

3.2. Aufgaben zu Gleichstromkreisen

Aufgabe 1: Ladungstransport

- Warum leiten Metalle den elektrischen Strom?
- Wie wirkt sich eine Temperaturzunahme auf die kleinsten Teilchen aus?
- Begründe, warum die Leitfähigkeit der Metalle mit steigender Temperatur abnimmt.
- In welchem Zustand leiten Salze den elektrischen Strom?
- Warum nimmt die Leitfähigkeit der Salze unter den Bedingungen aus c) mit steigender Temperatur zu?

Aufgabe 2: Stromstärke und elektrische Energie

- Der Minuspol einer Gleichstromquelle gibt im Zeitabschnitt $\Delta t = 20$ min eine Ladung vom Betrag $\Delta Q = 1000$ C an den Stromkreis ab. Wie groß ist die mittlere Stromstärke?
- In einem Stromkreis wird die Stromstärke $I = 1,3$ A gemessen. Wie groß ist die Ladung, die in der Zeitspanne von $\Delta t = 100$ s durch das Ampèremeter geflossen ist?
- In einem Mobiltelefon fließt beim Abspielen eines Films eine Strom mit der Stärke $I = 30$ mA. In welcher Zeitspanne Δt hat der Akku eine Ladung von 1 C durch den Stromkreis getrieben?
- Nenne Beispiele für die Umwandlung elektrischer Energie in Wärme, Lichtenergie, mechanische Energie und chemische Energie.

Aufgabe 3: Spannung

- Ein Stromkreis wird von einer Stromquelle mit der Spannung $U = 6$ V angetrieben. Die Stromstärke beträgt $I = 1,2$ A. Welche Ladung ΔQ wurde im Zeitabschnitt $\Delta t = 45$ s durch den Stromkreis transportiert und welche elektrische Energie ΔW wurde dabei umgesetzt?
- Der Motor einer Waschmaschine läuft bei einer Netzspannung von $U = 220$ V mit einer Stromstärke von $I = 3,6$ A. Er hat einen Wirkungsgrad von $\eta = 80$ %, d.h., nur 80 % der zugeführten elektrischen Energie wird in mechanische Energie umgewandelt und die restlichen 20 % gehen als Abwärme verloren. Welche mechanische Arbeit verrichtet der Motor in einer Stunde und wie viel Wärme produziert er in dieser Zeit?
- Zum Backen einer Waffel benötigt ein Waffeleisen eine Zeitspanne von $\Delta t = 30$ min bei einer Spannung von $U = 220$ V und einer Stromstärke von $I = 3$ A. Wie viel Energie nimmt die Waffel auf, wenn der Wirkungsgrad $\eta = 60$ % beträgt, d.h., 40 % der Wärme werden nicht auf die Waffel übertragen, sondern auf das Gehäuse und die Umgebung?

Aufgabe 4: Elektrische Arbeit

- Der Motor einer Seilbahn befördert bei $U = 380$ V und $I = 84$ A in $\Delta t = 12$ min eine Last von $m = 2000$ kg gegen die Gravitationsfeldstärke $g = 10$ N/kg auf eine Höhe von $h = 800$ m. Berechne die vom Motor aufgenommene elektrische Arbeit W_{el} , die abgegebene Arbeit W_{Hub} und den Wirkungsgrad η der Seilbahn.
- Ein Warmwasserboiler mit dem Wirkungsgrad $\eta = 85$ % soll in $\Delta t = 1$ h eine Wassermenge von $m = 40$ kg von $\vartheta_1 = 16$ °C auf $\vartheta_2 = 80$ °C erwärmen. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist $c = 4,19$ J·g⁻¹·K⁻¹ und die Netzspannung beträgt $U = 220$ V. Berechne die an das Wasser abgegebene Wärme Q , die dafür benötigte elektrische Arbeit W_{el} und schließlich die erforderliche Stromstärke I . Ist eine 16 A-Sicherung ausreichend?
- Eine Pumpe soll bei einer Spannung von $U = 380$ V innerhalb der Zeitspanne $\Delta t = 30$ min eine Wassermenge von $m = 100$ t in ein $h = 78$ m höher gelegenes Staubecken pumpen. Der Wirkungsgrad ist $\eta = 85$ % und die Gravitationsfeldstärke ist $g = 10$ N/kg. Berechne die erforderliche Stromstärke I .

Aufgabe 5: Elektrische Leistung

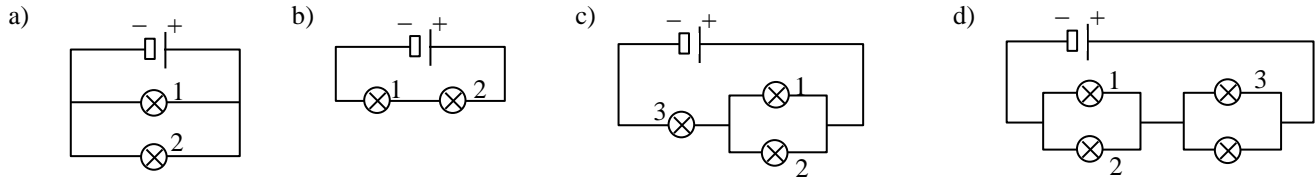
- Ein elektrisches Bügeleisen trägt die Aufschrift 220 V / 500 W. Wie groß ist die Stromstärke beim Einschalten?
- Eine 600 W-Heizplatte soll $m = 1$ kg Wasser mit der spezifischen Wärmekapazität $c = 4,19$ J·g⁻¹·K⁻¹ von $\vartheta_1 = 20$ °C auf $\vartheta_2 = 100$ °C erwärmen. Wie viele Minuten braucht sie dafür und welcher Strom fließt bei einer Spannung von $U = 220$ V?
- Ein Baukran wird mit einer Spannung von $U = 380$ V betrieben und hebt eine Masse von $m = 500$ kg in $\Delta t = 4$ s gegen die Gravitationsfeldstärke $g = 10$ N/kg auf eine Höhe von $h = 10$ m. Wie groß ist die erforderliche Stromstärke?

Aufgabe 6: Widerstand

- Wie groß ist der Widerstand eines Metalldrahtes, durch den bei einer angelegten Spannung von $U = 20$ V ein Strom von 0,5 A fließt?
- Bei welcher Spannung fließt ein Strom von 1 A durch den Draht aus a)?
- Welcher Strom fließt bei $U = 4$ V durch den Draht aus a)?
- Durch eine Spule fließt bei 4,8 V ein Strom von 1,2 A. Wie groß ist die Stromstärke bei 6 V?
- Berechne die Stromstärke und den Widerstand für eine 40 W-Leuchtstoffröhre bei 220 V.
- Ein Heizstrahler soll bei $U = 220$ V jede Minute die Wärmemenge $\Delta W = 48$ kJ an die Umgebung abgeben. Berechne seine Leistung P , den Widerstand R und die erforderliche Stromstärke I .

Aufgabe 7: Stromkreise

Was passiert mit Leuchten 2 und 3, wenn Leuchte 1 ausfällt? Leuchten sie heller, gleich hell, weniger hell oder gehen sie aus?



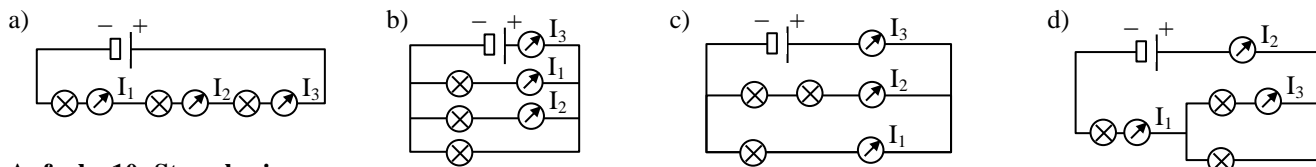
Aufgabe 8: Stromkreise

Zeichne das Schaltbild eines Stromkreises mit drei Leuchten, bei denen man

- alle drei Leuchten mit einem Schalter
- jede Leuchte einzeln mit je einem Schalter
- zwei Leuchten gemeinsam mit einem Schalter und unabhängig davon die dritte Leuchte mit einem zweiten Schalter betätigen kann.

Aufgabe 9: Stromkreise

Bestimme die Stromstärke an den Stellen 2 und 3, wenn das Ampèremeter 1 den Strom $I_1 = 1 \text{ A}$ anzeigt und die Leuchten alle gleich sind:

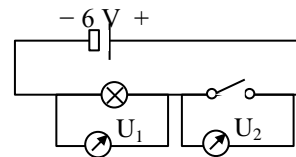


Aufgabe 10: Stromkreise

Welche Spannung zeigen die Voltmeter U_1 und U_2 bei

- geöffnetem
 - geschlossenen
- Schalter an? **Begründe!**

Die Voltmeter haben einen praktisch unendlich großen Widerstand (und zweigen daher praktisch keine Ströme ab) und die Verbindungskabel sowie die Batterie haben praktisch keinen Widerstand (und bewirken daher praktisch keinen Spannungsabfall)

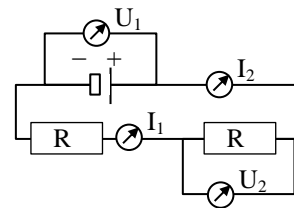


Aufgabe 11: Stromkreise

In dem nebenstehen Schaltbild sind die beiden Widerstände gleich groß.

- Vergleiche die beiden Spannungen und **begründe**.
Gilt $U_1 < U_2$, $U_1 = U_2$ oder $U_1 > U_2$?
- Vergleiche die beiden Stromstärken und **begründe**.
Gilt $I_1 < I_2$, $I_1 = I_2$ oder $I_1 > I_2$?

Die Voltmeter haben einen praktisch unendlich großen Widerstand (und zweigen daher praktisch keine Ströme ab) und die Verbindungskabel sowie die Batterie haben praktisch keinen Widerstand (und bewirken daher praktisch keinen Spannungsabfall)



Aufgabe 12: Reihenschaltung

Zwei Widerstände $R_1 = 320 \Omega$ und $R_2 = 560 \Omega$ sind in Reihe an eine Stromquelle mit $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Der Gesamtstrom I wird mit einem Ampèremeter und die beiden Teilspannungen an den Widerständen mit zwei Voltmetern gemessen.

- Zeichne den Schaltplan mit den drei Messgeräten.
- Berechne den Gesamtwiderstand R_{ges} .
- Berechne die gesamte Stromstärke I
- Berechne die beiden Teilspannungen U_1 und U_2 .

Aufgabe 13: Reihenschaltung

Drei Widerstände $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ und $R_3 = 40 \Omega$ sind in Reihe an eine Stromquelle mit $U = 20 \text{ V}$ geschaltet. Der Gesamtstrom I wird mit einem Ampèremeter und die drei Teilspannungen an den Widerständen mit drei Voltmetern gemessen.

- Zeichne den Schaltplan mit den vier Messgeräten.
- Berechne den Gesamtwiderstand R_{ges} .
- Berechne die gesamte Stromstärke I
- Berechne die drei Teilspannungen U_1 , U_2 und U_3 .

Aufgabe 14: Reihenschaltung

- Eine Batterie hat die **Leerlaufspannung** $U_0 = 1,5 \text{ V}$, wenn man ein Voltmeter mit nahezu unendlich hohem Innenwiderstand an die Pole schließt. Wie groß ist dann die Stromstärke?
- Ihr **Kurzschlussstrom** ist $I_0 = 3 \text{ A}$, wenn man eine Ampèremeter mit nahezu verschwindendem Innenwiderstand an die Pole schließt. Wie groß ist dann die Spannung zwischen den Polen? Begründe.
- Wie groß ist der **Innenwiderstand** R_i der Batterie?
- Wie groß ist die Stromstärke I , wenn eine Leuchte mit dem Widerstand $R = 5,5 \Omega$ angeschlossen wird?
- Wie groß ist dann die **Lastspannung** $U(I)$ zwischen den Polen der Batterie?
- Warum nimmt die Lastspannung $U(I)$ einer Batterie mit zunehmender Stromstärke (=Last) ab und verschwindet ganz, wenn ein Kurzschluss hergestellt wird?
- Begründe die Gleichung $U_0 = R_i \cdot I + R \cdot I$ mit Hilfe des Schaltplans.

Aufgabe 15: Parallelschaltung

Zwei Widerstände $R_1 = 100 \Omega$ und $R_2 = 200 \Omega$ sind parallel an eine Stromquelle mit $U = 220 \text{ V}$ geschaltet. Der Gesamtstrom I wird mit einem Voltmeter und die beiden Teilströme an den Widerständen mit zwei Ampèremetern gemessen.

- Zeichne den Schaltplan mit den drei Messgeräten.
- Berechne die beiden Teilströme I_1 und I_2 .
- Berechne die gesamte Stromstärke I .
- Berechne den gesamten Widerstand R_{ges} .
- Berechne den gesamten Leitwert $\frac{1}{R_{\text{ges}}}$, bilde den Kehrwert und vergleiche mit d).

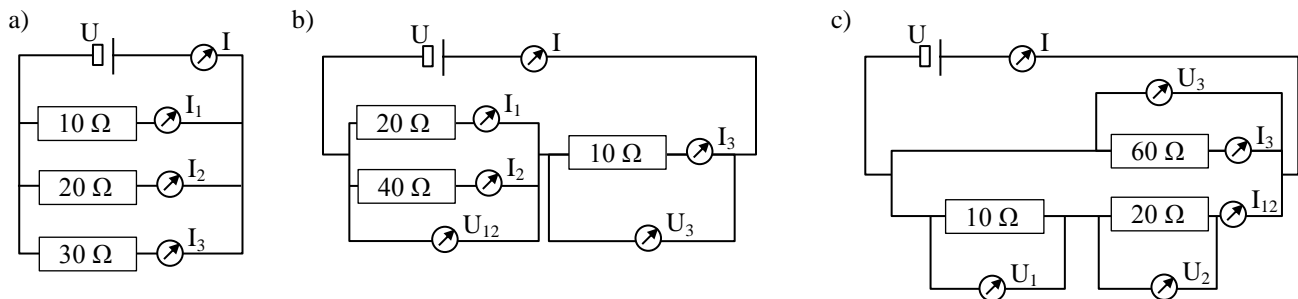
Aufgabe 16: Parallelschaltung

Drei Widerstände $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ und $R_3 = 6 \Omega$ sind parallel an eine Stromquelle mit $U = 2 \text{ V}$ geschaltet. Der Gesamtstrom I wird mit einem Voltmeter und die drei Teilströme an den Widerständen mit drei Ampèremetern gemessen.

- Zeichne den Schaltplan mit den vier Messgeräten.
- Berechne die Teilströme I_1 , I_2 und I_3 .
- Berechne die gesamte Stromstärke I .
- Berechne den gesamten Widerstand R_{ges} .
- Berechne den gesamten Leitwert $\frac{1}{R_{\text{ges}}}$, bilde den Kehrwert und vergleiche mit d).

Aufgabe 17: Parallel- und Reihenschaltung

Berechne jeweils alle angegebenen Teilströme und Teilspannung sowie den Teilwiderstand R_{12} und den Gesamtwiderstand R_{ges} für $U = 20 \text{ V}$:



Aufgabe 18: Parallel- und Reihenschaltung

Welche vier Widerstände $R_1 - R_4$ kann man durch Kombination von Reihen- und Parallelschaltung von drei $6\text{-}\Omega$ -Widerständen konstruieren?

Aufgabe 19: Dioden

- Welche Elemente eignen sich zur p-Dotierung von Silizium oder Germanium?
- Welche Elemente eignen sich zur n-Dotierung von Silizium oder Germanium?
- Warum ist ein n-dotierter Halbleiter nach außen hin elektrisch neutral?
- Warum müssen alle Halbleiter durch Vorwiderstände vor zu hohen Strömen geschützt werden?
- Welche Eigenschaften hat eine Diode mit einem Fahrradventil gemeinsam?
- Erkläre die Wirkungsweise eines pn-Übergangs.

Aufgabe 20: Transistoren

- Was hat ein Transistor mit einem Schieberegler gemeinsam?
- Warum muss die p-Schicht bei einem npn-Transistor besonders dünn sein?
- Warum sind Transistoren noch wärmeempfindlicher als Dioden?

3.2. Lösungen zu den Aufgaben zu Gleichstromkreisen

Aufgabe 1: Ladungstransport

- Das aus den überflüssigen Außenelektronen gebildete Elektronengas ist beweglich und kann Ladung transportieren.
- Ihre Bewegung bzw. im festen Zustand Vibration nimmt zu.
- Die zunehmende Bewegung der Atomrümpfe im Metallgitter behindert den Fluß des Elektronengases.
- Im gelösten oder geschmolzenen Zustand
- Die Beweglichkeit der Ionen wird durch die Energiezufuhr erhöht.

Aufgabe 2: Stromstärke und elektrische Energie

- $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 0,8\bar{3} \text{ A}$
- $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 130 \text{ C}$
- $\Delta t = \frac{\Delta Q}{I} = 33,3\bar{3} \text{ s}$
- siehe Skript.

Aufgabe 3: Spannung

- $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 54 \text{ C}$ und $\Delta W = U \cdot \Delta Q = 324 \text{ J}$
- $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 12960 \text{ C}$, $W_{\text{el}} = U \cdot \Delta Q = 2851,2 \text{ kJ}$, $W_{\text{mech}} = \eta \cdot W_{\text{el}} = 2281 \text{ kJ}$ und $Q = W_{\text{el}} - W_{\text{mech}} = 570,2 \text{ kJ}$
- $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 5400 \text{ C}$, $W_{\text{el}} = U \cdot \Delta Q = 1188 \text{ kJ}$, $W_{\text{mech}} = \eta \cdot W_{\text{el}} = 713 \text{ kJ}$ und $Q = W_{\text{el}} - W_{\text{mech}} = 475 \text{ kJ}$

Aufgabe 4: Elektrische Arbeit

- $W_{\text{el}} U \cdot I \cdot \Delta t = 23,256 \text{ MJ}$; $W_{\text{Hub}} = m \cdot g \cdot h = 16 \text{ MJ} \Rightarrow \eta = \frac{W_{\text{Hub}}}{W_{\text{el}}} = 68,8 \%$
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 10,726 \text{ MJ}$; $W_{\text{el}} = \frac{Q}{\eta} = 12,619 \text{ MJ}$ und $I = \frac{W_{\text{el}}}{\Delta t \cdot U} = 15,9 \text{ A}$
- $W_{\text{Hub}} = m \cdot g \cdot h = 78 \text{ MJ}$; $W_{\text{el}} = \frac{W_{\text{Hub}}}{\eta} = 91,76 \text{ MJ}$ und $I = \frac{W_{\text{el}}}{\Delta t \cdot U} = 134,2 \text{ A}$.

Aufgabe 5: Elektrische Leistung

- $I = \frac{P}{U} \approx 2,27 \text{ A}$
- $\Delta W = m \cdot c \cdot \Delta T = 335,2 \text{ kJ}$; $\Delta t = \frac{\Delta W}{P} = 558,6 \text{ s} \approx 10 \text{ min}$ und $I = \frac{P}{U} \approx 2,73 \text{ A}$
- $\Delta W = m \cdot g \cdot h = 50 \text{ kJ}$; $P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = 12,5 \text{ kW}$ und $I = \frac{P}{U} \approx 32,9 \text{ A}$.

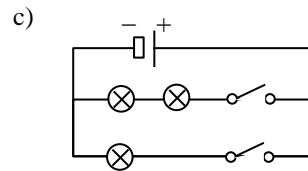
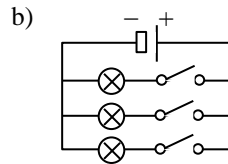
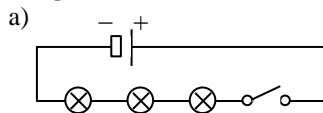
Aufgabe 6: Widerstand

- $R = \frac{U}{I} = 40 \Omega$.
- $U = R \cdot I = 40 \text{ V}$
- $I = \frac{U}{R} = 0,1 \text{ A}$
- $R = \frac{U_1}{I_1} = 4 \Omega$ und $I_2 = \frac{U_2}{R} = 1,5 \text{ A}$.
- $I = \frac{P}{U} \approx 0,18 \text{ A}$ und $R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = 1,21 \text{ k}\Omega$.
- $P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = 800 \text{ W}$; $I = \frac{P}{U} \approx 3,64 \text{ A}$ und $R = \frac{U^2}{P} = 60,5 \Omega$

Aufgabe 7: Stromkreise

Leuchte	a)	b)	c)	d)
2	gleich	aus	heller	heller
3	-	-	dunkler	dunkler

Aufgabe 8: Stromkreise



Aufgabe 9: Stromkreise

Strom	a)	b)	c)	d)
I_1	1 A	1 A	0,5 A	1 A
I_2	1 A	2 A	1,5 A	0,5 A

Aufgabe 10: Stromkreise

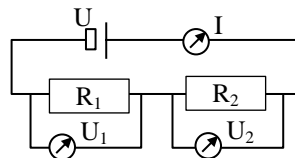
- a) $U_1 = 0 \text{ V}$ und $U_2 = 6 \text{ V}$
 b) $U_1 = 6 \text{ V}$ und $U_2 = 0 \text{ V}$

Aufgabe 11: Stromkreise

- a) $U_2 = \frac{1}{2} U_1$, da an jedem der beiden gleich großen Widerstände der gleiche Spannungsabfall gemessen wird und beide Widerstände zusammen genau die Spannung der Stromquelle kompensieren.
 b) $I_1 = I_2$, weil der Stromkreis an diesen Stellen unverzweigt ist. Die Stromstärke wäre deshalb auch dann noch gleich, wenn der geringe Messstrom durch die Voltmeter zu berücksichtigen wäre!

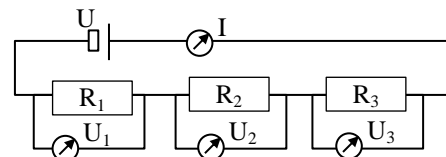
Aufgabe 12: Reihenschaltung

- a) siehe rechts.
 b) $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 = 880 \Omega$
 c) $I = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = 0,25 \text{ A}$
 d) $U_1 = R_1 \cdot I = 80 \text{ V}$ und $U_2 = R_2 \cdot I = 140 \text{ V}$



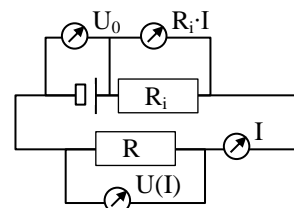
Aufgabe 13: Reihenschaltung

- a) siehe rechts.
 b) $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 = 70 \Omega$
 c) $I = \frac{U}{R_{\text{ges}}} \approx 0,286 \text{ A}$
 d) $U_1 = R_1 \cdot I = 2,86 \text{ V}$, $U_2 = R_2 \cdot I = 5,71 \text{ V}$ und $U_3 = R_3 \cdot I \approx 11,42 \text{ V}$



Aufgabe 14: Reihenschaltung

- a) Aufgrund des nahezu unendlichen Widerstandes des Voltmeters fließt kein Strom. $I = 0$
 b) Aufgrund des nahezu verschwindenden Widerstandes des Ampèremeters fällt keine Spannung ab: $U = 0$
 c) $R_i = \frac{U_0}{I_0} = 0,5 \Omega$
 d) $I = \frac{U_0}{R_i + R} = 0,25 \text{ A}$
 e) $U(I) = R \cdot I = U_0 - R_i \cdot I = 1,375 \text{ V}$
 f) Je stärker der Stromstärke I ist, desto größer ist die Spannung $R_i \cdot I$, die die Batterie für die Überwindung des eigenen Innwiderstandes aufbringen muss. Ein immer größerer Teil der abgegebenen Energie geht dabei durch Erwärmung der Batterie selbst verloren. Im Kurzschluss wird gar keine Energie mehr nach außen abgegeben (Lastspannung ist Null) und die Batterie wandelt ihre chemische Energie vollständig in Wärmeenergie um. Das kann bei leistungsfähigen Akkus in mobilen Geräten gefährlich werden!
 g) siehe rechts



Aufgabe 15: Parallelschaltung

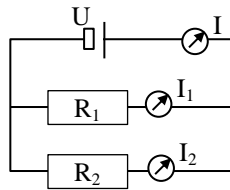
a) siehe rechts.

b) $I_1 = \frac{U}{R_1} = 2,2 \text{ A}$ und $I_2 = \frac{U}{R_2} = 1,1 \text{ A}$

c) $I = I_1 + I_2 = 3,3 \text{ A}$

d) $R_{\text{ges}} = \frac{U}{I} = 66,6 \bar{6} \ \Omega$

e) $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{3}{200} \ \Omega^{-1} \Rightarrow R_{\text{ges}} = \frac{200}{3} \ \Omega = 66,6 \bar{6} \ \Omega.$



Aufgabe 16: Parallelschaltung

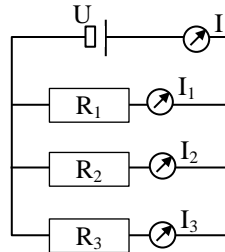
a) siehe rechts.

b) $I_1 = \frac{U}{R_1} = 0,6 \bar{6} \text{ A}$, $I_2 = \frac{U}{R_2} = 0,5 \text{ A}$ und $I_3 = \frac{U}{R_3} = 0,3 \bar{3} \text{ A}$

c) $I = I_1 + I_2 + I_3 = 1,5 \text{ A}$

d) $R_{\text{ges}} = \frac{U}{I} = 1,3 \bar{3} \ \Omega$

e) $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{3}{4} \ \Omega^{-1} \Rightarrow R_{\text{ges}} = \frac{4}{3} \ \Omega = 1,3 \bar{3} \ \Omega.$



Aufgabe 17: Parallel- und Reihenschaltung

Teil	U_1	U_2	U_3	U	I_1	I_2	I_3	I	R_{12}	R_{ges}
a)	20 V	20 V	20 V	20 V	2 A	1 A	$0,6 \bar{6} \text{ A}$	$3,6 \bar{6} \text{ A}$	$6,6 \bar{6} \ \Omega$	$5,45 \ \Omega$
b)	5 V	5 V	15 V	20 V	1 A	0,5 A	1,5 A	1,5 A	$13,3 \bar{3} \ \Omega$	$23,3 \bar{3} \ \Omega$
c)	$6,6 \bar{6} \text{ V}$	$13,3 \bar{3} \text{ V}$	20 V	20 V	$0,6 \bar{6} \ \Omega$	$0,6 \bar{6} \ \Omega$	$0,3 \bar{3} \text{ A}$	1 A	30 Ω	20 Ω

Aufgabe 18: Parallel- und Reihenschaltung

$R_1 = 18 \ \Omega$ (alle in Reihe)

$R_2 = 2 \ \Omega$ (alle parallel)

$R_3 = 4 \ \Omega$ (zwei in Reihe und einer parallel dazu)

$R_4 = 9 \ \Omega$ (zwei parallel und einer in Reihe dazu)

Aufgabe 19: Dioden

a) Die Elemente der 3. Hauptgruppe, vor allem die Halbmetalle Bor und Gallium

b) Die Elemente der 5. Hauptgruppe, vor allem die Halbmetalle Phosphor, Arsen und Antimon.

c) Die Ladung der zusätzlichen Elektronen wird durch zusätzliche Protonen im Atomkern ausgeglichen

d) Infolge der Anregung von Elektronen aus dem Valenzband in das Leiterband nimmt ihr Widerstand mit steigender Temperatur ab. Da Ströme elektrische Energie in Wärme umwandeln, und sich dadurch der Widerstand verringert, verstärkt sich der Strom, die Temperatur erhöht sich, der Widerstand sinkt weiter, usw. Es entsteht ein sich selbst verstärkender Kreislauf, der den Halbleiter sehr schnell zerstört.

e) Sie lässt den Strom nur in eine Richtung durch.

f) siehe Skript.

Aufgabe 20: Transistoren

a) Ein kleiner Basisstrom regelt einen großen Kollektorstrom.

b) Damit die Elektronen bei einem leichten Elektronenzug nicht nur zum Pluspol der Basis, sondern auch gleich in die benachbarte n-Schicht „hinübergeschwemmt“ werden und dort die Sperrschicht aus fehlenden Leiterbandelektronen beheben

c) Die dünne Zwischenschicht wird noch schneller beschädigt und der Transistor sperrt nicht mehr richtig.