widerstand bestimmt wird.
- 3.3 Stellen Sie für die **Schaltung 1** eine Korrekturformel auf, nach der der wahre  
Wert von  $R_x$  berechnet werden kann.
- 3.4 Stellen Sie für die **Schaltung 2** eine Korrekturformel auf, nach der der wahre  
Wert von  $R_x$  berechnet werden kann.
- 3.5 Welche Schaltung ist bei großen Widerständen  $R_x$  und welche bei kleinen  
Widerständen  $R_x$  vorzuziehen ? Welche Eigenschaft müssen die  
Messinstrumente haben, damit die Fehler bei Nichtanwendung der  
Korrekturformeln möglichst klein bleiben ?
- 3.6 Stellen Sie die Formel für den Gesamtwiderstand der Schaltung im Abschnitt  
2.4.2 auf. Wie errechnen sich die Spannungsabfälle an Widerständen  
 $R_2$  und  $R_3$  ?