

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald / Institut für Physik
Physikalisches Grundpraktikum

Praktikum für Biochemiker, Geowissenschaftler und Pharmazeuten		
Versuch E1 : Der Gleichstromkreis		
Name:	Versuchsgruppe:	Datum:
Mitarbeiter der Versuchsgruppe:		Ifd. Versuchs-Nr:

Aufgabe Führen Sie Strom- und Spannungsmessungen an elektrischen Bauelementen durch.

Physikalische Schwerpunkte des Versuches

- Spannung, Stromstärke, Widerstand, Leistung im Gleichstromkreis
- Potential
- Strom- und Spannungsmessung, Eigenschaften der Messgeräte
- Einteilung der Leiter bezüglich ihres Temperaturverhaltens

Versuchsablauf

1. Messungen

- 1.1. Messen Sie die Stromstärke durch den Widerstand R_1 bei verschiedenen Spannungen ($0 \text{ V} \leq U \leq 10 \text{ V}$; 10 Messwerte; Tabelle).
- 1.2. Schalten Sie auf der Platine R_2 und R_3 parallel. Messen Sie bei drei Spannungen die Gesamtstromstärke und Spannung. Schalten Sie dann die Widerstände in Reihe, messen Sie die Stromstärke und die Gesamtspannung bei zwei Spannungen.
- 1.3. Messen Sie Stromstärke und Spannung an der Glühlampe im Intervall $0 \text{ V} \leq U \leq 1 \text{ V}$. Sie sollten 10 Messwerte ausmessen. Erfassen Sie die Messwerte in einer Tabelle.

2. Berechnungen und Auswertungen

- 2.1. Zeichnen Sie das $I(U)$ -Diagramm des Widerstands R_1 . Bestimmen Sie aus dem Kurvenverlauf den Widerstand. Ergänzen Sie die Tabelle durch den Quotienten U/I .
- 2.2. Berechnen Sie die Gesamtwiderstände beider Schaltungen zu 1.2. Bestimmen Sie aus diesen Werten die Größe der Teilwiderstände R_2 und R_3 .
- 2.3. Zeichnen Sie das $I(U)$ -Diagramm der Glühlampe im angegebenen Bereich. Zeichnen Sie ein $R(P)$ -Diagramm. Der lineare Teil der Kurve kann zur Ermittlung des Widerstandes R_0 und des Temperaturkoeffizienten dienen. Notieren Sie beide Werte.

3. Zusatzaufgaben

- 3.1. Erhöht sich die an einem Heizgerät mit dem Widerstand 15Ω liegende Spannung um 3V , so nimmt die Leistung um $88,5\text{W}$ zu.
Wie groß sind die ursprüngliche Spannung und Leistung?
- 3.2. Die Klemmspannung einer Spannungsquelle wird von einem Voltmeter mit einem Innenwiderstand von 800Ω zu 15V bestimmt. Mit einem Voltmeter, das einen Innenwiderstand von 500Ω hat, misst man 10V .
Wie groß sind Innenwiderstand und Leerlaufspannung der Spannungsquelle?

Physikalische Grundlagen

Elektrischer Strom

Befinden sich in einem elektrischen Feld frei bewegliche Ladungsträger, z.B. Elektronen in einem Metall, so werden sie infolge der elektrischen Kraft bewegt. Der entsprechende Transport elektrischer Ladungen heißt elektrischer Strom. Die elektrische Stromstärke $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ist

die Ladungsmenge ΔQ , die pro Zeiteinheit Δt durch einen elektrischen Leiter strömt. Das Vorzeichen (der Richtungssinn) der Stromstärke wird dem der Spannung über dem Leiter gleichgesetzt, sie ist also vom höheren zum niedrigeren Potential gerichtet. Die Einheit des Stromes ist Ampere: $[I]=1 \text{ A}$.

Elektrische Spannung

Gegeben sei ein Probekörper mit der elektrischen Ladung Q im elektrischen Feld $E(x)$. Man hält einen beliebigen Punkt x_0 im Raum als Bezugspunkt fest und definiert, dass hier die potentielle Energie des Probekörpers Null ist, $W(x_0) = 0$. Dieses Bezugspotential wird in der Technik auch Massepotential genannt. Verschiebt man nun eine Probeladung Q von x_0 zu einem beliebigen Punkt x , so hat sie die potentielle Energie $W(x) - W(x_0) = W(x)$. Diese hängt nur vom Endpunkt x ab, nicht aber vom Verlauf des Weges, auf dem die Probeladung von x_0 nach x gelangt. Man nennt das elektrische Feld ein *Potentialfeld*. Das elektrische Potential φ an der Stelle x ist dann definiert durch

$$\varphi(x) = \frac{W(x)}{Q}$$

Die Potentialdifferenz

$$U_{12} = \varphi(x_2) - \varphi(x_1)$$

heißt elektrische Spannung. Die Einheit von Potential und Spannung ist Volt $[U]=[\varphi]=1 \text{ V}$

Elektrischer Widerstand und Leitwert

Erweist sich bei einem von einem Strom durchflossenen Körper der fließende Strom I proportional zur angelegten Spannung U , so gilt für ihn das **Ohmsche Gesetz**:

$$U = R I .$$

Der Proportionalitätsfaktor R heißt Ohmscher Widerstand. Die Einheit des Widerstands ist das Ohm, $[R] = 1 \Omega = 1 \text{ V/A}$. Der Kehrwert $G = 1/R$ heißt Leitwert, mit der Einheit Siemens, $[G] = 1 \text{ S} = 1 \text{ A/V}$. Metallische Leiter erfüllen das Ohmsche Gesetz in guter Näherung. Im Allgemeinen ändert sich I aber nicht proportional zu U .

Formt man aus einem leitfähigen Material einen Stab mit der Querschnittsfläche A und der Länge l , so beträgt der elektrische Widerstand zwischen seinen Enden

$$R_{\text{Stab}} = \rho l / A$$

Die Konstante ρ ist der spezifische Widerstand, sie charakterisiert das elektrische Leitvermögen des Materials.

Energie und Leistung

Fällt über dem Widerstand R die Spannung U ab, so fließt durch ihn im Zeitintervall Δt die Ladungsmenge $\Delta Q = I \cdot \Delta t$. Die Ladungsträger verlieren dabei die potentielle Energie $\Delta W = U \Delta Q = U I \Delta t$, die in Wärme umgewandelt wird. Die pro Zeiteinheit gewandelte Energie - die Leistung P - ist dann $\Delta W / \Delta t$, und folglich

$$P = U I .$$

Die Einheit der elektrischen Leistung ist das Watt, $[P] = 1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$.

Damit ein technischer Widerstand durch den Stromfluss nicht zu stark erwärmt und letztlich zerstört wird, muss er die Wärme rasch genug an die Umgebung abgeben können, wozu er

eine hinreichend große Oberfläche braucht. Neben dem Widerstandswert ist deshalb die maximal zulässige Leistung eines technischen Widerstands wichtig.

Nichtlineare U/I -Kennlinie

Verkleinert sich der Widerstand bei Erwärmung, so nennt man das Material Heißleiter oder auch Thermistor. Der Widerstand von Hand zu Hand eines menschlichen Körpers beträgt bei einer angelegten Spannung von 10 V etwa 10 k Ω und sinkt bei 1 kV auf etwa 2 k Ω . Damit verhält er sich wie ein Heißleiter. Verhält sich ein Material jedoch umgekehrt, wie z.B. Metalle, so nennt man es Kaltleiter. Der Wolframdraht einer Glühlampe ist ein Kaltleiter, bei ansteigender Spannung steigt der Leistung P , was ihn bis hin zur Glut erwärmt. Sein Widerstand nimmt dabei zu, was näherungsweise durch

$$\frac{U(T)}{I} = R(T) = R_0(1 + \beta(T - T_0))$$

beschrieben wird, mit $R_0 = R(T_0)$, dem Widerstandswert bei der Bezugstemperatur T_0 (z.B. Zimmertemperatur) und dem Temperaturkoeffizient β , $[\beta] = \text{K}^{-1}$. Im Unterschied zum ohmschen Widerstand wächst nun U nicht proportional mit I , vielmehr vergrößert sich der Anstieg der U/I -Kennlinie mit wachsender Stromstärke. Dies wird durch den differentiellen Widerstand r ausgedrückt,

$$r(I) = \Delta U / \Delta I .$$

Er beschreibt, wie stark sich bei einer kleinen Stromänderung von I auf $I + \Delta I$ der Spannungsabfall ändert. Für einen ohmschen Widerstand R gilt, $r(I) = \text{const.} = R$.

Setzt man die Leistung proportional zur Temperaturdifferenz $T - T_0$, so erhält man

$$R = R_0(1 + \gamma P) ,$$

mit dem Temperaturkoeffizient γ , $[\gamma] = \text{W}^{-1}$. Fasst man also $R = U/I$ als Funktion der Leistung $P = UI$ auf, so erhält man eine Gerade mit γR_0 als Anstieg,

$$R = R_0 + \gamma R_0 P .$$

Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

Werden zwei Widerstände R_1 und R_2 in Reihe (Serie) geschaltet, so berechnet sich der Gesamtwiderstand R aus der Summe der Einzelwiderstände,

$$R_g = R_1 + R_2 .$$

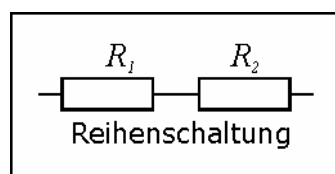


Abb. 1 Reihenschaltung.

Für zwei Stäbe gleichen Materials (also gleichem ρ), gleicher Querschnittsfläche A und den Längen l_1 bzw. l_2 ist dieser Zusammenhang unmittelbar einsichtig, $R = \rho \frac{l_1 + l_2}{A}$.

Für den Gesamtwiderstand der Reihenschaltung von beliebig vielen Widerständen R_1, \dots, R_N gilt

$$R_g = \sum_{n=1}^N R_n$$

Die Parallelschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 (Schreibweise: $R_1 || R_2$) liefert den Gesamtwiderstand

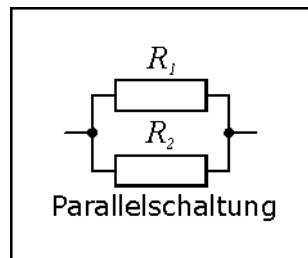


Abb.2 Parallelschaltung.

$$R_g = R_1 || R_2 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Unter Verwendung der Leitwerte erhält man $R^{-1} = G = G_1 + G_2$.

Für zwei Stäbe gleichen Materials, gleicher Länge l und den Querschnittsflächen A_1 bzw. A_2 ist dieser Zusammenhang unmittelbar einsichtig,

$$G = \frac{1}{\rho} \frac{A_1 + A_2}{l}.$$

Daraus folgt für den Gesamtwiderstand der Parallelschaltung von beliebig vielen Widerständen

$$\frac{1}{R_g} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \quad \text{bzw.} \quad G_{ges} = \sum_{n=1}^N G_n$$

Das Potentiometer

Bei einem Potentiometer (Abb. 3) lässt sich ein Gleitkontakt entlang einer Widerstandsfläche verschieben. Somit verändert sich die Aufteilung des Gesamtwiderstandes R in zwei Teilwiderstände R_1 und R_2 . Für die Teilspannungen U_1 und U_2 in dieser Spannungsteilerschaltung gilt:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad ; \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U.$$

Folglich ist die Summe der Teilspannungen gleich der anliegenden Spannung.

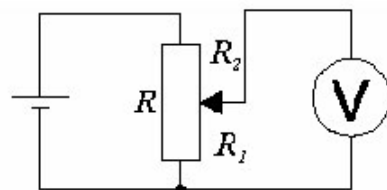


Abb. 3 Potentiometerschaltung

Spannungsquelle

Jede reale Spannungsquelle hat einen nicht verschwindenden *Innenwiderstand* $R_i > 0$, den man sich immer mit einem äußeren Widerstand R in Reihe geschaltet vorstellen muss und über den ein Teil der Spannung abfällt:

$$U_i = \frac{R_i}{R + R_i} U_0$$

Dabei ist U_0 die *Urspannung*, welche zwischen den Polen der Spannungsquelle für $R = \infty$ abfällt, also ohne Verbraucher (ohne Last). Sie wird auch *elektromotorische Kraft* oder *Leerlaufspannung* genannt.

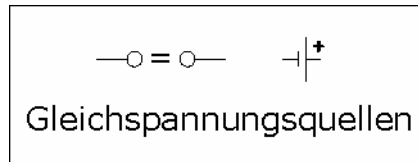


Abb. 4 Symbole von Gleichspannungsquellen.

Im Allgemeinen fällt über dem Verbraucher R nur die *Klemmenspannung* $U = U_0 - U_i$ ab. Verschwindet der äußere Widerstand ($R = 0$), so spricht man vom Kurzschluss der Spannungsquelle. Der entsprechende Kurzschlussstrom wird nur noch durch den Innenwiderstand begrenzt,

$$I_K = \frac{U_0}{R_i}.$$

In elektrischen Schaltungen wird der Innenwiderstand einer Spannungsquelle häufig nicht eingezeichnet. Man nimmt dann an, dass bei der Realisierung der Schaltung der konkrete Innenwiderstand klein genug ist, so dass er keinen merklichen Einfluss ausübt oder einfach zum Lastwiderstand R dazugerechnet werden kann.

Strom- und Spannungsmessung

Bei idealen Strommessinstrumenten sollte $R_i \rightarrow 0$, bei idealen Spannungsmessinstrumenten $R_i \rightarrow \infty$ gehen.

Reale Messinstrumente haben einen endlichen Innenwiderstand, der bei den Messungen berücksichtigt werden muss.

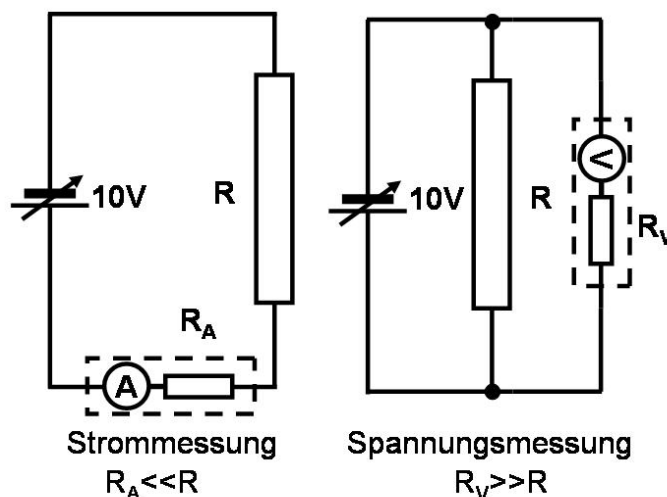


Abb. 5 Strom- und Spannungsmessungen.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Geräteliste

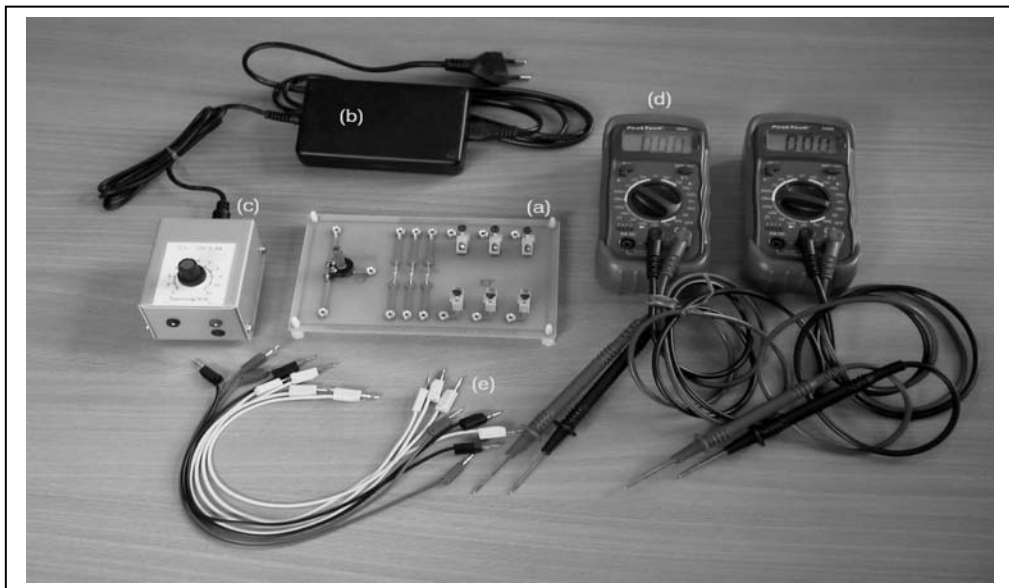


Abb. 6 (a) Grundplatine, (b) Netzteil, (c) Spannungsregler, (d) 2 Multimeter, (e) Laborschnüre, Glühlampe (12 V und 0,2A), ohmscher Widerstand 130 Ω (1 W).

Hinweise

- ! Bauen Sie elektrische Schaltungen grundsätzlich **ohne** angelegte Betriebsspannung auf. Lassen Sie die Schaltung vor dem Anlegen der Betriebsspannung vom Betreuer prüfen. Vor Änderungen an einer Schaltung sollte grundsätzlich zunächst die Betriebsspannung abgeschaltet werden.
- ! Besondere Vorsicht ist bei Strommessungen geboten. Wählen Sie zunächst immer den unempfindlichsten Messbereich (200 mA)! Stromstärken deutlich oberhalb des Messbereichsendwertes lassen die Feinsicherung im Gerät schmelzen.
- ! Angaben der Werte von Widerständen oder Kapazitäten auf den Bauelementen (Nennwerte) sind immer nur Näherungen der tatsächlichen Werte. Deshalb müssen z.B. Widerstandswerte immer mit dem Ohmmeter (Bestandteil des Multimeters) ausgemessen werden.
- ! Legen Sie an den Schleifer des **Potentiometers auf der Grundplatine** keine Lasten unter 1 k Ω . Dies führt bei hohen Spannungen zu allzu großen Strömen (Energieumsätzen) im Potentiometer und zerstört es schließlich infolge zu großer Erwärmung.
- ! Schalten Sie zum Versuchende die Multimeter zur Schonung der Batterien aus (Schalter auf OFF).

1. Das Ohmsche Gesetz

Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 7 mit $R = R_1$ auf. Variieren Sie am Spannungsregler die Spannung und messen Sie für zehn Spannungen U den Strom I durch den Widerstand R_1 . Tragen Sie die Messwerte in ein Strom-Spannungs-Diagramm ein. Welchen Zusammenhang gibt es zwischen I und U ?

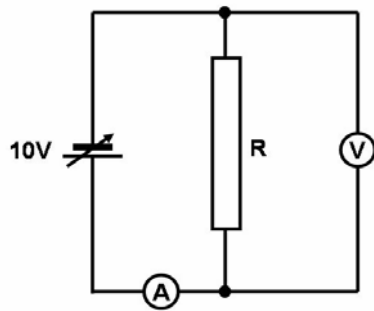


Abb. 7 Bestimmung der Strom-Spannungs-Kennlinie.

2. Bestimmung der Widerstände R_2 und R_3

Bestimmen Sie mit Hilfe des Aufbaus in Abb. 7 die ohmschen Widerstände der Reihenschaltung R_2+R_3 und der Parallelschaltung $R_2||R_3$ zweier unbekannter Widerstände! Benutzen Sie drei unterschiedliche Spannungen.

Berechnen Sie die Widerstandswerte R_2 und R_3 der unbekannteren Teilwiderstände aus der Reihen- und Parallelschaltung! Überlegen Sie eine hinreichend genaue Angabe der Widerstände.

3. Bestimmung der Strom-Spannungs-Kennlinie einer Glühlampe

Ersetzen Sie die Widerstandschaltung auf der Platine durch eine Reihenschaltung aus Glühlampe und dem Widerstand $R = 130 \Omega$, um den geforderten Spannungsbereich von ca. 0 V . . . ca. 1 V gut messbar zu realisieren. Nehmen Sie etwa 10 Messwertpaare (I_n, U_n) auf.

Fertigen Sie hierzu vor der Messung eine Schaltskizze an!

Messen Sie mit dem Multimeter(Ohmmeter) den Kaltwiderstand R_0 .

Auswertung: Stellen Sie die Abhängigkeit U über I graphisch dar. Entscheiden Sie, ob Wolfram ein Heiß- oder Kaltleiter ist. Vergleichen Sie die Kurvenverläufe der Diagramme aus Aufgabe 2 und 3. Stellen Sie $R = U/I$ als Funktion der Leistung $P = UI$ dar. Der Anstieg b des linearen Teils der Kurve ist gleich dem Faktor γR_0 , und der Schnittpunkt a mit der Ordinate liefert den Kaltwiderstand R_0 . Ermitteln Sie a und b graphisch. Bestimmen Sie daraus schließlich den Temperaturkoeffizienten $\gamma = b/a$.