PHYSIKMATUR PROMOTION 144 – LÖSUNGEN

Gymnasium Unterstrass Zürich

Allgemeine Richtlinien bei der Bewertung

- Der Rechen- oder Überlegungsweg muss **Rechenweg** ersichtlich sein, damit ein richtiges Resultat vollständig zählen kann. Umgekehrt kann es **Teilpunkte** geben, wenn der Rechenweg formal korrekt, das Resultat dann aber falsch ist.
- Für besonders schöne Rechnungswege oder Überlegungen können als Ausnahme **Bonuspunkte** vergeben werden, die in diesen Lösungen nicht deklariert werden.
- Die Genauigkeit darf höchstens um ± 1 **signifikante Ziffer (s.Z.)** von der korrekten Anzahl abweichen, sonst ist das Resultat falsch zu werten. Zwischenresultate müssen mit mehr signifikanten Ziffern angegeben und so in die weiteren Rechnungen eingesetzt werden.
- **Rundungsfehler** sind für die Bewertung grundsätzlich relevant.

Mechanik

1 Die Treib-Seelisberg-Bahn (TSB) (10 Punkte)

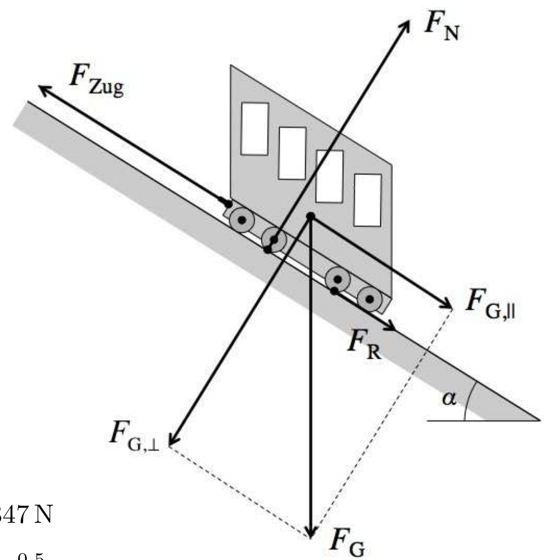
(a) Kräfteskizze rechts (1 Punkt)

Kraftgleichungen: (1.5 Punkte)

parallel: $F_{\mathrm{Zug}} \overset{1}{=} F_{\mathrm{G},\parallel} + F_{\mathrm{R}}$

senkrecht: $F_{\mathrm{N}} \overset{0.5}{=} F_{\mathrm{G},\perp}$

(Für die Relevanz des Luftwiderstandes ist die Geschwindigkeit zu klein. Diese Antwort liefert allerdings keine Punkte.)



(b) Vorbereitende Berechnungen: (3 Punkte)

$$\alpha = \arctan m = \arctan 0.380 \overset{0.5}{=} 20.807°$$

$$F_{\mathrm{G}} = m \cdot g = 13\,300\,\mathrm{kg} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \overset{0.5}{=} 130\,473\,\mathrm{N}$$

$$F_{\mathrm{G},\parallel} = F_{\mathrm{G}} \cdot \sin\alpha = 130\,473\,\mathrm{N} \cdot \sin 20.807° \overset{0.5}{=} 46\,347\,\mathrm{N}$$

$$F_{\mathrm{N}} = F_{\mathrm{G},\perp} = F_{\mathrm{G}} \cdot \cos\alpha = 130\,473\,\mathrm{N} \cdot \cos 20.807° \overset{0.5}{=} 121\,964\,\mathrm{N}$$

$$F_{\mathrm{R}} = \mu_{\mathrm{R}} \cdot F_{\mathrm{N}} = 0.010 \cdot 121\,964\,\mathrm{N} \overset{1}{=} 1220\,\mathrm{N}$$

Damit folgt für die Zugkraft: (1 Punkt)

$$F_{\mathrm{Zug}} = F_{\mathrm{G},\parallel} + F_{\mathrm{R}} = 46\,347\,\mathrm{N} + 1220\,\mathrm{N} = 47\,567\,\mathrm{N} \overset{1}{=} \underline{\underline{48\,\mathrm{kN}}}$$

(c) Für die Zugleistung ergibt sich: (1.5 Punkte)

$$P_{\mathrm{Zug}} = F_{\mathrm{Zug}} \cdot v \overset{0.5}{=} 47\,567\,\mathrm{N} \cdot \frac{12.5}{3.6}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} 165\,163\,\mathrm{W} = 224.6\,\mathrm{PS} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{220\,\mathrm{PS}}}$$

(d) Es ist nicht alleine der Antrieb in der Bergstation, der am Seil und somit am aufwärts fahrenden Wagen zieht, sondern eben auch noch der talwärts fahrende Wagen. Dadurch wird eine solche Seilbahn erst energetisch effizient. Der talwärts fahrende Wagen gibt Zugleistung ab! Die Bergstation muss im Wesentlichen "nur" noch das Seil ziehen und die Reibung kompensieren. (2 Punkte)

2 Beschleunigung beim Lamborghini Aventador (8 Punkte)

(a) Verwendung einer der Gleichungen für die gleichmässig beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit: (1.5 Punkte)

$$s \overset{0.5}{=} \frac{v \cdot t}{2} \overset{0.5}{=} \frac{\frac{100}{3.6}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 2.8\,\mathrm{s}}{2} = 38.9\,\mathrm{m} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{39\,\mathrm{m}}}$$

(b) $t = 2.8\,\mathrm{s}$ in die Gleichung einsetzen liefert: (1 Punkt)

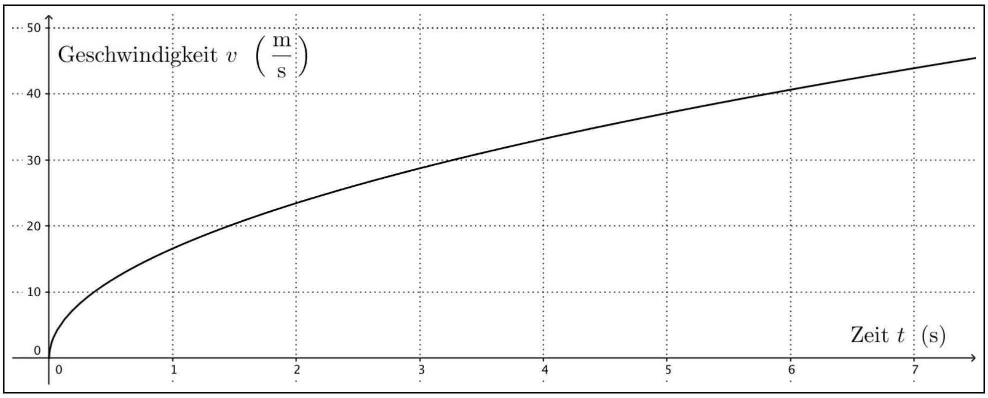
$$v(t) = 16.6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \sqrt{2.8} \overset{0.5}{=} 27.78\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} 100.0\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

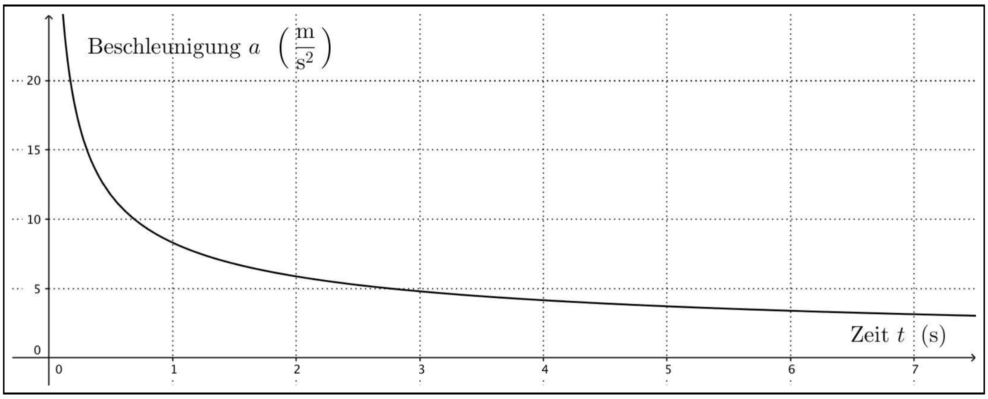
Die Gleichung erfüllt diesen Punkt also.

(c) Durch eine Gleichungsumstellung ergibt sich: (1.5 Punkte)

$$t \overset{1}{=} \left(\frac{v}{16.6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}\right)^2 = \left(\frac{\frac{150}{3.6}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{16.6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}\right)^2 = 6.300\,\mathrm{s} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{6.3\,\mathrm{s}}}$$

(d) Es ergeben sich die folgenden Diagramme (Wurzelfunktion und inverse Wurzelfunktion): (3 Punkte)





Hinweise:

- Der t-v-Graph gibt 2 Punkte, der t-a-Graph gibt 1 Punkt.
- Im t-v-Diagramm sollten die Zahlenwerte, also der quantitative Verlauf des Graphen recht genau stimmen (z.B. gewährleistet durch das Eintragen einzelner Punkte).
- Der t-a-Graph muss nur qualitativ richtig sein, d.h.: für $t \to 0$ stark ansteigen und für $t \to \infty$ gegen 0 gehen.
- Es ist nicht so wichtig, dass der t-a-Graph für $t \to 0$ ins Unendliche geht.
- Durch die Berechnung der Ableitung lässt sich ein Zusatzpunkt holen: (1 Punkt)

$$a(t) = v'(t) = 16.6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{t}} = \frac{8.4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\sqrt{t}}$$

(e) Z.B. lassen sich mit der Gleichung (*) im Prinzip unendlich grosse Geschwindigkeiten erreichen. Das kann physikalisch sicher nicht stimmen. (1 Punkt)

3 Der Achterbahn-Looping (7 Punkte)

(a) Rechnen mit dem Energieerhaltungsprinzip:
Es ist elegant, dass Nullniveau der potentiellen Energie auf den höchsten Punkt des Loopings zu setzen. Dann beträgt der Höhe des Startpunkte noch: (1 Punkt)

$$h_1 = h - d = 23.0\,\mathrm{m} - 15.0\,\mathrm{m} \stackrel{1}{=} 8.0\,\mathrm{m}$$

Nun folgt aus der Energieerhaltung (Vorgang reibungsfrei): (2.5 Punkte)

$$\begin{aligned}
& & E_{\mathrm{kin},2} &\stackrel{0.5}{=} E_{\mathrm{pot},1} && |\,\text{Formeln einsetzen}\\
&\Rightarrow & \frac{m \cdot v_2^2}{2} &\stackrel{0.5}{=} m \cdot g \cdot h_1 && |\cdot \frac{2}{m}\\
&\Leftrightarrow & v_2^2 &= 2 \cdot g \cdot h_1 && |\sqrt{\ldots}\\
&\Rightarrow & v_2 &\stackrel{1}{=} \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} && |\,\text{Werte einsetzen}\\
& & &= \sqrt{2 \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 8.0\,\mathrm{m}} = 12.53\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{13\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}}
\end{aligned}$$

(b) Im höchsten Punkt des Loopings müssen Gewichtskraft des Wagens und Normalkraft der Schienen zusammen die Zentripetalkraft F_{Z} ergeben, welche für die gleichförmige Kreisbewegung sorgt. Es gilt also: (1 Punkt)

$$F_{\mathrm{Z}} \stackrel{1}{=} F_{\mathrm{G}} + F_{\mathrm{N}}$$

Umstellen nach F_{N} und einsetzen der Gleichungen für F_{G} und F_{Z} ergeben schliesslich: (2.5 Punkte)

$$F_{\mathrm{N}} = F_{\mathrm{Z}} - F_{\mathrm{G}} \stackrel{1}{=} \frac{mv^2}{r} - mg \stackrel{0.5}{=} \frac{1500\,\mathrm{kg} \cdot \left(12.53\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{7.5\,\mathrm{m}} - 1500\,\mathrm{kg} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 16\,685\,\mathrm{N} \stackrel{1}{=} \underline{\underline{17\,\mathrm{kN}}}$$

4 Briefpost auf Utopia VII (8 Punkte)

(a) Der Stein ist ein um einen Zentralkörper kreisender Himmelskörper ($m \ll M$) und es gilt die übliche Kraftgleichung $F_{\mathrm{Z}} = F_{\mathrm{G}}$. Der Bahnradius ist gleich dem Planetenradius, weil der Stein unmittelbar über der Planetenoberfläche kreist: $r = R$. Für eine ganze Umrundung findet man die Umlaufzeit T: (4 Punkte, Kräfteskizze nicht zwingend notwendig, kann aber bereits 0.5 Punkte geben)

$$\begin{aligned}
& & F_{\mathrm{Z}} &\stackrel{1}{=} F_{\mathrm{G}} && |\,\text{Formeln einsetzen}\\
&\Rightarrow & \frac{m\,v^2}{r} &\stackrel{0.5}{=} G \cdot \frac{M\,m}{r^2} && |\cdot \frac{r}{m}\\
&\Leftrightarrow & v^2 &= \frac{G\,M}{r} && |\,v \stackrel{0.5}{=} \frac{2\pi\,r}{T}\\
&\Rightarrow & \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} &= \frac{G\,M}{r} && |:(4\pi^2 r^2)\\
&\Leftrightarrow & \frac{1}{T^2} &= \frac{G\,M}{4\pi^2 r^3} && |\,(\ldots)^{-1}\ \text{und}\ r = R\\
&\Leftrightarrow & T^2 &= \frac{4\pi^2 R^3}{G\,M} && |\sqrt{\ldots}\\
&\Leftrightarrow & T &\stackrel{1}{=} \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{G\,M}} && |\,\text{Werte einsetzen}\\
& & &\stackrel{0.5}{=} \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot (1\,640\,000\,\mathrm{m})^3}{6.673 \cdot 10^{-11}\,\frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{kg}^2} \cdot 8.91 \cdot 10^{22}\,\mathrm{kg}}} \stackrel{0.5}{=} 5412\,\mathrm{s}
\end{aligned}$$

Der Stein macht nur eine halbe Umrundung und somit beträgt seine Reisedauer: (1 Punkt)

$$t \stackrel{0.5}{=} \frac{1}{2}T = \frac{1}{2} \cdot 5412\,\mathrm{s} = 2706\,\mathrm{s} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{45.1\,\mathrm{min}}}$$

(b) Für das Volumen des Planeten gilt (Kugelvolumen gemäss Formelsammlung): (0.5 Punkte)

$$V = \frac{4\pi R^3}{3}$$

Damit schreibt man für die Planetenmasse M neu: (1 Punkt)

$$M = \varrho V = \frac{4\pi \varrho R^3}{3}$$

Diesen Ausdruck für M kann man an passender Stelle in die Rechnung unter (a) einsetzen: (1 Punkt)

$$\frac{1}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2 R^3} = \frac{G}{4\pi^2 R^3} \cdot \frac{4\pi \varrho R^3}{3} = \frac{G\varrho}{3\pi} \quad \Rightarrow \quad T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\varrho}}$$

Wiederum entspricht die Reisezeit des Steins nur einer halben Umlaufszeit, womit folgt: (0.5 Punkte)

$$t = \frac{1}{2} T \overset{0.5}{=} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{G\varrho}}$$

Hydro- und Aerostatik

5 Der Cargolifter CL160 (6 Punkte)

(a) Für die Heliummasse in der Hülle ergibt sich: (1.5 Punkte)

$$m_{\text{He}} \overset{0.5}{=} \varrho_{\text{He}} \cdot V \overset{0.5}{=} 0.17 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 550\,000 \, \text{m}^3 = 93\,500 \, \text{kg} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{94 \, \text{t}}}$$

(b) In grösseren Höhen ist die **Luftdichte deutlich geringer**. Dies wäre der Auftriebskraft, aufgrund welcher der CargoLifter schwebt, abträglich. (1 Punkt)

(c) Der Auftrieb der verdrängten Luft muss den CargoLifter tragen, also gleich der Summe der Gewichtskräfte von Heliummasse, Eigengewicht und Nutzlast sein. Mit den Gleichungen für Auftrieb und Gewichtskraft lässt sich auf die maximale Nutzlast schliessen: (2.5 Punkte)

$$\begin{aligned}
& F_{\text{G,He}} + F_{\text{G,eigen}} + F_{\text{G,Nutz}} \overset{1}{=} F_{\text{A}} && \mid F_{\text{G}} = m \cdot g, F_{\text{A}} = \varrho \cdot V \cdot g \\
\Rightarrow \quad & m_{\text{He}} \cdot g + m_{\text{eigen}} \cdot g + m_{\text{Nutz}} \cdot g \overset{0.5}{=} \varrho_{\text{Luft}} \cdot V_{\text{v}} \cdot g && \mid : g \\
\Leftrightarrow \quad & m_{\text{He}} + m_{\text{eigen}} + m_{\text{Nutz}} = \varrho_{\text{Luft}} \cdot V_{\text{v}} && \mid - m_{\text{He}} - m_{\text{eigen}} \\
\Leftrightarrow \quad & m_{\text{Nutz}} \overset{1}{=} \varrho_{\text{Luft}} \cdot V_{\text{v}} - m_{\text{He}} - m_{\text{eigen}}
\end{aligned}$$

Werte einsetzen ergibt: (1 Punkt)

$$m_{\text{Nutz}} \overset{0.5}{=} 1.3 \, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 550\,000 \, \text{m}^3 - 93\,500 \, \text{kg} - 460\,000 \, \text{kg} = 161\,500 \, \text{kg} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{160 \, \text{t}}}$$

Tatsächlich kommt hier die Zahl 160 im Namen des CargoLifters her: CL160.

Schwingungen und Wellen

6 Ein Versuch mit dem Vokal “O” (5 Punkte)

(a) Die **Dauer des grössten erkennbaren, sich wiederholenden Musters** ist die zur Grundtonfrequenz f_0 gehörende **Grundperiode** T_0. (0.5 Punkte)

Bei deren Messung ist es für die Genauigkeit besser, die Zeitspanne Δt für mehrerer Grundperioden zusammen abzulesen und dann durch die entsprechende Anzahl zu teilen. (1 Punkt)

Im gezeigten Ausschnitt dauern 6 Grundperioden zusammen gerade etwa $\Delta t = 0.040\,\mathrm{s}$. Damit folgt: (1 Punkt)

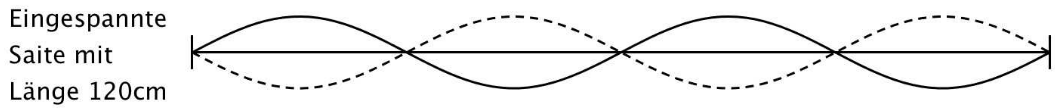
$$T_0 = \frac{\Delta t}{6} = \frac{0.040\,\mathrm{s}}{6} \overset{0.5}{=} 0.00667\,\mathrm{s} \quad \Rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0.00667\,\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} 150\,\mathrm{Hz}$$

(c) Zum gezeigten Schalldruckdiagramm gehört das Frequenzspektrum B, denn:

- Im sich wiederholenden Muster des Schalldruckdiagramms erkennt man, das diejenige **Oberschwingung mit 3 Schwingungen pro Grundperiode** ziemlich dominant in der Gesamtschwingung enthalten ist. Im Frequenzspektrum muss also der **3. Peak** (die Frequenz des 2. Obertones) sehr ausgeprägt sein. Damit kommen nur noch die Frequenzspektren B und C in Frage. (1.5 Punkte)
- Frequenzspektrum C fällt allerdings gleich wieder weg, denn dort ist zudem der **6. Peak** (die Frequenz des 5. Obertones) mit **6 Schwingungen pro Grundperiode** sehr ausgeprägt. Davon sieht man allerdings nichts im Schalldruckdiagramm. (1 Punkt)

7 Gezielte Monochordstimmung (3 Punkte)

(a) Die 3. Oberschwingung besitzt 3 Knoten. Es ergeben sich vier gleich grosse Schwingungsbäuche zwischen Endpunkten und Knoten oder eben eine sinusförmige Schwingung, bei der die Wellenlänge einer halben Saitenlänge entspricht: (1 Punkt)



(b) Bei der 3. Oberschwingung beträgt die Wellenlänge: (1 Punkt)

$$\lambda_3 \overset{1}{=} \frac{l}{2} = \frac{120\,\mathrm{cm}}{2} = 60\,\mathrm{cm} = 0.60\,\mathrm{m}$$

Damit folgt für die Wellengeschwindigkeit: (1 Punkt)

$$c \overset{0.5}{=} \lambda_3\, f_3 = 0.60\,\mathrm{m} \cdot 640\,\mathrm{Hz} = 384\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{380\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}}$$

Elektrizitätslehre

8 Ein LED-Stromkreis (8 Punkte)

(a) Die Spannung über dem Vorwiderstand beträgt laut Ohm'schem Gesetz: (1 Punkt)

$$U_{120} \overset{0.5}{=} R_{120} \cdot I = 120\,\Omega \cdot 0.0226\,\mathrm{A} \overset{0.5}{=} 2.71\,\mathrm{V}$$

Damit folgt für die Spannung über den beiden LEDs in der **Serieschaltung**: (0.5 Punkte)

$$U_{2\mathrm{LED}} \overset{0.5}{=} U - U_{120} = 9.20\,\mathrm{V} - 2.71\,\mathrm{V} = 6.49\,\mathrm{V}$$

Und somit beträgt die Spannung über jeder der beiden LEDs: (0.5 Punkte)

$$U_{\mathrm{LED}} = \frac{U_{2\mathrm{LED}}}{2} = \frac{6.49\,\mathrm{V}}{2} \overset{0.5}{=} 3.25\,\mathrm{V}$$

Die LEDs werden in diesem Stromkreis also im vorgesehenen Spannungsbereich betrieben. (0.5 Punkte)

(b) Die eingespiesene elektrische Leistung beträgt: (1 Punkt)

$$P_{\mathrm{in}} \overset{0.5}{=} U \cdot I = 9.20\,\mathrm{V} \cdot 0.0226\,\mathrm{A} \overset{0.5}{=} 0.2079\,\mathrm{W}$$

Die in den beiden LEDs bezogene Leistung ist andererseits: (0.5 Punkte)

$$P_{\mathrm{out}} = U_{2\mathrm{LED}} \cdot I = 6.49\,\mathrm{V} \cdot 0.0226\,\mathrm{A} \overset{0.5}{=} 0.1467\,\mathrm{W}$$

Somit ergibt sich für den Wirkungsgrad des Stromkreises: (1 Punkt)

$$\eta \overset{0.5}{=} \frac{P_{\mathrm{out}}}{P_{\mathrm{in}}} = \frac{0.1467\,\mathrm{W}}{0.2079\,\mathrm{W}} = 0.706 \overset{0.5}{=} \underline{\underline{71\,\%}}$$

(c) Mit der unter (b) berechneten eingespiesenen Leistung erhalten wir für die Energie der Batterie: (2 Punkte)

$$\Delta E \overset{0.5}{=} P_{\mathrm{in}} \cdot \Delta t \overset{1}{=} 0.2079\,\mathrm{W} \cdot 24\,\mathrm{h} = 5.0\,\mathrm{Wh} \overset{0.5}{=} 0.0050\,\mathrm{kWh}$$

Damit folgt für den Kilowattstundenpreis: (0.5 Punkte)

$$\text{Preis pro kWh} = \frac{4\,\mathrm{sFr.}}{0.0050\,\mathrm{kWh}} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{800\,\frac{\mathrm{sFr.}}{\mathrm{kWh}}}}$$

Die elektrische Energie aus der Batterie ist also etwa 4000-mal teurer als diejenige aus der Steckdose! (0.5 Punkte)

9 Generator und Elektromotor in Einem (8 Punkte)

(a) Die Schlaufe dreht sich von der Batterie aus gesehen **im Uhrzeigersinn**. Es gibt mehrere Erklärungsvarianten, z.B.:

Begründung mit der Lorentzkraft auf eine Schlaufenseite:

i. **Strom** fliesst **vom Plus- zum Minuspol** der Batterie. (0.5 Punkte)
ii. Schlaufenseite links unten führt **Strom nach hinten** (von der Batterie weg) $\rightarrow$ **Daumen** bei der **3FR**. (0.5 Punkte)
iii. **Magnetfeldlinien** führen **von oben nach unten** $\rightarrow$ **Zeigefinger** bei der 3FR. (0.5 Punkte)
iv. **3-Finger-Regel (3FR): Mittelfinger** der RH zeigt **nach links vorne** (aus dem Hufeisenmagneten hinaus). (0.5 Punkte)
v. Linke Schlaufenseite erfährt eine **Lorentzkraft** F_{L} **nach links vorne**. (1 Punkt)
vi. Schlaufe dreht sich von der Batterie aus gesehen im Uhrzeigersinn. (0.5 Punkte)

Begründung mit den Magnetpolen der Drahtschlaufe:

i. **Strom** fliesst **vom Plus- zum Minuspol** der Batterie. (0.5 Punkte)
ii. Schlaufenstrom fliesst von **uns aus gesehen im Uhrzeigersinn** $\rightarrow$ **Daumen** bei der **RHR**. (0.5 Punkte)
iii. **Rechte-Hand-Regel (RHR): Restliche Finger** der rechten Hand zeigen die **Richtung des Magnetfeldes** an.
iv. Im Schlaufeninnern zeigt das **Magnetfeld der Schlaufe nach rechts unten**, also von uns weg. (0.5 Punkte)
v. Auf der uns zugewandten Seite besitzt die Schlaufe einen **Südpol**. (0.5 Punkte)
vi. Schlaufenpole wechselwirken mit äusseren Magnetpolen: **Gleiche Pole stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an**. (0.5 Punkte)
vii. Schlaufe dreht von der Batterie aus gesehen im Uhrzeigersinn. (0.5 Punkte)

(b) Im gezeigten Moment fliesst der Strom **von rechts nach links** durch das Amperemeter. Es gibt mehrere Erklärungsvarianten, z.B.:

Begründung mit der Lorentzkraft auf Leitungselektronen:

i. Wir betrachten z.B. die untere Schlaufenseite. Diese bewegt sich inkl. der **Leitungselektronen** in ihrem Innern im gezeigten Moment **nach rechts unten (Daumen)**. (1 Punkt)
ii. Das Magnetfeld führt vom Nord- zum Südpol, also am Ort der Schlaufe **nach unten (Zeigefinger)**. (0.5 Punkte)
iii. Die mit der **linken Hand** ausgeführte **3FR** zeigt, dass die Leitungselektronen in dieser Schlaufenseite eine Lorentzkraft **nach vorne** erfahren **(Mittelfinger)**. (1 Punkt)
iv. Somit fliesst der **Elektronenstrom** im Amperemeter von links nach rechts. Das entspricht einem **technischen Strom** von rechts nach links. (0.5 Punkte)

Begründung mit dem Faraday'schen Gesetz:

i. Das Magnetfeld führt vom Nord- zum Südpol, also am Ort der Schlaufe **nach unten**. (0.5 Punkte)
ii. Im gezeigten Moment ist die Anzahl **Feldlinien**, die von oben nach unten durch die Schlaufe hindurch führen, **am abnehmen**. Dies müssen wir von der Schlaufe aus gesehen als **Zunahme des Magnetfeldes in Aufwärtsrichtung** umdeuten **(Daumen)**. (1 Punkt)
iii. Gemäss dem **Faraday'schen Gesetz (LHR)** entsteht folglich am Ort der Schlaufe ein **elektrisches Feld**, das von uns aus gesehen **im Uhrzeigersinn** herum verläuft. (1 Punkt)
iv. In dieselbe Richtung fliesst nun auch ein elektrischer Strom, der von diesem Feld hervorgerufen wird. Im Amperemeter fliesst dieser Strom von rechts nach links. (0.5 Punkte)

(c) Der Strom, der – wie unter (b) erklärt – durch die Drehung in der Schlaufe induziert wird, würde die Drehschlaufe selber wieder in die Gegenrichtung antreiben – vgl. (a). Das ist die Ursache für den gespürten Drehwiderstand. (1 Punkt)

Wir beobachten hier die **Lenz'sche Regel**, gemäss der ein induzierter Strom stets seiner Ursache entgegenwirkt. (1 Punkt)

Die Lenz'sche Regel gewährleistet – hier am Beispiel des Drehspulgenerators – die Energieübertragung. Mit dem induzierten Strom können schliesslich elektrische Geräte betrieben werden und die Energie dafür muss der Drehbewegung entnommen werden.

10 Das Magnetfeld im LHC (5 Punkte)

Der Kreisbahnradius beträgt: (1 Punkt)

$$r \overset{0.5}{=} \frac{U}{2\pi} = \frac{26\,659\,\mathrm{m}}{2 \cdot \pi} \overset{0.5}{=} 4\,243\,\mathrm{m}$$

Die p werden alleine durch die Lorentzkraft F_L auf der Kreisbahn gehalten. Daraus folgt: (4 Punkte, Kräfteskizze nicht zwingend notwendig, kann aber bereits 0.5 Punkte geben)

$$\begin{aligned}
& F_\mathrm{L} \overset{1}{=} F_\mathrm{Z} && \mid \text{Formeln einsetzen} \\
\Rightarrow \quad & qvB\sin\varphi \overset{0.5}{=} \frac{m \cdot v^2}{r} && \mid \varphi = 90^\circ \text{ resp. } \sin\varphi = 1 \text{ und } q = e \\
\Rightarrow \quad & evB \overset{0.5}{=} \frac{mv^2}{r} && \mid : (ev) \\
\Leftrightarrow \quad & B \overset{0.5}{=} \frac{mv}{er} && \mid \text{Werte einsetzen} \\
& \overset{0.5}{=} \frac{1.16 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{kg} \cdot 3.00 \cdot 10^{8}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{1.602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 4\,243\,\mathrm{m}} = 5.1197\,\mathrm{T} \overset{1}{=} \underline{\underline{5.12\,\mathrm{T}}}
\end{aligned}$$