

Prof. Dr. Klaus Eckhardt

Elektrische Schaltungen

veröffentlicht im Internet unter aufgabomat.de

Inhalt

1 Spannung, Strom und Widerstand	1
2 Schaltpläne	2
3 Spannungs- und Strommessung.....	2
4 Kirchhoffsche Regeln	3
4.1 Kirchhoffsche Knotenregel	3
4.2 Kirchhoffsche Maschenregel.....	3
5 Schaltungen mit mehreren Widerständen	3
5.1 Reihenschaltung	4
5.2 Parallelschaltung.....	4

1 Spannung, Strom und Widerstand

Voraussetzung dafür, dass in einem Stromkreis ein elektrischer Strom fließt, ist, dass der Stromkreis eine **Spannungsquelle** enthält. Diese besitzt zwei Pole, den Plus- und den Minuspol. Am Minuspol herrscht ein Elektronenüberschuss, am Pluspol ein Elektronenmangel. Werden die beiden Pole der Spannungsquelle durch einen elektrischen Leiter miteinander verbunden, so fließen die überschüssigen Elektronen vom Minuspol in Richtung des Pluspols. Dies ist die **physikalische Stromrichtung**. Die **technische Stromrichtung** ist aus historischen Gründen gerade umgekehrt definiert. Sie ist vom Plus zum Minuspol gerichtet (Abbildung 1). Die **Stromstärke** ist definiert als die Ladungsmenge dQ , die pro Zeitintervall dt durch den Leiterquerschnitt fließt:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

Ihre Einheit ist 1 A (**Ampère**).

Um eine Spannungsquelle zu erzeugen, müssen die Überschusselektronen, die sich am Ende dieses Prozesses am Minuspol der Spannungsquelle befinden, von der positiven Gegenladung am Pluspol getrennt werden. Ungleichnamige elektrische Ladungen ziehen sich aber an. Bei der Ladungstrennung muss daher Arbeit W verrichtet werden. Die **elektrische Spannung** ist ein Maß für die potenzielle Energie, welche die Ladungsträger bei der Ladungstrennung gewinnen. Sie gibt die Energie pro Ladung an:

$$U = \frac{W}{Q} \quad (2)$$

Die Einheit der elektrischen Spannung ist 1 V (**Volt**).

Während des Stromflusses wird die potenzielle Energie der Ladungsträger in kinetische Energie umgewandelt. Die Ladungsträger können diese auf ihrem Weg zum anderen Pol der Spannungsquelle abgeben und dadurch Arbeit verrichten. So kommt es beispielsweise zu Stößen zwischen den fließenden Ladungsträgern und den Atomen des Leiters. Man spricht davon, dass der Leiter dem Stromfluss einen **Widerstand** entgegensetzt. Der elektrische Widerstand R eines Leiters wird in der Einheit 1 Ω (**Ohm**) angegeben. In vielen elektrischen Leitern (Metallen, Elektrolyten) gilt als Zusammenhang zwischen Spannung U , Stromstärke I und Widerstand R das **Ohmsche Gesetz**

$$U = R I. \quad (3)$$









Bezieht man die Arbeit W , welche die Ladungsträger verrichten, auf die Zeit, so erhält man die **elektrische Leistung** P . Unter Verwendung der Gleichungen 2 und 1 und unter Annahme einer konstanten Spannung U ergibt sich

$$\begin{aligned} P &= \frac{dW}{dt} \\ &= U \frac{dQ}{dt} \\ &= U I. \end{aligned} \quad (4)$$

Die elektrische Leistung wird in der Einheit 1 J/s = 1 W (**Watt**) angegeben.

2 Schaltpläne

In Plänen elektrischer Schaltungen werden die einzelnen Bauteile durch Symbole dargestellt:

	Leitung
	Spannungsquelle
	Widerstand
	Lampe
	Kondensator
	Schalter
	Spannungs- oder Strommessgerät
	Halbleiterdiode
...	

Der einfachste Stromkreis enthält eine Spannungsquelle und einen Widerstand (Abbildung 1). Zu beachten ist, dass die Leitungen in einer Schaltskizze als widerstandsfrei gelten. Ohne den explizit eingezeichneten Widerstand würde Abbildung 1 einen Kurzschluss zeigen.

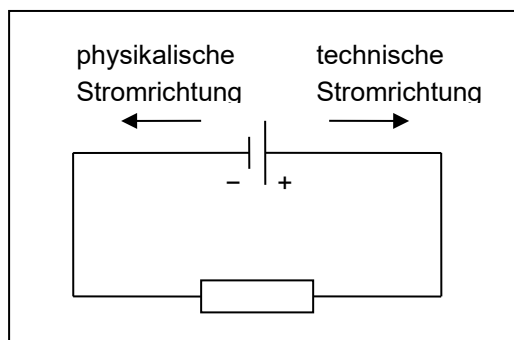


Abbildung 1: Einfachste Variante eines Stromkreises.

3 Spannungs- und Strommessung

Zur Messung von Stromstärke und Spannung dienen Ampère- und Voltmeter.

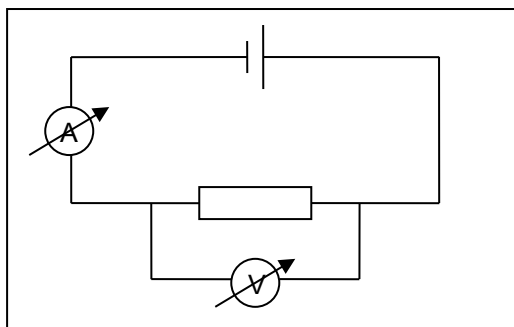


Abbildung 2: Messung von Stromstärke und Spannung.

Das **Ampèremeter** wird in Reihe mit Spannungsquelle und Widerstand in den Stromkreis geschaltet (Abbildung 2). Da es den Stromfluss selbst möglichst wenig beeinträchtigen soll, muss sein Innenwiderstand niedrig sein. Das **Voltmeter** wird dagegen parallel zu dem Bauteil geschaltet, an dem die Spannung zu messen ist. Sein Innenwiderstand muss möglichst groß sein, damit sich der Stromfluss durch das zu vermessende Bauteil nicht wesentlich ändert.

4 Kirchhoffsche Regeln

Grundlegend für die Analyse von Spannungen und Strömen in elektrischen Schaltungen sind die Kirchhoffsche Knoten- und Maschenregel.

4.1 Kirchhoffsche Knotenregel

An einem so genannten Knoten stoßen mehrere elektrische Leitungen zusammen. An jedem solchen Verzweigungspunkt in einer Schaltung muss ebenso viel Ladung zu- wie abfließen. Andernfalls würde das Prinzip der Ladungserhaltung verletzt.

4.2 Kirchhoffsche Maschenregel

Als Masche wird ein geschlossener Weg in einem Stromkreis bezeichnet. Im einfachsten Fall besteht die Schaltung aus genau einer Masche, die Spannungsquelle und Widerstand umfasst (Abbildung 1).

Bei der Ladungstrennung, die erforderlich ist, um eine Spannungsquelle zu schaffen, gewinnen die Elektronen potenzielle Energie. Wenn die Elektronen durch den Stromkreis vom Minus- zum Pluspol der Spannungsquelle fließen, verlieren sie ihre potenzielle Energie wieder. Beide Energiebeträge müssen gleich sein. Andernfalls würde das Prinzip der Energieerhaltung verletzt. Da die potenzielle Energie der Ladungsträger durch die elektrische Spannung gekennzeichnet wird, spricht man davon, dass die elektrische Spannung U der Spannungsquelle vom Betrag her gleich der Gesamtspannung ist, die an allen übrigen n Bauteilen der Masche liegt:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i \quad (5)$$

Üblicherweise wird die Maschenregel so formuliert, dass die Summe aller Spannungen in einer Masche null ergibt, was es dann allerdings erfordert, zusätzlich zu definieren, wann eine Spannung positiv und wann sie negativ einzurechnen ist. An dieser Stelle wird hierauf der Einfachheit halber verzichtet.

Die Teilspannungen U_i unterscheiden sich im Allgemeinen voneinander. Wie viel Energie die Elektronen verlieren, wenn sie durch ein Bauteil fließen, hängt von dessen elektrischem Widerstand ab. Man spricht daher davon, dass an den Bauteilen je nach ihrem Widerstand unterschiedlich große Teilspannungen U_i abfallen bzw. anliegen.

5 Schaltungen mit mehreren Widerständen

Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Regeln können nun komplexere Schaltungen analysiert werden.

5.1 Reihenschaltung

Abbildung 3 zeigt die einfachste Variante einer Reihenschaltung, bestehend aus zwei Widerständen.

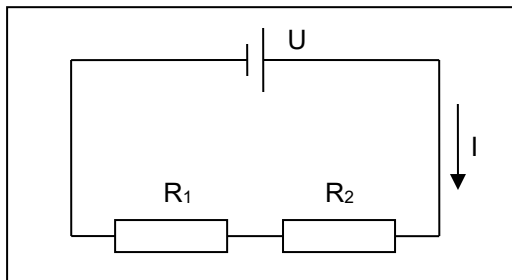


Abbildung 3: Reihenschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 .

Nach dem Ohmschen Gesetz gilt als Zusammenhang zwischen Spannung U , Stromstärke I und Gesamtwiderstand R der Schaltung $U = R I$. Der unbekannte Gesamtwiderstand R wird im Folgenden ermittelt.

Für die Ströme I_1 und I_2 durch die beiden Widerstände R_1 und R_2 gilt nach der Kirchhoffschen Knotenregel $I_1 = I_2 = I$.

Nach dem Ohmschen Gesetz lassen sich die Teilspannungen U_1 und U_2 berechnen als

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 I_1 \\ &= R_1 I \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_2 &= R_2 I_2 \\ &= R_2 I. \end{aligned}$$

Die Kirchhoffsche Maschenregel besagt, dass die Summe der beiden Teilspannungen U_1 und U_2 gleich der Spannung U der Spannungsquelle sein muss:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 \\ &= (R_1 + R_2) I \end{aligned}$$

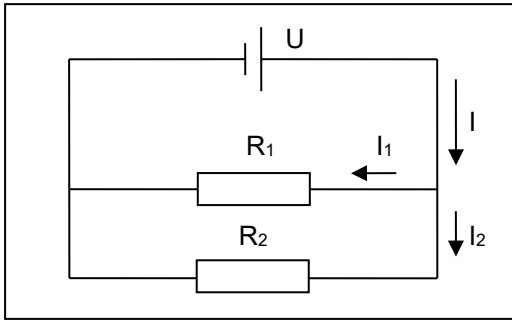
Der Vergleich mit dem Ausdruck $U = R I$ zeigt, dass der Gesamtwiderstand R gleich der Summe der Einzelwiderstände ist: $R = R_1 + R_2$. Allgemein gilt für den Gesamtwiderstand von n in Reihe geschalteten Widerständen R_i ($i = 1, \dots, n$):

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (6)$$

5.2 Parallelschaltung

Abbildung 4 zeigt die einfachste Variante einer Parallelschaltung von Widerständen.

Nach der Kirchhoffschen Maschenregel gilt in der Masche, welche die Spannungsquelle und den Widerstand R_1 umfasst, $U_1 = U$ und in der Masche, welche die Spannungsquelle und den Widerstand R_2 umfasst, $U_2 = U$.

Abbildung 4: Parallelschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 .

Der Strom I_1 durch den Widerstand R_1 berechnet sich gemäß dem Ohmschen Gesetz als

$$\begin{aligned} I_1 &= U_1/R_1 \\ &= U/R_1. \end{aligned}$$

Analog gilt für den Strom I_2 durch den Widerstand R_2

$$I_2 = U/R_2.$$

Nun wird die Kirchhoffsche Knotenregel angewendet. Es ist

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) U. \end{aligned}$$

Nach dem Ohmschen Gesetz ist $I = \frac{U}{R}$, wobei R der Gesamtwiderstand der Schaltung ist. Für diesen gilt demnach

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Der Kehrwert des Gesamtwiderstands R von n parallel geschalteten Widerständen R_i ($i = 1, \dots, n$) ist gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (7)$$

Übungsaufgaben finden sich beispielsweise unter der Internet-Adresse aufgabomat.de in der Rubrik Physik.

veröffentlicht im Internet unter aufgabomat.de