

1.8 Wirkungsgrad

Bei der Umwandlung von einer Energieform in eine andere scheint oftmals ein Teil der Energie verloren zu gehen. Tatsächlich aber wird ein Teil der Energie in eine eventuell unerwünschte Energieform (meist thermische Energie d.h. Wärme) umgewandelt.

Auch beim Elektromotor entstehen unbeabsichtigte Nebenwirkungen. So erwärmt der Strom die Motorwicklungen. Auch die Eisenbleche werden durch die Ummagnetisierung warm. Ausserdem setzen sich die Lüftungs- und Reibungsverluste letztlich ebenfalls in Wärme um.

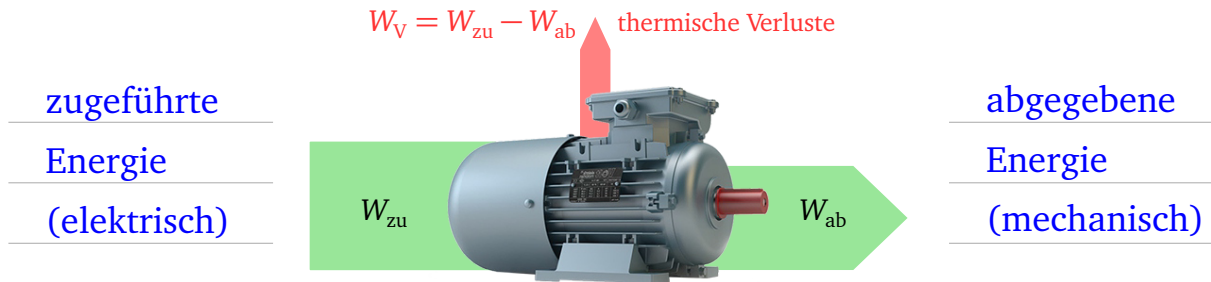


Abb. 6: Wirkungsgrad eines Elektromotors

Als Mass für die Qualität einer Energieumwandlung steht der Wirkungsgrad η (sprich: eta). Er wird aus dem Verhältnis von *abgegebener* Energie zur *zugeführten* Energie berechnet.

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

[η] Wirkungsgrad 1 oder %

[W_{zu}] zugeführte Energie Ws; kWh

[W_{ab}] abgegebene Energie Ws; kWh

Der Wirkungsgrad kann als Dezimalzahl (z.B. 0.85) oder in Prozent (z.B. 85 %) angegeben werden. Der Wirkungsgrad ist immer kleiner als 1 resp. 100 %.

Die Energieverluste berechnen sich aus der Differenz von zugeführter Energie und abgegebener Energie. Es gilt: $W_v = W_{zu} - W_{ab}$.

Übung

- ❶ Ein Gleichstrom-Generator nimmt 97 kWh mechanische Energie auf und gibt 82 kWh elektrische Energie ab.

- Wie gross sind die Energieverluste W_v ?
- Wie gross ist der Wirkungsgrad η des Generators?

a) $W_v = W_{zu} - W_{ab} = 97 \text{ kWh} - 82 \text{ kWh} = \underline{\underline{15 \text{ kWh}}}$

b) $\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} = \frac{82 \text{ kWh}}{97 \text{ kWh}} = \underline{\underline{0.845... = 84.5\%}}$

2.2.4 Atomaufbau

Um die elektrische Leitfähigkeit zu verstehen, ist es notwendig, den Aufbau eines Atomes zu kennen. Atome sind so unvorstellbar klein, dass man sie nicht einmal unter dem Mikroskop sehen kann. Deshalb kann man sie nur mit Hilfe von Modellen beschreiben.

Ein ganz wichtiges Atommodell wurde von *Niels Bohr* (1885 - 1951) entwickelt. Im Bohrschen Modell besteht ein Atom aus einem Kern und einer Hülle.

Der *Kern*, im Durchmesser etwa 100 000-mal kleiner als die Hülle, enthält Protonen und Neutronen. Die Neutronen halten durch Massenanziehung (Gravitation) den Kern zusammen; sie wirken als Kernkitt. Denn Protonen sind positiv geladen und würden sich ohne die Neutronen mit ziemlicher Kraft abstoßen. Der Atomkern bestimmt die Masse eines Atoms.

Um den Kern bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit (ca. 2200 km/s) Elektronen, welche die *Hülle* bilden. Weil durch elektrische Kräfte (Coulombkräfte) die Elektronen von den Protonen im Kern angezogen werden, fliegen sie nicht weg und werden auf den Elektronenschalen gehalten. Die Atomhülle macht den Grossteil des Atomvolumens aus.

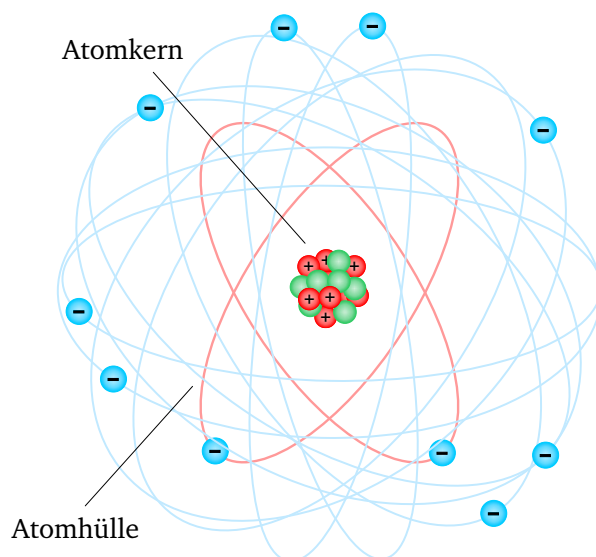


Abb. 18: Bohrsches Atommodell

Elektronen

(Sie sind negativ geladen.)

Sie tragen die Elementarladung $-e$.

Protonen

(Sie sind positiv geladen.)

Sie tragen die Elementarladung $+e$.

Das Proton besitzt eine circa 1840-mal grössere Masse als das Elektron.

Neutronen

(Sie haben keine Ladung.)

Das Neutron besitzt eine etwas grössere Masse als das Proton.

Ladungsneutralität

Atome wirken nach aussen elektrisch neutral, da gleich viele Elektronen wie Protonen vorhanden sind.

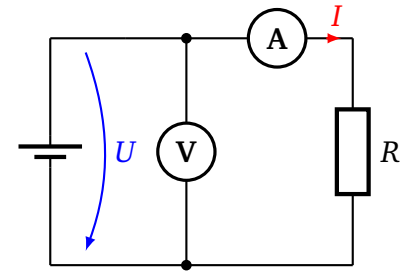
Fehlen einem Atom Elektronen, ist es als Ganzes positiv geladen. Ein solches Atom wird dann als positives Ion (Kation) bezeichnet.

Hat das Atom mehr Elektronen in der Hülle als Protonen im Kern, ist es negativ geladen. Ein solches Atom wird dann als negatives Ion (Anion) bezeichnet.

6.2 Ohm'sches Gesetz

Der deutsche Physiker *Georg Simon Ohm* (1789 - 1854) hat in zahlreichen Experimenten den Zusammenhang zwischen der Spannung U und dem Strom I bei verschiedenen elektrischen Leitern untersucht.

Er vermutete, dass die Stromstärke mit steigender Spannung wächst. Auf dieser Vermutung aufbauend, entdeckte er das nach ihm benannte *Ohm'sche Gesetz*.



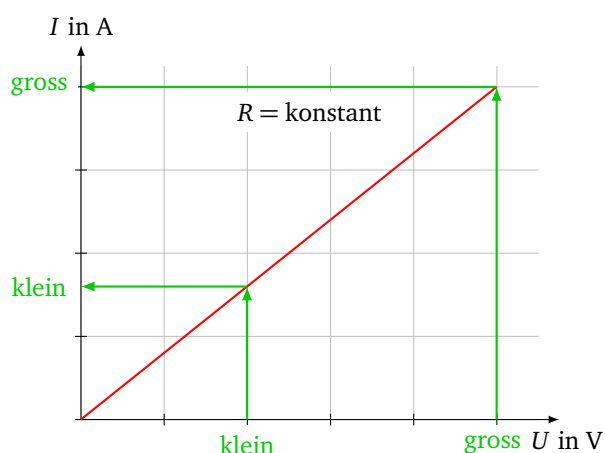
Wir untersuchen ebenfalls den Zusammenhang zwischen der Spannung U , dem Strom I und dem Widerstand R .

Messung 1:

An einem konstanten Widerstand verändern wir die Spannung und messen dabei den Strom.

$R = \text{konstant} = \underline{\quad 100 \quad} \Omega$

U in V	I in A
20	0.2
40	0.4
60	0.6
80	0.8
100	1.0



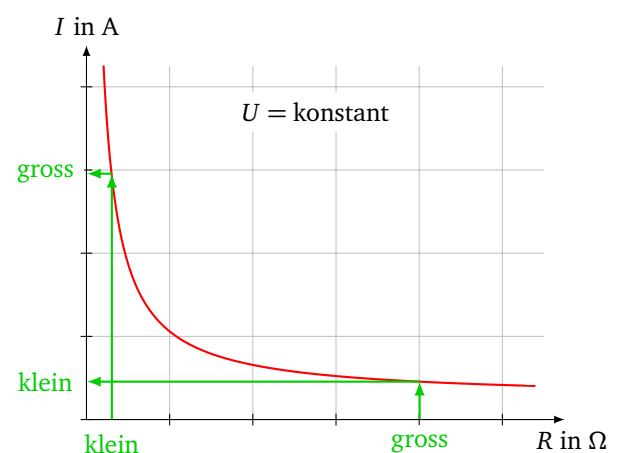
Der Strom I verhält sich
proportional
 zur Spannung U .

Messung 2:

An einer konstanten Spannung verändern wir den Widerstand und messen dabei den Strom.

$U = \text{konstant} = \underline{\quad 10 \quad} \text{V}$

R in Ω	I in A
5	2
10	1
20	0.5
40	0.25
50	0.20



Der Strom I verhält sich
umgekehrt proportional
 zum Widerstand R .

10.2 Gruppenschaltungen

Gruppenschaltungen bestehen aus mindestens 4 Widerständen in beliebiger Kombination.

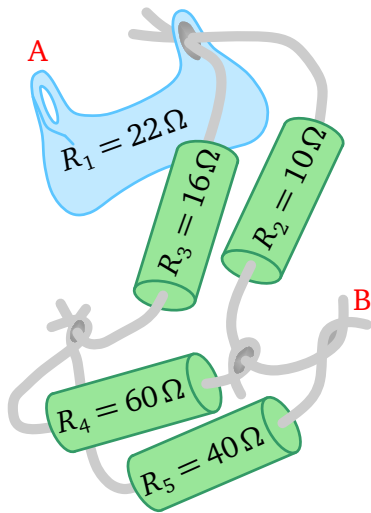


Abb. 36: Verlötete Widerstände

Um eine übersichtliche Darstellung der nebenstehenden Schaltung zu erreichen, ist es von grossem Vorteil, wenn man diese zuerst einmal umzeichnet.

Anschliessend ermittelt man den Gesamtwiderstand durch schrittweises Ersetzen von reinen Serie oder reinen Parallelschaltungen. Diesen Vorgang wiederholt man solange bis der Gesamtwiderstand berechnet ist.

In einem Schritt können nur reine Serie- und Parallelschaltungen zusammengefasst werden.

Nach jedem Rechenschritt kann man die Schaltung neu zeichnen, bis nur noch ein Widerstand übrig bleibt wie z.B. bei der Darstellung auf der Seite 10.1 unten. Weiter können die einzelnen Lösungsschritte auch in ein Schema eingetragen werden.

Übung

- Zeichnen Sie die obige Gruppenschaltung um und ermitteln Sie den Gesamtwiderstand zwischen den Anschlussklemmen A und B.

$$R_A = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{60\,\Omega \cdot 40\,\Omega}{60\,\Omega + 40\,\Omega} = \underline{24\,\Omega} \quad R_B = R_3 + R_A = 16\,\Omega + 24\,\Omega = \underline{40\,\Omega}$$

$$R_C = \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B} = \frac{10\,\Omega \cdot 40\,\Omega}{10\,\Omega + 40\,\Omega} = \underline{8\,\Omega} \quad R = R_1 + R_C = 22\,\Omega + 8\,\Omega = \underline{30\,\Omega}$$

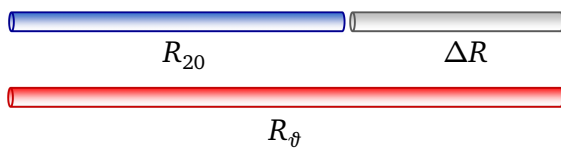
Fürs Berechnen des Gesamtwiderstandes einer gemischten Schaltung gilt der Grundsatz:

Auflösen gemischter Schaltungen

Eine gemischte Schaltung wird immer von innen nach aussen aufgelöst.

15.1.1 Kaltleiter

Beim Kaltleiter nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur zu.



$$R_\theta = R_{20} + \Delta R$$

Metallische Leiter (wie Kupfer, Aluminium, Eisen, etc.) haben ein PTC-Verhalten. Ihre Widerstandszunahme ist weitgehend linear und lässt sich mit dem Temperaturkoeffizienten α berechnen.

Weiter gibt es auch spezielle Halbleiterbausteine (PTC-Widerstände), deren Widerstand bei Temperaturerhöhung sprunghaft ansteigt. Die Widerstandsänderung ist jedoch nicht linear und muss einem Datenblatt entnommen werden.

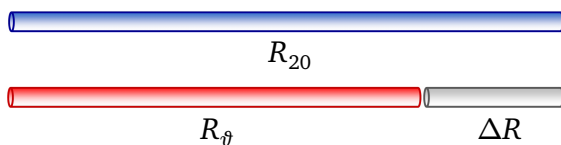
Die Widerstandszunahme wird durch einen *positiven* Temperaturkoeffizienten α berechnet.

Kaltleiter werden auch als PTC-Widerstände bezeichnet.

(PTC = Positiver Temperatur-Koeffizient)

15.1.2 Heissleiter

Beim Heissleiter nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab.



$$R_\theta = R_{20} - \Delta R$$

Viele Halbleitermaterialien der Elektronik, Kohle und Elektrolyte haben ein NTC-Verhalten. Beachten Sie auch, dass viele Isolierstoffe NTC-Verhalten aufweisen und bei hohen Temperaturen zu elektrischen Leitern werden.

Bei NTC-Materialien ist die Kennlinie nur teilweise linear. Im linearen Bereich lässt sich die Widerstandsabnahme mit dem Temperaturkoeffizienten α berechnen. Im nicht linearen Bereich müssen die Werte einer Kennlinie entnommen werden.

Die Widerstandsabnahme wird durch einen *negativen* Temperaturkoeffizienten α berechnet.

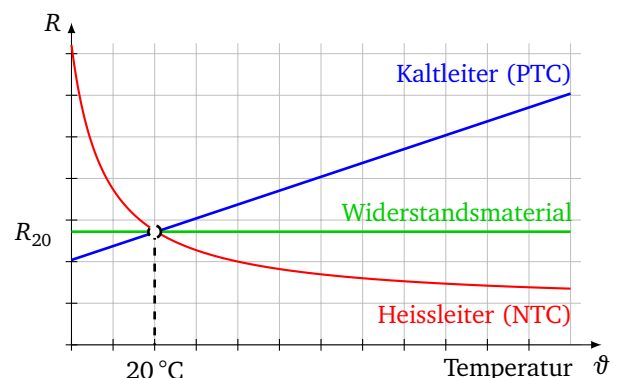
Heissleiter werden auch als NTC-Widerstände bezeichnet.

(NTC = Negativer Temperatur-Koeffizient)

15.1.3 Widerstandsmaterialien

Bei Widerstandsmaterialien (z.B. Manganin und Konstantan) verändert sich der Widerstand bei Temperaturänderung praktisch nicht. Der Temperaturkoeffizient α muss möglichst klein sein.

Widerstandsmaterialien werden beispielsweise für Präzisions- und Messwiderstände sowie für Heizwicklungen eingesetzt.



8.2 Vorwiderstand

8.15 Aufgabe

Eine Glühlampe 8 V / 0.6 A soll für eine Versuchsschaltung an 230 V angeschlossen werden.

- Wie gross ist die auf den Vorwiderstand entfallende Teilspannung?
- Wie gross muss der Vorwiderstand sein?

8.16 Aufgabe

Eine 0.5 W-Signallampe ist für eine Nennspannung von 230 V gebaut. Berechnen Sie den Vorwiderstand für den Anschluss an 400 V.

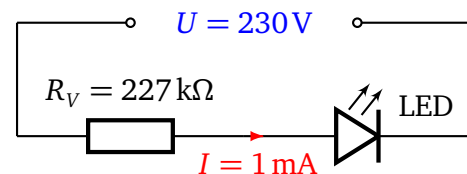
8.17 Aufgabe

Bei einer Betriebsspannung von $U_1 = 145 \text{ V}$ nimmt ein elektrischer Apparat einen Strom von $I_1 = 0.125 \text{ A}$ auf. Er soll an $U = 230 \text{ V}$ angeschlossen werden. Wie gross muss der Vorschaltwiderstand R_V gewählt werden?

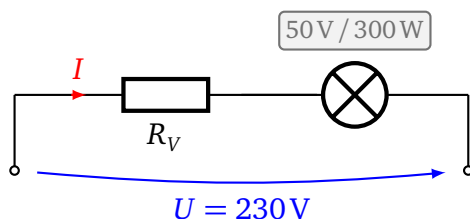
8.18 Aufgabe

Gegeben ist ein Orientierungsschalter Sch3 mit eingebauter Leuchtdiode (LED).

Berechnen Sie a) die Brennspannung und b) die Leistung der Leuchtdiode.



8.19 Aufgabe



Eine Projektionslampe für 50 V hat die Nennleistung 300 W.

Wie gross ist die bei einer 2.75-stündigen Power-Point-Vorführung aus dem Netz aufgenommene elektrische Arbeit?

8.20 Aufgabe

Ein Vorwiderstand reduziert die Leistung eines 230 V-Heizkörpers von 400 W auf 250 W. Welche Spannung liegt am Vorwiderstand?

8.21 Aufgabe

Die Stromstärke eines Lötkolbens mit den Nennwerten 230 V und 1.8 A soll durch einen Vorwiderstand um 55 % reduziert werden. Wie viele Ohm muss der Vorwiderstand haben?

8.22 Aufgabe★

Der Heizwiderstand eines Elektroofens ($100 \Omega / 1.8 \text{ A}$) ist über einen Vorwiderstand an die Netzspannung 230 V angeschlossen. Der Vorwiderstand besteht aus 4 Widerstandsspiralen.

Um welchen Betrag (in Volt und Prozent) seiner Nennspannung steigt die Klemmenspannung am Heizwiderstand, wenn von den vier in Reihe geschalteten gleichen Widerstandsspiralen des Vorwiderstandes eine durchgebrannt ist und deshalb überbrückt wurde?

13.2 Repetitionsfragen

13.15 Aufgabe ✓

Was versteht man unter einem Spannungsfall?

13.16 Aufgabe ✓

Wovon hängt die Grösse des Spannungsfalls in einer Leitung ab?

13.17 Aufgabe ✓

Früher bezeichnete man den Spannungsfall in Leitungen häufig auch als *Spannungsabfall* resp. als *Spannungsverlust*. Was wollen diese beiden Begriffe verdeutlichen?

13.18 Aufgabe ✓

Warum überträgt man die elektrische Energie in Überlandleitungen mit hohen Spannungen?

13.19 Aufgabe ✓

Auf welche Art verändert sich die Helligkeit einer Halogenglühlampe, wenn die Länge der Zuleitung stark vergrössert wird?

Die Lampe leuchtet ... ☐ gleich hell ☐ stärker ☐ schwächer

13.20 Aufgabe ✓

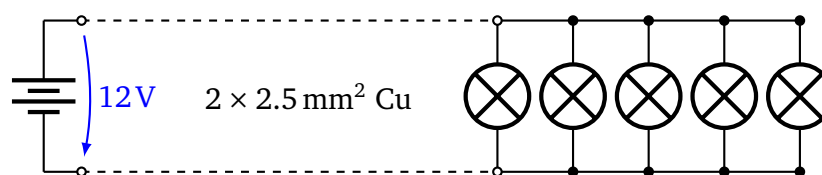
Ein Bauscheinwerfer wird an einer Kabelrolle eingesteckt. Die Lampe des Scheinwerfers geht defekt und wird durch eine neue mit grösserer Leistung ersetzt.

Wie verändert sich dadurch die Spannung am Ende der Kabelrolle?

Die Spannung ... ☐ wird grösser ☐ bleibt gleich ☐ wird kleiner

13.21 Aufgabe ✓

Fünf Lampen mit gleicher Leistung werden über eine 20 m lange Leitung angeschlossen.



a) Wie ändert die Spannung der Lampen, wenn der Querschnitt auf 4 mm^2 vergrössert wird?

Die Spannung ... ☐ wird grösser ☐ wird kleiner ☐ bleibt gleich

b) Wie ändert die Spannung der Lampen, wenn eine Lampe ausfällt?

Die Spannung ... ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ sinkt

c) Wie ändert die Spannung der Lampen, wenn eine Lampe mehr dazugeschaltet wird?

Die Spannung ... ☐ bleibt gleich ☐ steigt ☐ sinkt