**Grundlagen der Physik mit Experimenten**
**für Studierende der Medizin, Zahnmedizin und Pharmazie**

*Übungsaufgaben für die Übungsstunde in der Woche vom 04.12.17 // Woche 49*

# 6 - Elektronik

**Übungsaufgaben zum Lösen daheim:**

WS 2003/2004 #21
SS 2004 #4
SS 2004 #19
SS 2004N #23
WS 2004/2005 #12
WS 2004/2005 #19
SS 2005N #5
SS 2006N #26
WS 2006/2007 #1
WS 2006/2007 #12
SS 2007N #17
WS 2007/2008 #1
SS 2008N #20
SS 2008N #25

## NÜTZLICHE FORMELN UND GRUNDLAGEN

**Strom und Ladung:**
Der Strom $I$ ist anschaulich gesehen die Ladung $Q$, die pro Zeit $t$ durch einen Leiter fließt.

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{bzw.} \qquad Q = I\,t. \tag{1}$$

**Strom und Widerstand:** Über einen Widerstand $R$, durch den ein Strom $I$ fließt, fällt eine Spannung $U$ ab. Wird dies durch einen linearen Zusammenhang zwischen den drei Größen beschrieben, heißt der Widerstand $R$ auch Ohmscher Widerstand.

$$R = \frac{U}{I} \qquad \text{bzw.} \qquad I = \frac{U}{R} \qquad \text{und} \qquad U = R\,I. \tag{2}$$

**Addition von Widerständen:**
Es kommt darauf an, ob sich zwei Widerstände in Reihe in einer Schaltung befinden (siehe Abb. 1(a)), oder ob sie Teil einer Parallelschaltung sind (siehe Abb. 1(b)).

$$R_{Ges} = R_1 + R_2 \qquad \text{Reihenschaltung} \tag{3}$$

$$R_{Ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \qquad \text{Parallelschaltung} \tag{4}$$

**Widerstände von Leitern:**
Ein einfacher Leiter der Länge $l$ und des Querschnitts $A$ hat einen einfach zu berechnenden Widerstand, sofern er nicht durch den Strom selbst stark erwärmt wird.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}. \tag{5}$$

Der spezifische Widerstand $\rho$ ist dabei material- und temperaturabhängig. Der Leitungsquerschnitt $A$ ist meist rund, so dass wir in Bezug auf den Durchmesser oder den Radius des Querschnitts feststellen können:

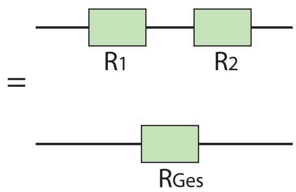
$$A = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} d^2 \qquad \text{also} \qquad R = \rho \cdot \frac{l}{\pi r^2} = \rho \cdot \frac{4l}{\pi d^2}. \tag{6}$$

**Kapazitäten:**
Das Symbol für einen Kondensator oder im Allgemeinen auch Kapazität genannt, ist $C$. Bringt man eine Ladung $Q$ auf einen Kondensator auf, ergibt sich eine Spannung $U$:

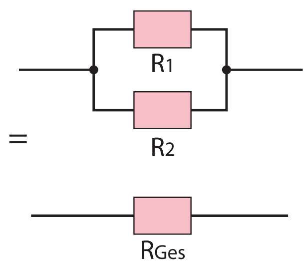
$$U = \frac{Q}{C} \qquad \text{bzw.} \qquad C = \frac{Q}{U} \qquad \text{und} \qquad Q = C\,U. \tag{7}$$

**Leistung:**
Fließt durch einen Widerstand $R$ ein Strom $I$, wird er sich erwärmen. Die Leistung $P$ (Einheit $W = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$) ergibt sich dann aus dem Produkt von angelegter Spannung $U$ und Strom $I$:

$$P = U\,I = R\,I^2 = \frac{U^2}{R}, \qquad \text{denn} \qquad R = \frac{U}{I}. \tag{8}$$




(a) Serienschaltung und Ersatzwiderstand $R_{Ges}$




(b) Parallelschaltung und Ersatzwiderstand $R_{Ges}$

Abbildung 1: Addition von Widerständen

**Lade- und Entladekurven:**
Oben genannte Formeln gelten für elektrische Kreise im Gleichgewichtszustand. Die Größen haben sich also schon auf die jeweiligen Werte eingestellt und verändern sich zeitlich nicht mehr. Anders muss man Aufgaben behandeln, bei denen es um Einschaltvorgänge geht, oder es wird z.B. ein Kondensator geladen oder auch entladen. Elektrische Größen bei Entladevorgängen folgen immer einer exponentiellen Kurve:

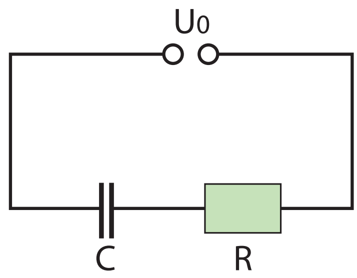



Abbildung 2: Ladeschaltung eines Kondensators $C$ über einen Widerstand $R$ mit einer angelegten Spannung $U_0$

$$Q_C(t) = Q_0 \cdot e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)} \tag{9}$$

$$I_C(t) = I_0 \cdot e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)}, \qquad \text{denn} \qquad I = \frac{Q}{t}, \qquad I_0 = \frac{Q_0}{t} \tag{10}$$

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)}, \qquad \text{denn} \qquad U = R\,I, \qquad U_0 = R\,I_0 \tag{11}$$

Ladevorgänge laufen genau andersherum ab:

$$Q_C(t) = Q_0 \left(1 - e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)}\right). \tag{12}$$

Die Form "1-..." kann man sich leicht klar machen: Zum Zeitpunkt $t = 0$ muss $Q_C(0) = 0$ sein, es ist ja noch keine Ladung angekommen. Der "1-..."-Term wird daher genau dann 0, da $e^0 = 1$ ist.

---

## Beispielaufgabe 1: SS 2004N #4

Silber ist einwertig, somit werden sich $Ag^+$ Ionen in Lösung bilden. Wenn man also weiss, wie viele Elektronen insgesamt geflossen sind, kann man die Gesamtmasse Silber an der Kathode durch diese Zahl teilen und erhält die Masse eines Silberatoms.
Berechne also zunächst die Zahl der Elektronen in der verwendeten Ladung

$$Q = I\,t = 400\,mA \cdot 30 \cdot 60\,\mathrm{s} = 720\,\mathrm{C}. \tag{13}$$

In $Q = 720\,\mathrm{C}$ sind

$$\#Elektronen = \frac{720\,\mathrm{C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\,\frac{1}{\mathrm{C}}} = 4,5 \cdot 10^{21}\ (Elektronen). \tag{14}$$

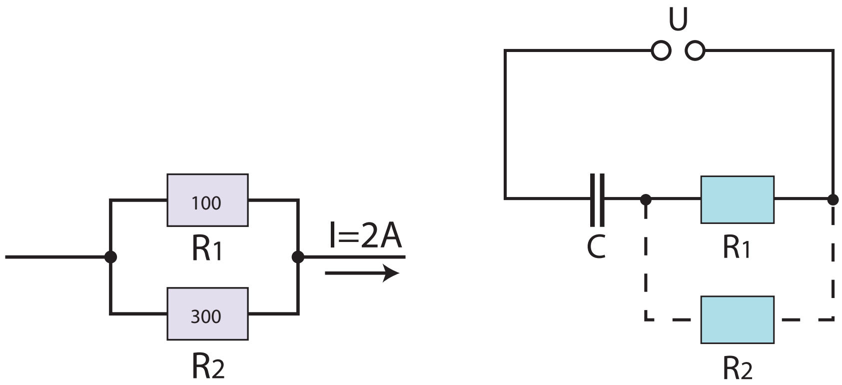
Also ist dann das Gewicht pro Silberatom direkt zu berechnen:

$$m_{Silberatom} = \frac{809\,\mathrm{mg}}{4,5 \cdot 10^{21}} = 1,8 \cdot 10^{-22}\,\mathrm{g} = 1,8 \cdot 10^{-25}\,\mathrm{kg}. \tag{15}$$

$\Rightarrow$ **Antwort B** "etwa $1,8 \cdot 10^{-25}\,\mathrm{kg}$" ist somit korrekt.

### Beispielaufgabe 2: SS 2006 #6

Diese Aufgabe lässt sich einmal rechnerisch lösen und einmal mehr intuitiv. Zunächst schauen wir uns die Rechnung an: Es soll die Leistung an $R_2$ berechnet werden, siehe Abbildung 3(a).




(a) Zeichnung zu Aufgabe WS 2006 #6 (b) Zeichnung zu Aufgabe WS 2003/2004 #5

Abbildung 3: Addition von Widerständen

$$P = U\, I_2 \tag{16}$$

Die Leistung ist gleich dem Produkt aus dem Strom durch $R_2$, also $I_2$, und $U$. Da es eine Parallelschaltung ist, liegt $U = U_1 = U_2$ überall gleichermaßen an, jedoch teilt sich der Strom auf zwischen $R_1$ und $R_2$. Um $U$ zu berechnen, braucht man zunächst den Ersatzwiderstand $R_{Ges}$ der Parallelschaltung aus $R_1$ und $R_2$.

$$R_{Ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{100\,\Omega} + \frac{1}{300\,\Omega}} = 75\,\Omega \tag{17}$$

Damit lässt sich $U$ berechnen zu:

$$U = R_{Ges}\, I = 150\,\mathrm{V}, \qquad \text{und damit auch} \qquad I_2 = \frac{U}{R_2} = 0{,}5\,\mathrm{A}. \tag{18}$$

Für die eigentlich gefragte Leistung an $R_2$ ergibt dies:

$$P = U\, I_2 = 150\,\mathrm{V} \cdot 0{,}5\,\mathrm{A} = 75\,\mathrm{W}. \tag{19}$$

Die intuitive Lösung ist sehr viel kürzer. Dazu ersetzt man in der Leistung die Spannung durch $R_2\, I_2$:

$$P = U\, I_2 = R_2\, I_2^2. \tag{20}$$

Widerstände sind eben genau das für den Strom: Ein Hindernis. Da der Widerstand $R_2$ dreimal so groß ist wie $R_1$, also $(1:3)$, wird durch $R_1$ dreimal mehr Strom fließen, als durch $R_2$: $(3:1)$. Die Stromstärke von $I = 2\,\mathrm{A}$ lässt sich da relativ einfach im Kopf drauf verteilen: $(1{,}5\,\mathrm{A} : 0{,}5\,\mathrm{A})$. $R_2$ ist also $0{,}5\,\mathrm{A}$, $U$ wird gar nicht gebraucht und somit ist

$$P = U\, I_2 = R_2\, I_2^2 = 300\,\Omega \cdot (0{,}5\,\mathrm{A})^2 = 75\,\mathrm{W}. \tag{21}$$

⇒ **Antwort C** "75 W" ist somit korrekt.

## Beispielaufgabe 3: WS 2003/2004 #5

Zunächst berechnet man den neuen Gesamtwiderstand der Schaltung, der aus einer Parallelschaltung von $R_1$ und $R_2$ besteht, siehe Abbildung 3(b).

$$R_G = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 200.000\,\Omega = 200\,\mathrm{k}\Omega \tag{22}$$

Die Entladekurve der Spannung am Kondensator $C$ wird beschrieben durch

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{\left(\frac{-t}{R\,C}\right)}, \tag{23}$$

also ist für die zwei Situationen, mit $R_1$ alleine oder in der Gesamtschaltung mit $R_2$ zur Zeit der jeweils halben Entladung ($U_C(t_1) = U_C(t_G) = 0,5\,U_0$), $t_1$ und $t_G$ sind dabei die Zeiten der halben Entladung:

$$0,5\,U_0 = U_0 \cdot e^{\left(\frac{-t_1}{R_1\,C}\right)}, \qquad \text{bzw.} \qquad 0,5\,U_0 = U_0 \cdot e^{\left(\frac{-t_G}{R_G\,C}\right)} \tag{24}$$

$$e^{\left(\frac{-t_1}{R_1\,C}\right)} = e^{\left(\frac{-t_G}{R_G\,C}\right)} \qquad \Leftrightarrow \qquad \frac{-t_1}{R_1\,C} = \frac{-t_G}{R_G\,C} \qquad \Leftrightarrow \qquad t_G = \frac{R_G}{R_1}\,t_1 = 0,2\,\mathrm{ms} \tag{25}$$

Auch hier gibt es wieder eine intuitive Lösung. Nachdem der Widerstand $R_G$ zu $1/5$ des ursprünglichen Widerstands $R_1$ berechnet wurde, kann man daraus schließen, dass nach $I = \frac{U}{R}$ der Strom um einen Faktor 5 ansteigt. Infolge dessen ist der Kondensator dann auch 5 mal so schnell leer, und die Halbwertszeit $t_G$ muss somit $1/5$ von $t_1$ sein.

$\Rightarrow$ **Antwort A** “$0,2\,\mathrm{ms}$” ist somit korrekt.