

Lektion 3: Ohmsches Gesetz, Leistung und Arbeit

Diese Lektion aus der theoretischen Elektrotechnik enthält sehr wichtige Grundlagen. Wichtig sind vor allem der Begriff Widerstand und das Ohmsche Gesetz, aber auch die Zusammenhänge von Strom, Spannung und Zeit, also Leistung und Arbeit.

Das Ohmsche Gesetz

Ein einfacher Versuch nach Schaltung Bild 3-1 zeigt, dass es zwischen Spannung und Strom einen Zusammenhang gibt. Erhöht man beim Betrieb einer Glühlampe die Spannung, so leuchtet sie heller. Dies ist ein Zeichen, dass höherer Strom fließt.

Die Schaltung zeigt zwei in Reihe geschaltete Zellen von je 1,5 Volt. Mit dem Umschalter kann man auf die erste Zelle schalten und bekommt 1,5 Volt. Oder man schaltet auf die Reihenschaltung (Schalter oben) und die Betriebsspannung beträgt 3 Volt. Das Symbol mit dem Kreuz stellt eine Glühlampe als Verbraucher dar.

Dass nicht ein unendlich großer Strom fließt, liegt daran, dass der Leiterwerkstoff des Glühfadens in der Glühlampe dem Stromfluss einen Widerstand entgegensetzt. Dieser Widerstand wird sowohl von der vorhandenen Zahl der frei beweglichen Leitungselektronen als auch vom Atomgitteraufbau des Werkstoffes bestimmt.

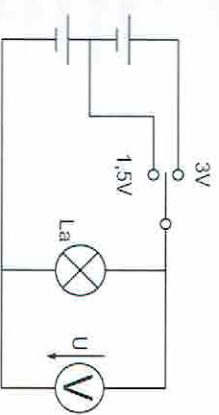
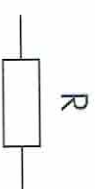


Bild 3-1: Nachweis der Abhängigkeit des Stromes von der Spannung

Übersicht:

- Ohmsches Gesetz
- Innenwiderstand
- Elektrische Leistung
- Elektrische Arbeit

Der Widerstand der Glühlampe oder jeder andere Widerstand kann allgemein durch folgendes Symbol dargestellt werden.



Symbol und Kennzeichen für den Widerstand

Die Größe eines Widerstandes wird mit dem Buchstaben R (resistor) gekennzeichnet, seine Einheit ist Ohm, abgekürzt Ω .

Definition

Ein Widerstand hat den Wert $R = 1 \Omega$ (sprich: ein Ohm), wenn bei Anlegen einer Spannung von 1 Volt ein Strom von 1 Ampere fließt.

Mit einer verstellbaren Spannungsquelle, wie sie in Bild 3-2 dargestellt ist, soll der Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Widerstand genauer untersucht werden. Denken Sie sich vier Zellen von je 1,5 Volt in Serie geschaltet mit je einem Abgriff bei 1,5 V, 3 V, 4,5 V und 6 V. Es kann über einen Strommesser ein Lastwiderstand R angeschlossen werden.

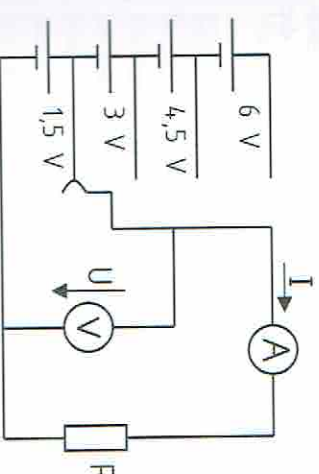


Bild 3-2: Messanordnung zur Messung des Zusammenhangs zwischen Spannung und Strom bei einem konstanten Widerstand

Versuch 1
Bei einem festen Widerstand von $R_1 = 220 \Omega$ wird die Spannung verändert und der Strom gemessen.

Bei $U =$	1,5 V	3,0 V	4,5 V	6,0 V
beträgt $I =$	6,8 mA	13,6 mA	20,5 mA	27,3 mA

Diese Messwerte sind im Diagramm Bild 3-3 bereits eingetragen. Nachgetragen ist noch der Messwert 0, denn ohne Spannung ($U = 0$ V) fließt natürlich kein Strom ($I = 0$ A).

Versuch 2

Bei einem festen Widerstand von $R_1 = 100 \Omega$ soll die Spannung verändert und der Strom gemessen werden.

Wenn Sie keine Messmöglichkeit haben, verwenden Sie die in folgender Tabelle eingetragenen Werte.

Bei $U =$	1,5 V	3,0 V	4,5 V	6,0 V
beträgt $I =$	15 mA	30 mA	45 mA	60 mA

Tragen Sie diese Messwerte zusätzlich in das Diagramm Bild 3-3 ein! Es muss sich eine Gerade ergeben. Verlängern Sie die Gerade! Sie muss durch den Nullpunkt gehen, denn natürlich fließt kein Strom ($I = 0$ A), wenn keine Spannung ($U = 0$ V) anliegt.

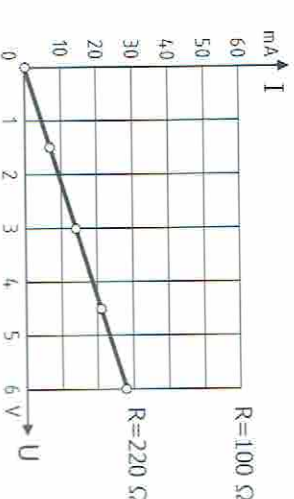


Bild 3-3: Kennlinien zum Ohmschen Gesetz

Aus dem Diagramm und aus der Tabelle kann man Folgendes erkennen: Bei Verdopplung der Spannung fließt genau der doppelte Strom, wenn man den Widerstand konstant lässt. Man sagt: Spannung und Strom sind proportional und schreibt

$$U \sim I \quad (\text{sprich: } U \text{ proportional } I).$$

Versuch 3

Es soll ein konstanter Strom von 20 mA fließen. Der Widerstand wird verändert und die notwendige Spannung gemessen.

Bei $R =$	75 Ω	150 Ω	300 Ω
benötigt man $U =$	1,5 V	3 V	6 V

Bei Verdopplung des Widerstandes benötigt man eine doppelte so große Spannung, damit der gleiche Strom fließt. Spannung und Widerstand sind also proportional.

$$U \sim R$$

Beide Zusammenhänge lassen sich als Formel schreiben und ergeben *das Ohmsche Gesetz*:

$$U = R \cdot I$$

Der Widerstand R ist gewissermaßen der Proportionalitätsfaktor zwischen U und I . Die Grundform des Ohmschen Gesetzes lässt sich leicht merken, wenn man an den Schweizer Kanton URI denkt.

Prüfungsfrage TB903

Welche Spannung lässt einen Strom von 2 Ampere durch einen Widerstand von 50 Ohm fließen?

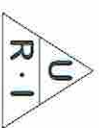
- A** 25 V **B** 200 V
C 100 V **D** 52 V

Gegeben: $I = 2 \text{ A}; \quad R = 50 \Omega$
Gesucht: U
Lösung: $U = R \cdot I = 50 \Omega \cdot 2 \text{ A}$
 $U = 100 \text{ V}$

Durch Umstellen der Grundformel erhält man weitere Formen des *Ohmschen Gesetzes*.

$$I = \frac{U}{R} \quad R = \frac{U}{I}$$

Das Umstellen dieser Formel wurde in der Lektion 1 geübt. Kennen Sie das "URI-Dreieck"? Schauen Sie gegebenenfalls dort nach.



Das URI-Dreieck

Aus der letzten Formel ergibt sich die Einheitengleichung für Ohm.

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} \quad \text{oder auch} \quad \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega$$

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfrage TB902** aus dem Fragenkatalog (Siehe Anhang 1).

Mit Hilfe des *Ohmschen Gesetzes* sind die beiden Grundgrößen Strom und Spannung über den Widerstand miteinander verknüpft. Dieser Zusammenhang gilt für Gleichspannung und mit Einschränkungen auch für Wechselspannungen (Lektion 2). Um eine Größe ausrechnen zu können, müssen die zwei anderen bekannt sein.

Prüfungsfrage TB904

Welcher Widerstand ist erforderlich, um einen Strom von 3 Ampere bei einer Spannung von 90 Volt fließen zu lassen?

- A** 93 Ω **B** 1/30 Ω
C 270 Ω **D** 30 Ω

Gegeben: $I = 3 \text{ A}; \quad U = 90 \text{ V}$
Gesucht: R
Lösung: $R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 30 \Omega$

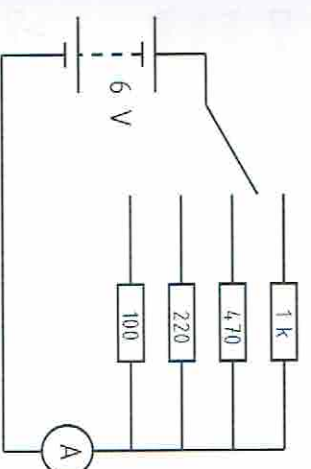


Bild 3-4: Praxis 1 zum Ohmschen Gesetz

Versuch

Mit einem vierpoligen Taster nach Bild 3-4 werden nacheinander vier verschiedene Widerstände eingeschaltet. Welche Ströme werden jeweils gemessen?

Lösung: Tragen Sie die gemessenen Werte in folgende Tabelle ein. Wenn Sie keine Messmöglichkeit haben, können Sie natürlich auch rechnen.

R	100 Ω	220 Ω	470 Ω	1 k Ω
I	__ mA	__ mA	__ mA	__ mA

Tipp: Die Widerstände wurden jeweils etwa verdoppelt, dann muss der Strom jeweils ungefähr halb so groß werden.

Der Innenwiderstand

Wenn man einen Generator G , (Bild 3-5) zum Beispiel ein Netzteil, mit einem Verbraucher belastet, so dass viel Laststrom I fließt, geht die Spannung U an den Klemmen etwas zurück. Man sagt, ein Generator hat einen Innenwiderstand R_i , an dem eine Spannung abfällt. Man berechnet den Innenwiderstand einer Spannungsquelle aus dem Spannungsunterschied Delta U (ΔU) an den Klemmen geteilt durch den Stromunterschied Delta I (ΔI) bei Belastung. Als Formel ausgedrückt schreibt man dafür

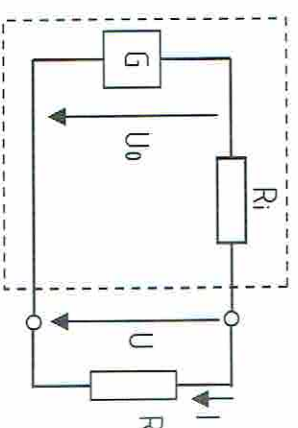


Bild 3-5: Begriffe Leerlaufspannung U_0 , Innenwiderstand R_i , Klemmenspannung U , Laststrom I

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Prüfungsaufgabe TD302

Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 1 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 12,4 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

Lösung: $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$

$$R_i = \frac{13,5 \text{ V} - 12,4 \text{ V}}{1,0 \text{ A} - 0 \text{ A}} = \frac{1,1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1,1 \Omega$$

Übrigens: Eine „Spannungsquelle“ sollte einen niedrigen Innenwiderstand haben. Es gibt auch „Stromquellen“, die einen konstanten Strom liefern sollen. Diese müssen im Gegensatz zur Spannungsquelle einen großen Innenwiderstand haben. Mehr dazu im Lehrgang zur Klasse A.

Bearbeiten Sie anschließend selbstständig die **Prüfungsfragen TD301** und **TD303** aus dem Anhang 1 (Seite 192).

Die elektrische Leistung

Fließt durch einen Widerstand Strom, so wird in ihm eine Wärmeleistung erzeugt. Anwendungen sind Kochplatte, Bügeleisen, Heizspirale eines Elektroöfchens. Ein Widerstand in einer elektronischen Schaltung soll aber nicht heiß werden.

Die Leistung ist umso größer, je größer Strom und Spannung sind. Die elektrische Leistung P (englisch: power) ist das Produkt aus Spannung U und Strom I .

$$P = U \cdot I$$



Die Maßeinheit für die elektrische Leistung ergibt sich aus dem Produkt Volt mal Ampere ($V \cdot A$ oder VA). Für die Leistung bei Gleichstrom wurde anstelle dieses Produktes die abgeleitete Einheit Watt (W) festgelegt.

$$1\text{ W} = 1\text{ V} \cdot 1\text{ A}$$

Neben dieser Einheit gibt es auch wieder Vielfache oder Teile der Einheit.

1 Megawatt	1 MW	10^6 W	1000000 W
1 Kilowatt	1 kW	10^3 W	1000 W
1 Milliwatt	1 mW	10^{-3} W	$\frac{1}{1000}\text{ W}$
1 Mikrowatt	1 µW	10^{-6} W	$\frac{1}{1000000}\text{ W}$

Die Formel $P = U \cdot I$ gilt grundsätzlich bei Gleichstrom. Bei Wechselstrom gilt sie nur dann, wenn keine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung auftritt, wenn nur eine so genannte *rein ohmsche Belastung* vorliegt. In den folgenden Aufgaben mit Wechselstrom oder Hochfrequenz wird angenommen, dass eine solche ohmsche Belastung vorliegt.

Näher soll hier im Rahmen des Amateurrückleitungs-Kurses E nicht darauf eingegangen werden. In der theoretischen Elektrotechnik nennt man dieses Kapitel „Wechselstromtechnik“. Die Wechselstromtechnik beinhaltet höhere Mathematik.

Prüfungsaufgabe TB908

Ein mit einer künstlichen 50-Ω-Antenne in Serie geschaltetes HF-Amperemeter zeigt 2 A an. Welche Leistung gibt der Sender ab?

Gegeben: $R = 50\ \Omega$ $I = 2\text{ A}$

Gesucht: P

Lösung: $P = U \cdot I$

Zunächst:

$$U = R \cdot I = 50\ \Omega \cdot 2\text{ A} = 100\text{ V}$$

$$P = 100\text{ V} \cdot 2\text{ A} = 200\text{ W}$$

Zu diesem Thema lösen Sie selbstständig die **Prüfungsaufgabe TB907** aus dem Anhang 1 dieses Buches, Lösung im Anhang 2!

Lösen Sie zum Thema Leistung, bzw. „Belastbarkeit von Widerständen“ noch folgende **Prüfungsfragen: TB901, TB910 und TB911!**

Umgekehrt: Leistung gegeben – Strom gesucht:

Prüfungsaufgabe TB909

Ein Mobiltransceiver (Sender-Empfänger) hat bei Sendebetrieb eine Leistungsaufnahme von 100 Watt aus dem 12-V-Bordnetz des Kraftfahrzeuges. Wie groß ist die Stromaufnahme?

- A 1200 A B 16,6 A
C 8,33 A D 0,12 A

Gegeben: $P = 100\text{ W}$ $U = 12\text{ V}$

Gesucht: I

Lösung: $P = U \cdot I$

$$\text{umgestellt } I = \frac{P}{U} = \frac{100\text{ W}}{12\text{ V}} = 8,33\text{ A}$$

Lösen Sie nach demselben Prinzip die **Prüfungsaufgabe TB906** aus dem Anhang 1 dieses Buches.

Die Lösungen finden Sie am Ende des Buches im Anhang 2.

Die elektrische Arbeit

Wie auch in der Mechanik ist die elektrische Arbeit W (englisch: work) umso größer, je länger eine Leistung verrichtet wird.

Arbeit = Leistung · Zeit

$$W = P \cdot t$$

Dieses Gesetz gilt auch in der Elektrotechnik. Setzt man für die Leistung noch Strom mal Spannung ein, kann man für die elektrische Arbeit auch schreiben

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Die Maßeinheit ergibt sich aus dieser Formel, indem man die Grundeinheiten Volt, Ampere und Sekunde einsetzt, also $VA \cdot s$ oder Ws ($\text{Volt} \cdot \text{Ampere} = \text{Watt}$), also Wattsekunden.

Merken Sie sich: Die Einheit der Arbeit ist 1 Wattsekunde.

Für größere Arbeit ist diese Einheit etwas unpraktisch. Im Haushalt verwendet man besser Kilowattstunden.

Übungsaufgabe ÜB301

Wie viel Wattsekunden hat eine Kilowattstunde?

- A 3 600 000 Ws B 60 000 Ws
C 3 600 Ws D 60 Ws

Hinweis: Ersetzen Sie 1 Stunde durch Sekunden!

Sicher haben Sie auch 60 Minuten mal 60 Sekunden gerechnet und $1\text{ kW} = 1000\text{ W}$. Lösung im Anhang 2 Seite 231!

Daraus ergibt sich eine Kostenberechnung für elektrische Arbeit. Denn für elektrische Arbeit aus dem Stromnetz muss man bezahlen, nicht für die Leistung. Es hängt davon ab, wie lange eine Leistung verrichtet wird.

Übungsaufgabe ÜB302

Ein Computer nimmt 120 Watt Leistung auf.

- a) Wie groß ist der "Stromverbrauch" (elektrische Arbeit oder Energie* in Kilowattstunden), wenn dieser den ganzen Tag von 8 bis 18 Uhr eingeschaltet bleibt?
b) Wie hoch sind die "Stromkosten" (Kosten für die erbrachte elektrische Arbeit), wenn für eine Kilowattstunde 25 Cent bezahlt werden muss?

Lösung

$$a) W = P \cdot t = 120\text{ W} \cdot 10\text{ h} = 1200\text{ Wh} = 1,2\text{ kWh}$$

$$b) \text{Kosten } K = 1,2\text{ kWh} \cdot 25\text{ Cent/kWh} = 30\text{ Cent}$$

Es müssen 30 Cent dafür bezahlt werden. Betreibt man den Computer täglich zehn Stunden, kommen 30 mal 30 Cent gleich 9,00 Euro an Stromkosten für einen Monat zusammen.

Prüfungsaufgabe TB905

Eine Stromversorgung nimmt bei 230 Volt einen Strom von 0,63 Ampere auf. Welche elektrische Arbeit wird bei einer Betriebsdauer von 7 Stunden verbraucht?

Lösung:

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

$$W = 230\text{ V} \cdot 0,63\text{ A} \cdot 7\text{ h} = 1014\text{ Wh}$$

$$W = 1,01\text{ kWh}$$

*Energie

Gespeicherte Arbeit wird in der Elektrotechnik auch *elektrische Energie* genannt. Ein Akku kann beispielsweise 60 Wattstunden an Energie abgeben. Oder die Energiekosten für den Desktop-Computer in obigem Beispiel betragen 9,00 € im Monat.