

PRÜFUNGSVORBEREITUNG PHYSIK: WIDERSTAND, SCHALTUNGEN

Theoriefragen: Diese Begriffe musst du auswendig in maximal ein bis zwei Sätzen erklären können.

- a) Vektor/Skalar
- b) Nenne Beispiele für vektorielle/skalare Größen in der Physik
- c) Masse: - Welche Eigenschaften hat eine Masse?
 - Was bedeutet jede dieser Eigenschaften?
- d) Wechselwirkungsprinzip
- e) Kräftegleichgewicht
- f) Arbeit
- g) Energie
- h) Leistung
- i) Stromstärke
- j) Wozu verwenden wir den elektrischen Strom?
- k) Gleichstrom/Wechselstrom
- l) Parallelschaltung/Serieschaltung
- m) Spannung
- n) Elektrischer Widerstand
- o) Wovon hängt der elektrische Widerstand eines Drahtes ab? Gib vier Möglichkeiten an.
- p) Was versteht man unter einem Kurzschluss? Was geschieht bei einem Kurzschluss mit der Stromstärke?
- q) Welche Regeln gelten bezüglich Stromstärke und Spannung in der Serieschaltung?
- r) Welche Regeln gelten bezüglich Stromstärke und Spannung in der Parallelschaltung?

Physikalische Größen: Diese physikalischen Größen musst du kennen, mit Symbolen und Einheiten.

	Symbol	Einheit		Symbol	Einheit
Weg/Strecke			Zeit		
Geschwindigkeit			Beschleunigung		
Kraft			Masse		
Dichte			Volumen		
Ladung			Stromstärke		
Spannung			Widerstand		
spezifischer elektrischer Widerstand			Temperaturkoeffizient des el. Widerstandes		
Arbeit			Energie		
Leistung			Wirkungsgrad		

Fähigkeiten:

- Gleichungen für physikalische Situationen aufstellen
- Formeln umformen, Zahlenwerte mit Einheiten einsetzen und ausrechnen
- Resultate auf die richtige Anzahl Ziffern runden und mit einer Zehnerpotenz in der wissenschaftlichen Schreibweise notieren
- Diagramme zeichnen und interpretieren
- Elektrische und magnetische Feldlinienbilder interpretieren und zeichnen können
- Elektrische Schaltpläne interpretieren und zeichnen können
- Aufgaben mit vektoriellen Grössen zeichnerisch und rechnerisch lösen
- Joule in Elektronvolt umwandeln und umgekehrt
- Joule in Kilowattstunden umwandeln können und umgekehrt
- Fehlerschranken ausrechnen und korrekt angeben für Resultate, die aus Messwerten (mit Fehlerschranken) berechnet wurden

Übungsaufgaben: Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar ersichtlich sein.

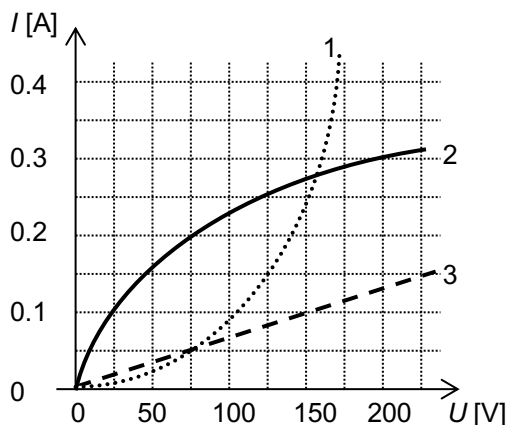
Bei Berechnungen werden für die volle Punktzahl eine algebraische Lösung (das heisst die Formel, umgeformt nach der gesuchten Grösse) und die vollständig eingesetzte Rechnung (das heisst Zahlenwerte mit Einheiten) verlangt.

Resultate müssen unterstrichen sein (Einheiten nicht vergessen!)

Alle Arbeitsblätter, Theorieblätter sowie Aufgabenblätter A59 – A61

Weitere Aufgaben

1. Jardar bestimmte den spezifischen elektrischen Widerstand eines Metalls. Dazu verwendete er einen Draht der Länge (389.7 ± 0.4) cm mit einem Durchmesser von (0.65 ± 0.01) mm. Der Widerstand des Drahtes betrug $(1.351 \pm 0.003) \Omega$.
Gib den spezifischen elektrischen Widerstand korrekt mit (absoluter) Fehlerschranke an.
2. Faris hat im Praktikum die Längenausdehnungszahl eines unbekannten Metalls bestimmt: Die Anfangslänge des verwendeten Stabes betrug (2826.3 ± 0.1) mm. Bei einer Temperaturzunahme von (67.5 ± 0.2) K betrug die Längenzunahme (4.6 ± 0.1) mm.
 - a) Gib die Längenausdehnungszahl korrekt mit (absoluter) Fehlerschranke an.
 - b) Um welches Material könnte es sich handeln?
3. Ströme ab einer Stärke von 20 mA sind gefährlich. Der Widerstand des menschlichen Körpers beträgt bei nasser Haut ca. 3.00 k Ω (3'000 Ω), bei trockener Haut ca. 30.00 k Ω (30'000 Ω). Welche Spannungen können demnach gefährlich sein?
4. Hier siehst du die I - U -Kennlinien (Diagramm für den Zusammenhang von Spannung und Stromstärke) von drei elektrischen Leitern.



- a) In welchen Fällen ist der Widerstand konstant? (D.h. wo sind Spannung und Stromstärke zueinander proportional?)
- b) Wie verhalten sich die Widerstände in den anderen Fällen? (Nimmt der Widerstand zu oder ab?)
- c) Um welche Materialien könnte es sich bei 1, 2 und 3 handeln?
- d) Berechne für alle drei Leiter den Widerstand bei 75 V, 125 V und 0.10 A.

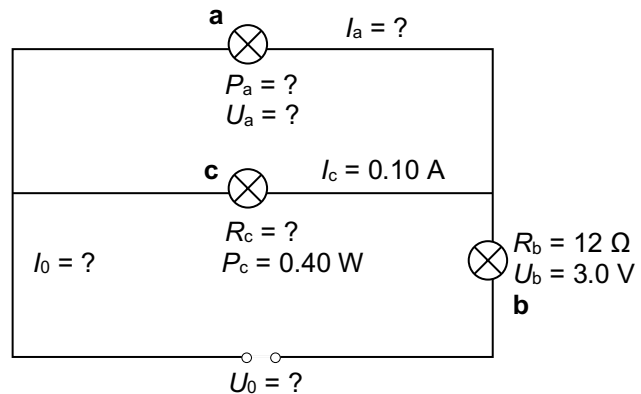
5. Pablo hat in einem Experiment den Widerstandsbeiwert eines Papierhütchens bestimmt. Die Masse des Hütchens betrug $(0.87 \pm 0.01) \text{ g}$ und der Durchmesser $(18.00 \pm 0.05) \text{ cm}$. Wenn er es aus grosser Höhe fallen liess, erreichte es eine konstante Sinkgeschwindigkeit von $(0.90 \pm 0.01) \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Dichte der Luft: $(1.20 \pm 0.05) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Fallbeschleunigung: $(9.806 \pm 0.005) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Gib den Widerstandsbeiwert korrekt mit Fehlerschranke an.

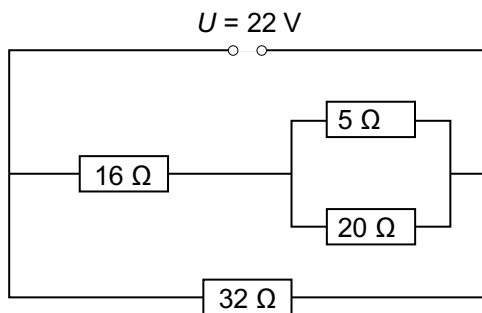
6. Hier siehst du verschiedene Lämpchen in einem Schaltplan dargestellt.

- Welches Lämpchen muss man herausdrehen, damit
 - nur ein Lämpchen
 - alle drei Lämpchen
 erlöschen?
- Welche Lampen sind hier parallel, welche in Serie zueinander geschaltet?
- Schreibe die fehlenden Grössen hinein.



7. Ein kleines Glühlämpchen wird bei 0.00870 kV betrieben. Die elektrische Leistung beträgt 0.13039 W.
- Markiere bei den benötigten Angaben die signifikanten Ziffern mit Punkten über der Ziffer. Wie viele signifikante Ziffern besitzen diese? Wie viele Ziffern sollte das Resultat besitzen?
 - Berechne die Stromstärke und runde das Resultat auf die richtige Anzahl signifikanter Ziffern.
 - Notiere das Resultat mit einer Zehnerpotenz in der wissenschaftlichen Schreibweise.
8. Drei Widerstände $R_1 = 3.0 \Omega$, $R_2 = 4.0 \Omega$ und $R_3 = 5.0 \Omega$ sind parallel an eine Spannungsquelle von 12 V angeschlossen.
- Wie gross sind die Spannungen an den einzelnen Widerständen?
 - Wie gross ist die gesamte Spannung?
 - Wie gross sind die Stromstärken, die durch die einzelnen Widerstände fliessen?
 - Wie gross ist die gesamte Stromstärke?
 - Wie gross sind die einzelnen Leistungen der drei Widerstände?
 - Wie gross ist die gesamte Leistung?
 - Wie gross ist der gesamte Widerstand?
9. Drei Widerstände $R_1 = 3.0 \Omega$, $R_2 = 4.0 \Omega$ und $R_3 = 5.0 \Omega$ sind in Serie an eine Spannungsquelle angeschlossen. Sie werden von einer Stromstärke von 1.0 A durchflossen.
- Wie gross sind die Spannungen an den einzelnen Widerständen?
 - Wie gross ist die gesamte Spannung?
 - Wie gross sind die Stromstärken, die durch die einzelnen Widerstände fliessen?
 - Wie gross sind die einzelnen Leistungen der drei Widerstände?
 - Wie gross ist die gesamte Leistung?
 - Wie gross ist der gesamte Widerstand?

10.



- Wie gross ist der Ersatzwiderstand dieser Schaltung?
- Wie gross ist die Stromstärke, die durch den 16 Ω-Widerstand fliesst?
- Wie gross ist die Spannung, die am 5 Ω-Widerstand anliegt?
- Wie gross müsste ein Widerstand an der Stelle des 5 Ω-Widerstandes sein, damit gleich viel Strom durch den 16 Ω-Widerstand wie durch den 32 Ω-Widerstand fliesst?

11. Ein Elektromotor hat einen Wirkungsgrad von 70 %.
Wie gross ist die Nutzleistung, wenn er $P_{\text{auf}} = 50 \text{ kW}$ aufnimmt?
12. Eine LED-Lampe setzt 25 % der elektrischen Energie in Lichtenergie um, eine Solarzelle hat einen Wirkungsgrad von 15 %.
Wie gross ist der Wirkungsgrad einer Kombination aus beiden?
13. Ein Silberdraht ($R = 25.3 \text{ m}\Omega$) hat einen Durchmesser von 4.16 mm. Der aktuelle Silberpreis beträgt 878.92 CHF je 1.000 kg Silber.
- Wie gross ist seine Querschnittsfläche?
 - Wie lang ist der Draht?
 - Wie gross ist sein Volumen?
 - Wie gross ist seine Masse?
 - Wie viel kostet der Draht?
14. Beim Bau von Überlandleitungen spielen der Preis, die Masse und der Gesamtwiderstand der Leitung eine wesentliche Rolle. Der aktuelle Kupferpreis beträgt 7'871.49 CHF pro Tonne und der aktuelle Aluminiumpreis beträgt 1'997.39 CHF pro Tonne.
- Welchen Widerstand und welche Masse hat eine Kupferleitung von 6.0 km Länge und 6.00 mm Durchmesser?
 - Wie gross wären Durchmesser und Masse einer Aluminiumleitung gleicher Länge und gleichen Widerstandes?
 - Was würde die Kupfer-, was würde die Aluminiumleitung kosten?
15. Eine Bleistiftmine (Graphit) ist 17.9 cm lang und hat einen Durchmesser von 1.80 mm.
Bei welcher Temperatur hat die Bleistiftmine einen Widerstand von 214 m Ω ?

Lösungen:

1.
$$\rho_{\text{el}} = \frac{R \cdot A}{\ell} = \frac{R \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{\ell} = \frac{R \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \ell} = \frac{1.351 \Omega \cdot \pi \cdot (0.65 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4 \cdot 3.897 \text{ m}} = 11.5038057 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$$
- $$\rho_{\text{el(max)}} = \frac{R_{\text{max}} \cdot \pi \cdot d_{\text{max}}^2}{4 \cdot \ell_{\text{min}}} = \frac{1.354 \Omega \cdot \pi \cdot (0.66 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4 \cdot 3.893 \text{ m}} = 11.89904243 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$$
- $$\Delta \rho_{\text{el}} = \rho_{\text{el(max)}} - \rho_{\text{el}} = 11.89904243 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m} - 11.5038057 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m} = 0.39523673 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$$
- $$= 0.4 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$$
- $$\rho_{\text{el}} = \underline{\underline{(11.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}}}$$
2. a)
$$\alpha = \frac{\Delta \ell}{\ell_0 \cdot \Delta T} = \frac{4.6 \text{ mm}}{2826.3 \text{ mm} \cdot 67.5 \text{ K}} = 0.00002411214 \frac{1}{\text{K}} = 24.11214 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$
- $$\alpha_{\text{max}} = \frac{\Delta \ell_{\text{max}}}{\ell_{0\text{min}} \cdot \Delta T_{\text{min}}} = \frac{4.7 \text{ mm}}{2826.2 \text{ mm} \cdot 67.3 \text{ K}} = 0.0000247104 \frac{1}{\text{K}} = 24.7104 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$
- $$\Delta \alpha = \alpha_{\text{max}} - \alpha = 0.0000247104 \frac{1}{\text{K}} - 0.00002411214 \frac{1}{\text{K}} = 0.000000598 \frac{1}{\text{K}} = 0.0000006 \frac{1}{\text{K}}$$
- $$\alpha = \underline{\underline{(0.0000241 \pm 0.0000006) \frac{1}{\text{K}}}} = \underline{\underline{(24.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}}}$$
- b) Aluminium
3. Nasse Haut: $U = R \cdot I = 3'000 \Omega \cdot 0.020 \text{ A} = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$
Trockene Haut: $U = R \cdot I = 30'000 \Omega \cdot 0.020 \text{ A} = \underline{\underline{600 \text{ V}}}$

4. a) Nur bei 3 ist R konstant.
 b) Bei 1: R bei 75 V: 1500 Ω , bei 150 V : 600 $\Omega \Rightarrow$ nimmt ab
 Bei 2: R bei 75 V: 375 Ω , bei 200 V : 667 $\Omega \Rightarrow$ nimmt zu
 c) 1: Kohle oder Graphit 2: Metall 3: Konstantan

d) $R = \frac{U}{I}$

	75 V	125 V	0.10 A
1:	1500 Ω	833 Ω	1100 Ω
2:	375 Ω	500 Ω	250 Ω
3:	1500 Ω	1500 Ω	1500 Ω

5.
$$c_w = \frac{2 \cdot F_L}{\rho_{\text{Luft}} \cdot v^2 \cdot A} = \frac{2 \cdot F_G}{\rho_{\text{Luft}} \cdot v^2 \cdot A} = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_{\text{Luft}} \cdot v^2 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{2 \cdot 0.87 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0.90 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.1800 \text{ m}}{2}\right)^2}$$

$= 0.689826670$

$$c_{w\text{max}} = \frac{2 \cdot m_{\text{max}} \cdot g_{\text{max}}}{\rho_{\text{Luft min}} \cdot (v_{\text{min}})^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{min}}}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot 0.88 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9.811 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0.89 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.1795 \text{ m}}{2}\right)^2} = 0.749081899$$

$\Delta c_w = c_{w\text{max}} - c_w = 0.749081899 - 0.689826670 = 0.059255229 = 0.06$

$c_w = \underline{(0.69 \pm 0.06)}$

6. a) nur eines: a oder c alle drei: b
 b) a und c parallel, in Serie zu b

c) $I_0 = I_b = \frac{U_b}{R_b} = \frac{3.0 \text{ V}}{12 \Omega} = \underline{0.25 \text{ A}}$ $I_a = I_0 - I_c = 0.25 \text{ A} - 0.10 \text{ A} = \underline{0.15 \text{ A}}$

$U_a = U_c = \frac{P_c}{I_c} = \frac{0.40 \text{ W}}{0.10 \text{ A}} = \underline{4.0 \text{ V}}$ $P_a = U_a \cdot I_a = 4.0 \text{ V} \cdot 0.15 \text{ A} = \underline{0.60 \text{ W}}$

$R_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{4.0 \text{ V}}{0.10 \text{ A}} = \underline{40 \Omega}$ $U_0 = U_a + U_b = 4.0 \text{ V} + 3.0 \text{ V} = \underline{7.0 \text{ V}}$

7. a) U : 3; P : 5; Resultat: 3
 b) $I = \frac{P}{U} = \frac{0.13039 \text{ W}}{8.70 \text{ V}} = 0.014987356 \text{ A} = \underline{0.0150 \text{ A}}$
 c) $\underline{1.50 \cdot 10^{-2} \text{ A}}$

8. a) $U_1 = U_2 = U_3 = 12 \text{ V}$ b) $U = 12 \text{ V}$
 c) $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ V}}{3.0 \Omega} = 4.0 \text{ A}$, $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12 \text{ V}}{4.0 \Omega} = 3.0 \text{ A}$, $I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{12 \text{ V}}{5.0 \Omega} = 2.4 \text{ A}$
 d) $I = I_1 + I_2 + I_3 = 4.0 \text{ A} + 3.0 \text{ A} + 2.4 \text{ A} = 9.4 \text{ A}$
 e) $P_1 = U_1 \cdot I_1 = 12 \text{ V} \cdot 4.0 \text{ A} = 48 \text{ W}$, $P_2 = U_2 \cdot I_2 = 12 \text{ V} \cdot 3.0 \text{ A} = 36 \text{ W}$,
 $P_3 = U_3 \cdot I_3 = 12 \text{ V} \cdot 2.4 \text{ A} = 28.8 \text{ W}$
 f) $P = P_1 + P_2 + P_3 = 48 \text{ W} + 36 \text{ W} + 28.8 \text{ W} = 112.8 \text{ W}$
 g) $R_{\text{gesamt}} = \frac{U_{\text{gesamt}}}{I_{\text{gesamt}}} = \frac{12 \text{ V}}{9.4 \text{ A}} = 1.3 \Omega$

9. a) $U_1 = R_1 \cdot I = 3.0 \Omega \cdot 1.0 \text{ A} = 3.0 \text{ V}$, $U_2 = R_2 \cdot I = 4.0 \Omega \cdot 1.0 \text{ A} = 4.0 \text{ V}$,
 $U_3 = R_3 \cdot I = 5.0 \Omega \cdot 1.0 \text{ A} = 5.0 \text{ V}$
 b) $U = U_1 + U_2 + U_3 = 3.0 \text{ V} + 4.0 \text{ V} + 5.0 \text{ V} = 12 \text{ V}$
 c) $I_1 = I_2 = I_3 = 1.0 \text{ A}$
 d) $P_1 = U_1 \cdot I_1 = 3.0 \text{ V} \cdot 1.0 \text{ A} = 3.0 \text{ W}$, $P_2 = U_2 \cdot I_2 = 4.0 \text{ V} \cdot 1.0 \text{ A} = 4.0 \text{ W}$,
 $P_3 = U_3 \cdot I_3 = 5.0 \text{ V} \cdot 1.0 \text{ A} = 5.0 \text{ W}$
 e) $P = P_1 + P_2 + P_3 = 3.0 \text{ W} + 4.0 \text{ W} + 5.0 \text{ W} = 12.0 \text{ W}$
 f) $R_{\text{gesamt}} = \frac{U_{\text{gesamt}}}{I_{\text{gesamt}}} = \frac{12 \text{ V}}{1.0 \text{ A}} = 12 \Omega$

$$10. \text{ a) } \frac{5 \, \Omega \cdot 20 \, \Omega}{25 \, \Omega} = 4 \, \Omega \quad 16 \, \Omega + 4 \, \Omega = 20 \, \Omega \quad \frac{32 \, \Omega \cdot 20 \, \Omega}{52 \, \Omega} = \underline{\underline{12.3 \, \Omega}}$$

$$\text{b) } I = \frac{U}{R_{\text{mitte}}} = \frac{22 \, \text{V}}{20 \, \Omega} = \underline{\underline{1.1 \, \text{A}}}$$

$$\text{c) } U = R \cdot I = 4 \, \Omega \cdot 1.1 \, \text{A} = \underline{\underline{4.4 \, \text{V}}}$$

$$\text{d) } 32 \, \Omega - 16 \, \Omega = 16 \, \Omega \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{16 \, \Omega} - \frac{1}{20 \, \Omega} \quad R = \underline{\underline{80 \, \Omega}}$$

$$11. \, P_{\text{nutz}} = P_{\text{auf}} \cdot \eta = 50 \, \text{kW} \cdot 0.70 = \underline{\underline{35 \, \text{kW}}}$$

$$12. \, \eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0.25 \cdot 0.15 = 0.0375 = 3.8 \, \%$$

$$13. \text{ a) } A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{4.16 \cdot 10^{-3} \, \text{m}}{2}\right)^2 = \underline{\underline{1.36 \cdot 10^{-5} \, \text{m}^2}}$$

$$\text{b) } \ell = \frac{R \cdot A}{\rho_{\text{el}}} = \frac{25.3 \cdot 10^{-3} \, \Omega \cdot 1.36 \cdot 10^{-5} \, \text{m}^2}{1.65 \cdot 10^{-8} \, \Omega \text{m}} = \underline{\underline{20.8 \, \text{m}}}$$

$$\text{c) } V = A \cdot \ell = 1.36 \cdot 10^{-5} \, \text{m}^2 \cdot 20.8 \, \text{m} = \underline{\underline{2.83 \cdot 10^{-4} \, \text{m}^3}}$$

$$\text{d) } m = \rho \cdot V = 10.5 \cdot 10^3 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2.83 \cdot 10^{-4} \, \text{m}^3 = \underline{\underline{2.98 \, \text{kg}}}$$

$$\text{e) } 2.98 \, \text{kg} \cdot 878.92 \, \frac{\text{Fr}}{\text{kg}} = \underline{\underline{2'619.18 \, \text{Fr.}}}$$

$$14. \text{ a) } A = \pi \cdot r^2 \quad R = \rho_{\text{el}} \cdot \frac{\ell}{\pi \cdot r^2} = 1.78 \cdot 10^{-8} \, \Omega \text{m} \cdot \frac{6'000 \, \text{m}}{\pi \cdot (3.00 \cdot 10^{-3} \, \text{m})^2} = \underline{\underline{3.8 \, \Omega}}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A = \rho \cdot \ell \cdot \pi \cdot r^2 = 8'920 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6'000 \, \text{m} \cdot \pi \cdot (3.00 \cdot 10^{-3} \, \text{m})^2 = 1'513 \, \text{kg} \\ = \underline{\underline{1.5 \, \text{t}}}$$

$$\text{b) } r = \sqrt{\rho_{\text{el}} \cdot \frac{\ell}{\pi \cdot R}} = \sqrt{2.65 \cdot 10^{-8} \, \Omega \text{m} \cdot \frac{6'000 \, \text{m}}{\pi \cdot 3.8 \, \Omega}} = 0.00365 \, \text{m} = 3.65 \, \text{mm} \quad d = 2 \cdot r = \underline{\underline{7.3 \, \text{mm}}}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A = \rho \cdot \ell \cdot \pi \cdot r^2 = 2'700 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6'000 \, \text{m} \cdot \pi \cdot (3.65 \cdot 10^{-3} \, \text{m})^2 = \underline{\underline{678 \, \text{kg}}}$$

$$\text{c) Kupferleitung: } 1.513 \, \text{t} \cdot 7'871.49 \, \frac{\text{Fr}}{\text{t}} = 11'909.56 \, \text{Fr.} = \underline{\underline{12'000 \, \text{Fr.}}}$$

$$\text{c) Aluminiumleitung: } 0.678 \, \text{t} \cdot 1'997.39 \, \frac{\text{Fr}}{\text{t}} = 1'354.23 \, \text{Fr.} = \underline{\underline{1'400 \, \text{Fr.}}}$$

$$15. \text{ a) } R_{20} = \rho_{\text{el}} \cdot \frac{\ell}{A} = 300 \cdot 10^{-8} \, \Omega \text{m} \cdot \frac{0.178 \, \text{m}}{\pi \cdot (0.90 \cdot 10^{-3} \, \text{m})^2} = 0.211 \, \Omega = 211 \, \text{m}\Omega$$

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{R_{20} \cdot \alpha_{20}} = \frac{(0.214 \, \Omega - 0.211 \, \Omega)}{0.211 \, \Omega \cdot (-0.2 \cdot 10^{-3} \, \frac{1}{\text{K}})} = -71.1 \, \text{K}$$

$$\vartheta = \vartheta_{20} + \Delta T = 20 \, ^\circ\text{C} + (-71.1 \, \text{K}) = \underline{\underline{-51.1 \, ^\circ\text{C}}}$$