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) Elekronen, 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.

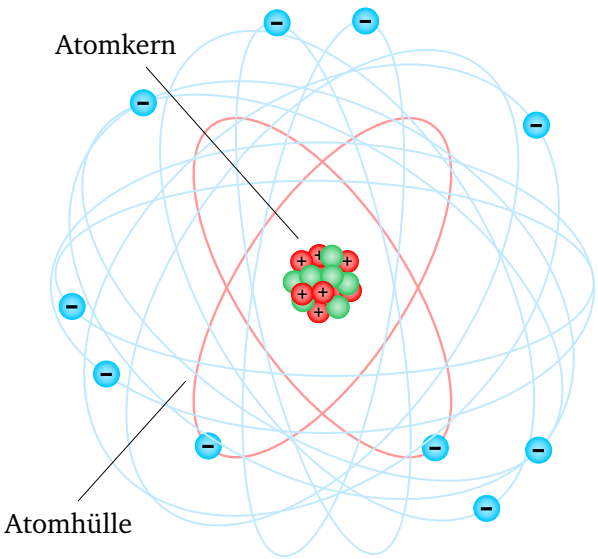


Abb. 18: Bohrsches Atommodell

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.

Aufgaben 2.1 bis 2.24

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.

Nun kann das *Ohm'sche Gesetz* wie folgt formuliert werden:

Ohm'sches Gesetz

$$\boxed{I = \frac{U}{R}} \quad \text{oder} \quad \boxed{U = R \cdot I}$$

$[U]$	elektrische Spannung	V
$[R]$	elektrischer Widerstand	Ω
$[I]$	elektrische Stromstärke	A

Übung

❶ In einer elektronischen Schaltung verwendet man einen Widerstand von 300 Ω. Wie gross ist die Stromstärke, wenn die angelegte Spannung 15 V beträgt?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{15\,\text{V}}{300\,\Omega} = \underline{\underline{0.05\,\text{A} = 50\,\text{mA}}}$$

❷ An welche Spannung darf ein Widerstand $R = 115\,\Omega$ angeschlossen werden, wenn der höchstzulässige Strom $I = 2\,\text{A}$ beträgt?

$$U = R \cdot I = 115\,\Omega \cdot 2\,\text{A} = \underline{\underline{230\,\text{V}}}$$

Beispiel

Wie muss der Widerstand eines Bauelementes geändert werden, um bei 4-facher Spannung eine Halbierung des Stromes zu erhalten?

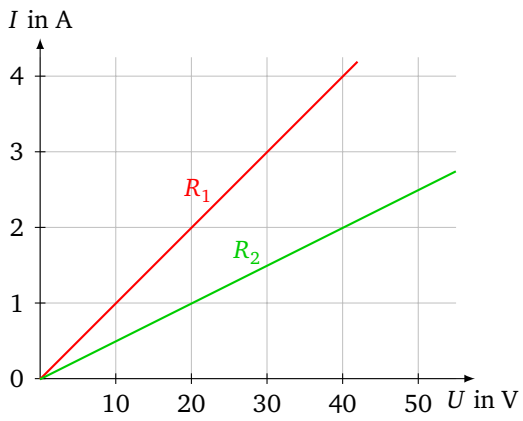
Merken Sie sich: Solche Aufgaben löst man am einfachsten, indem man konkrete Zahlenwerte annimmt: z.B. $U_1 = 10\,\text{V}$; $I_1 = 10\,\text{A}$ somit sind $U_2 = 40\,\text{V}$; $I_2 = 5\,\text{A}$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{10\,\text{V}}{10\,\text{A}} = \underline{1\,\Omega} \qquad R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{40\,\text{V}}{5\,\text{A}} = \underline{8\,\Omega}$$

Er muss $\underline{\underline{8\times \text{ grösser}}}$ werden.

❸ Zeichnen Sie die Widerstandskennlinien folgender Widerstände:

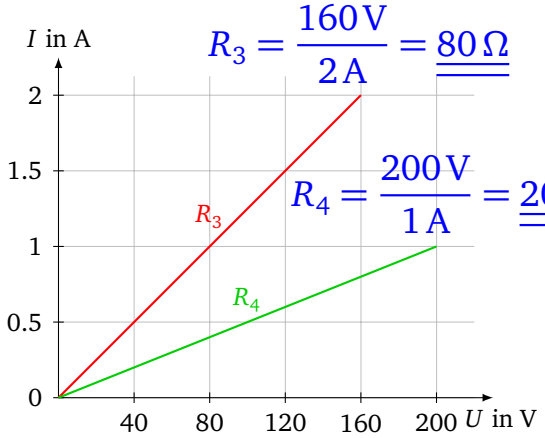
$R_1 = 10\,\Omega$ und $R_2 = 20\,\Omega$



❹ Bestimmen Sie die beiden Widerstandswerte von R_3 und R_4.

$$R_3 = \frac{160\,\text{V}}{2\,\text{A}} = \underline{\underline{80\,\Omega}}$$

$$R_4 = \frac{200\,\text{V}}{1\,\text{A}} = \underline{\underline{200\,\Omega}}$$



Aufgaben 6.1 bis 6.33

7.2 Erweitertes Ohm'sches Gesetz

Die elektrische Leistung kann auch direkt über den Widerstand eines Verbrauchers bestimmt werden. Dazu müssen die beiden Formeln des Ohm'schen Gesetzes und der elektrischen Leistung kombiniert werden. D.h. die Formel vom Ohm'schen Gesetz $U = R \cdot I$ muss in die Formel der elektrischen Leistung $P = U \cdot I$ eingesetzt werden:

$$P = U \cdot I \qquad I = \frac{U}{R}$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

Die Leistung P verändert sich quadratisch zur Spannung U.

$$P = U \cdot I \qquad U = R \cdot I$$

$$P = R \cdot I \cdot I \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = I^2 \cdot R}$$

Die Leistung P verändert sich quadratisch zur Stromstärke I.

Übung

❶ Lösen Sie die obigen beiden Gleichungen nach den Grössen R, I und U auf.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = \frac{U^2}{P}} \quad \text{und} \quad \boxed{U = \sqrt{P \cdot R}}$$

$$P = I^2 \cdot R \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = \frac{P}{I^2}} \quad \text{und} \quad \boxed{I = \sqrt{\frac{P}{R}}}$$

❷ Wie verändert sich die Leistung eines Lötkolbens mit 50 Ω Widerstand, wenn die Spannung von 100 V auf 200 V erhöht wird?

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R} = \frac{(100\,\text{V})^2}{50\,\Omega} = \underline{\underline{200\,\text{W}}} \qquad P_2 = \frac{U_2^2}{R} = \frac{(200\,\text{V})^2}{50\,\Omega} = \underline{\underline{800\,\text{W}}}$$

Weil die Spannung 2 × grösser wird, entsteht eine 4 × grössere Leistung.

❸ Der Wicklungswiderstand einer Heizung beträgt 10 Ω. Wie verändert sich die Leistung dieser Heizung, wenn die Stromstärke von 9 A auf 3 A reduziert wird?

$$P_1 = I_1^2 \cdot R = (9\,\text{A})^2 \cdot 10\,\Omega = \underline{\underline{810\,\text{W}}} \qquad P_2 = I_2^2 \cdot R = (3\,\text{A})^2 \cdot 10\,\Omega = \underline{\underline{90\,\text{W}}}$$

Weil der Strom 3 × kleiner wird, entsteht eine 9 × kleinere Leistung.

13 Spannungsfall

Lernziele: Sie können …

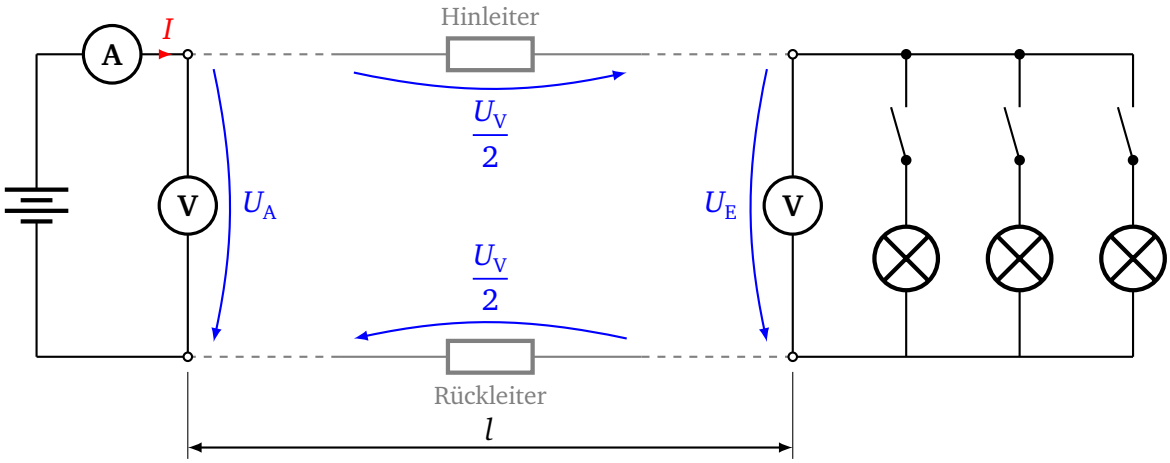
- ✓ erklären, von welchen zwei Grössen der Spannungsfall abhängt
- ✓ Berechnungen zum Spannungsfall auf Leitungen fehlerfrei durchführen

13.1 Spannungsfall auf Leitungen

Um elektrische Energie nutzen zu können, muss der elektrische Strom über Leitungen vom Erzeuger bis zur Last, also dem Verbraucher, transportiert werden.

Im letzten Kapitel haben wir bereits gesehen, dass der Widerstand einer Leitung nicht Null ist, sondern von Material, Querschnitt und Länge abhängt.

Den Transport des elektrischen Stromes vom Erzeuger über die Hinleitung zur Last und wieder zurück über die Rückleitung zum Erzeuger kann man als *Serieschaltung* betrachten.



Wir schalten am Ende einer Leitung immer mehr Lampen dazu. Was stellen Sie fest?

Je mehr Lampen zugeschaltet werden, umso kleiner wird der Lastwiderstand, desto grösser wird der Strom. Die Spannung U_E am Leitungsende sinkt. Die Lampen leuchten deshalb schwächer.

Da durch die Leitung ein Strom fliesst, fällt an Hin- und Rückleitung eine Spannung ab, so dass die von der Spannungsquelle erzeugte Spannung nicht komplett an der Last zu Verfügung steht. Die Spannung U_E am Ende der Leitung ist um den Spannungsfall U_V kleiner als die Spannung U_A am Anfang der Leitung. Nach den Gesetzen der Serieschaltung gilt:

Spannung am Leitungsende

$$\boxed{U_E = U_A - U_V}$$

$[U_E]$	Spannung am Leitungsende	V
$[U_A]$	Spannung am Leitungsanfang ...	V
$[U_V]$	Spannungsfall	V

3.11 Aufgabe

Ein Draht soll mit 70 A Strom beziehungsweise mit 2 A/mm^2 Stromdichte belastet werden. Welchem Querschnitt entspricht dies?

3.12 Aufgabe

In einer Sammelschiene mit rechteckigem Querschnitt 8 mm × 3 mm soll die Stromdichte höchstens 6.5 A/mm^2 betragen. Wie gross darf die Stromstärke im Höchstfall sein?

3.13 Aufgabe

Ein Elektromagnet besteht aus Kupferwindungen mit Durchmesser $d = 2.5$ mm. Diese sollen eine Stromdichte von $J = 2.2$ A/mm^2 aufweisen.

a) Wie gross ist der Leiterquerschnitt A der Kupferwindungen?

b) Wie gross ist die Stromstärke I?

3.14 Aufgabe

Die Wicklungen eines Elektromagneten besteht aus isoliertem Kupferrunddraht mit 1.2 mm Durchmesser. Die Stromdichte soll 4 A/mm^2 nicht überschreiten.
Wie gross ist die zulässige Stromstärke?

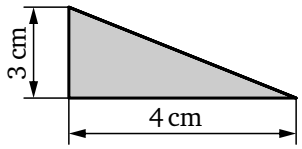
3.15 Aufgabe

In der Anschlussleitung ($A_1 = 0.5$ mm^2) einer Deckenleuchte fliesst der Strom $I = 265$ mA. Bestimmen Sie a) die Stromdichte in der Anschlussleitung und b) im Glühfaden, wenn dieser einen Durchmesser von $d = 0.025$ mm aufweist.

3.16 Aufgabe

Eine Sammelschiene hat den gegebenen Querschnitt. Sie wird im Kurzschlussfall von 9.6 kA durchflossen.

Berechnen Sie die Stromdichte in A/mm^2 der Sammelschiene.



3.17 Aufgabe

In einem Kupferdraht fliesst ein Strom von 63 A. Die Stromdichte beträgt 3.94 A/mm^2. Berechnen Sie a) den Leiterquerschnitt A und b) den Drahtdurchmesser d.

3.18 Aufgabe

Durch einen runden Heizdraht (NiCr8020) eines Wasserkochers fliesst ein Strom von $I = 9$ A. Die Stromdichte beträgt $J = 45$ A/mm^2. Welchen Durchmesser d hat der Heizdraht?

3.19 Aufgabe★

Ein Kupferleiter mit den Nennquerschnitt 1.5 mm^2 wird durch fehlerhaftes Abisolieren rundherum 0.1 mm tief eingeschnitten.

a) Wie gross ist der noch verbleibende Querschnitt?

b) Auf welchen Wert verringert sich die Strombelastbarkeit, wenn bei Nennquerschnitt die zulässige Stromdichte 10.93 A/mm^2 beträgt?

6 Ohm'sches Gesetz

6.1 Berechnungen

6.1 Aufgabe

Ein Toaster mit dem Widerstand $R = 51\,\Omega$ wird an $U = 230\,\mathrm{V}$ angeschlossen.
Wie viel Strom I fliesst?

6.2 Aufgabe

Über einem Zeitrelais misst man $U = 48\,\mathrm{V}$ Spannung. Welchen Widerstand R hat das Bauteil, wenn durch dieses ein Strom von $I = 0.25\,\mathrm{A}$ fliesst?

6.3 Aufgabe

Durch einen $120\,\Omega$-Widerstand fliesst eine Stromstärke von $I = 1.2\,\mathrm{A}$.
An welche Spannung U ist der Widerstand angeschlossen?

6.4 Aufgabe

Ein Heisswassergerät hat im Betriebszustand einen Widerstand von $24.2\,\Omega$.
Wie gross ist die Stromaufnahme des Gerätes bei Anschluss an $230\,\mathrm{V}$?

6.5 Aufgabe

Auf dem Leistungsschild eines Schiebewiderstandes, der für Demonstrationszwecke an einer Berufsfachschule benutzt wird, stehen folgende Angaben: $1.3\,\mathrm{A}$ und $330\,\Omega$

Berechnen Sie die höchstzulässige Spannung!

6.6 Aufgabe

In einer Anlage mit der Bemessungsspannung $230\,\mathrm{V}$ tritt ein Kurzschluss auf. Der Widerstand der gesamten Installation beträgt $160\,\mathrm{m}\Omega$. Wie gross ist der Kurzschlussstrom?

6.7 Aufgabe

Wie gross ist der Widerstand R einer Halogen-Glühlampe, die bei Anschluss an $U = 230\,\mathrm{V}$ einen Strom von $I = 0.265\,\mathrm{A}$ aufnimmt?

6.8 Aufgabe

Ein Relais mit $500\,\Omega$ Wicklungswiderstand wird an $24\,\mathrm{V}$ angeschlossen.
Bestimmen Sie die Stromstärke in der Relaisspule.

6.9 Aufgabe

Wie gross ist der Widerstand einer kleinen Signallampe mit der Angabe $3.5\,\mathrm{V}$ / $200\,\mathrm{mA}$ bei Nennbelastung?

6.10 Aufgabe

Welcher Strom fliesst durch die Isolation eines Kondensators, wenn dieser an $12\,\mathrm{V}$ Gleichspannung angeschlossen wird und der Isolationswiderstand $0.6\,\mathrm{M}\Omega$ beträgt?

 © G. Lenherr

12.19 Aufgabe

Eine 2-drähtige, kupferne Steuerleitung ($\rho_{Cu} = 0.0175\,\Omega \cdot mm^2/m$) von 120 m Länge darf höchstens 2.1 Ω Widerstand besitzen. Berechnen Sie den Mindestquerschnitt und geben Sie den nächst grösseren, genormten Leiterquerschnitt an.

12.20 Aufgabe

Ein Heizband aus einer Nickel-Chrom-Legierung mit 3 mm × 0.2 mm Querschnitt soll an der Spannung 230 V die Stromstärke 4.4 A aufnehmen. ($\rho_{NiCr} = 1.09\,\Omega \cdot mm^2/m$)

Wie gross müssen a) der Widerstand R und b) die Bandlänge l sein?

12.21 Aufgabe

Zwischen zwei um 6 m voneinander entfernten Punkten eines Starkstromleiters aus Kupfer von 70 mm² Querschnitt wird eine Spannung von 0.33 V gemessen. ($\rho = 0.0175\,\Omega \cdot mm^2/m$)

a) Wie gross ist der Leiterwiderstand zwischen den Messpunkten?

b) Welche Stromstärke fliesst im Leiter?

12.22 Aufgabe

Ein Stück 1 mm²-Draht hat bei einer Länge von 35 cm einen Widerstand von 169.7 mΩ.

Ermitteln Sie a) den spezifischen Widerstand ρ und b) die Leitfähigkeit γ.

12.23 Aufgabe

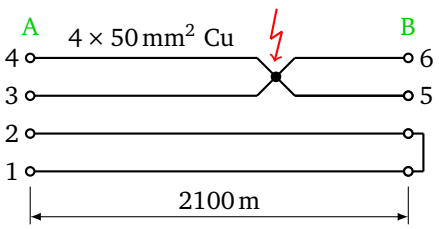
Berechnen Sie den Widerstand R eines Aldrey-Freileitungsseils der Länge $l = 12.2$ km und dem Leiterquerschnitt $A = 147\,mm^2$. (Leitfähigkeit Aldrey: $\gamma = 30.5\,S \cdot m/mm^2$)

12.24 Aufgabe

Berechnen Sie die Leitfähigkeit γ eines 2.5 mm²-Leiters, der bei einer Länge von 42 m einen Widerstand von 299 mΩ besitzt. Aus welchem Material besteht der Leiter?

12.25 Aufgabe

In einem 2100 m langen Erdkabel entsteht an unbekannter Stelle ein Kurzschluss zwischen zwei Adern. Drei Widerstandsmessungen ergeben: $R_{12} = 1.50\,\Omega$, $R_{34} = 1.25\,\Omega$; $R_{56} = 0.25\,\Omega$



a) Handelt es sich um einen satten Kurzschluss oder ist zusätzlich zum Kupferwiderstand ein Übergangswiderstand entstanden?

b) In welcher Entfernung zum Standort A ist die Fehlerstelle zu suchen? ($\rho_{Cu} = 0.0175\,\Omega \cdot mm^2/m$)

12.26 Aufgabe★

Ein Messwiderstand $R = 1\,k\Omega$ ist durchgebrannt. Der Widerstand ist aus Konstantandraht ($\rho_K = 0.5\,\Omega \cdot mm^2/m$) mit 0.2 mm Durchmesser gewickelt. Der neue Widerstand soll auch aus Konstantan, aber mit 0.25 mm Durchmesser gewickelt werden. Wie viel länger muss der neue Draht werden, um den ursprünglichen Widerstandswert zu erhalten?