PHYSIKMATUR PROMOTION 146 – 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 **$\pm$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.

1 Ein zukunftsträchtiger Wert – die Solarkonstante (2 Punkte)

Die Einheiten lauten **Joule pro Quadratmeter und pro Sekunde**. In Grössen heisst dies **Energie pro Fläche und pro Zeit**. Das ist wohl so zu verstehen:

Aussage der Solarkonstante S: Pro Sekunde kommt auf der Erde auf jedem (gegen die Sonne ausgerichteten) Quadratmeter Fläche eine Strahlungsenergie von $1400\,\mathrm{J}$ an.

Bewertungskriterien:

- **Nennung der Grössen in sprachlicher Form** (Energie, Fläche, Zeit). (1 Punkt)
- **Sinnvolle Verknüpfung** mit der Sonnenstrahlung, also der **Strahlungsenergie** unter Einbezug des konkreten Wertes der Solarkonstante. (1 Punkt)

2 Ein Sprint mit Usain Bolt von A bis Z (8 Punkte)

Kinematische Berechnungen

Bewertung: Die signifikanten Ziffern spielen in dieser Aufgabe keine Rolle. Die Rechnungen dienen dazu die Punkte in den drei Diagrammen einigermassen akkurat einzutragen.

1. **Startbeschleunigung (gleichmässig beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit)**

   Gegeben: Beschleunigung $a_1 = 4.1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, Dauer $t_1 = 3.0\,\mathrm{s}$.

   - Berechnung der Beschleunigungsstrecke: (0.5 Punkte)

   $$s_1 = \frac{a_1}{2}\,t_1^2 = \frac{4.1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{2} \cdot (3.0\,\mathrm{s})^2 \overset{0.5}{=} 18.45\,\mathrm{m}$$

   - Berechnung der Endgeschwindigkeit = Maximalgeschwindigkeit: (0.5 Punkte)

   $$v_1 = a_1 \cdot t_1 = 4.1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 3.0\,\mathrm{s} \overset{0.5}{=} 12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

2. **Bis ins Ziel (gleichförmige Bewegung)**

   Gegeben: Geschwindigkeit $v_2 = v_1 = 12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

   - Berechnung der verbleibenden Strecke bis ins Ziel: (0.5 Punkte)

   $$s_2 = 100.0\,\mathrm{m} - s_1 = 100.0\,\mathrm{m} - 18.45\,\mathrm{m} \overset{0.5}{=} 81.55\,\mathrm{m}$$

   - Berechnung der dafür benötigten Zeit: (0.5 Punkte)

   $$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{81.55\,\mathrm{m}}{12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} \overset{0.5}{=} 6.63\,\mathrm{s}$$

3. **Abbremsen (gleichmässig beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit)**

   Gegeben: Anfangsgeschwindigkeit $v_2 = 12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, Endgeschwindigkeit $v_3 = 12.0\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 3.33\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, Strecke $s_3 = 35.0\,\mathrm{m}$.

   - Berechnung der benötigten Zeit: (1 Punkt)

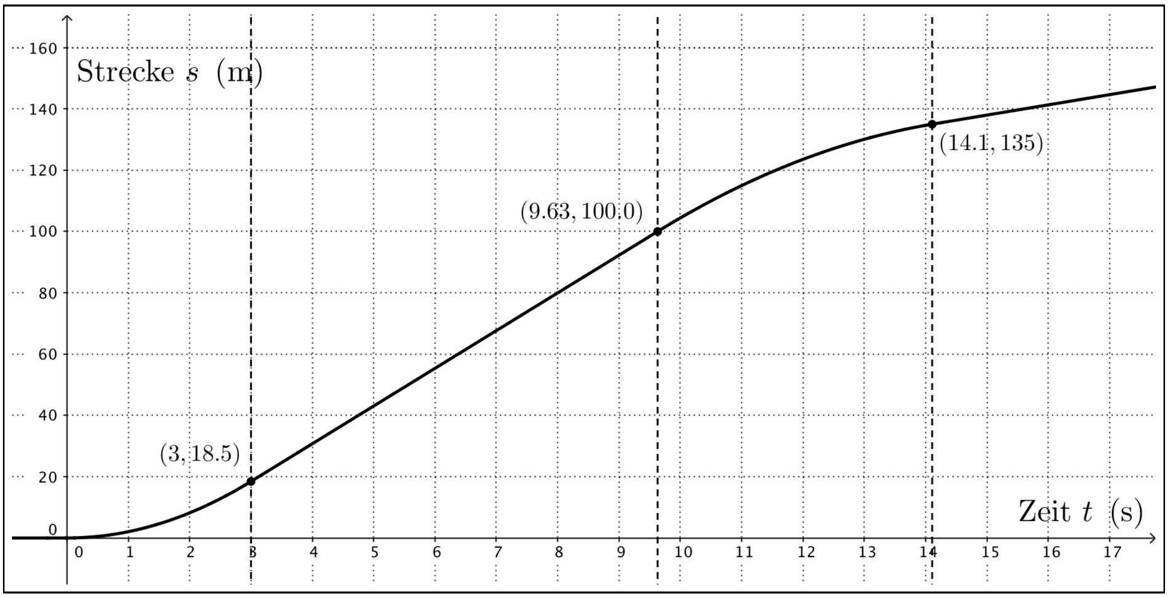
   $$t_3 = \frac{2 \cdot s_3}{v_2 + v_3} \overset{0.5}{=} \frac{2 \cdot 35.0\,\mathrm{m}}{12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} + 3.33\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} \overset{0.5}{=} 4.48\,\mathrm{s}$$

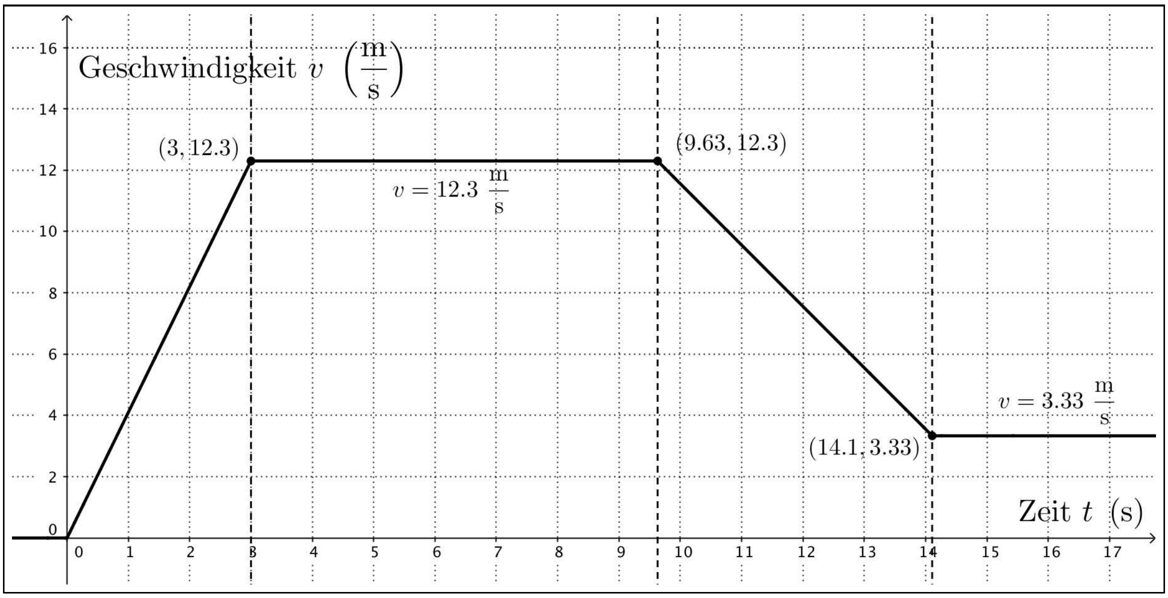
   - Berechnung der Bremsbeschleunigung: (0.5 Punkte)

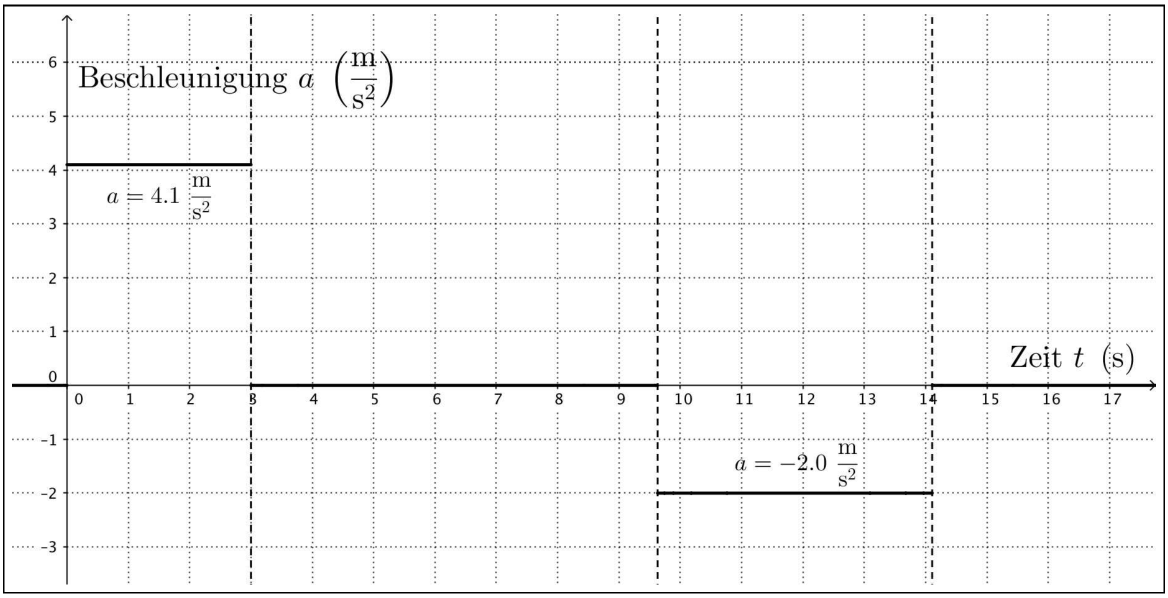
   $$a_3 = \frac{v_3 - v_2}{t_3} = \frac{3.33\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 12.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{4.48\,\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} -2.00\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Bewertung der Diagramme

- **t-s-Diagramm:** (max. 2 Punkte)
  - Ganzer Graph stetig und glatt (keine Ecken)?
  - Wo Gerade, wo Kurve?
  - Bei $t = 0$ horizontal?
  - Ehrenrunde mit konstanter Steigung (genauer Steigungswert nicht wichtig)?
  - Gesamtbild?
- **t-v-Diagramm:** (max. 1.5 Punkte)
  - Lauter gerade Abschnitte?
  - Stetig?
  - Horizontale Abschnitte korrekt?
  - Gesamtbild?
- **t-a-Diagramm:** (max. 1 Punkt)
  - Treppenfunktion?
  - Bremsabschnitt im Negativen?
  - Gesamtbild?

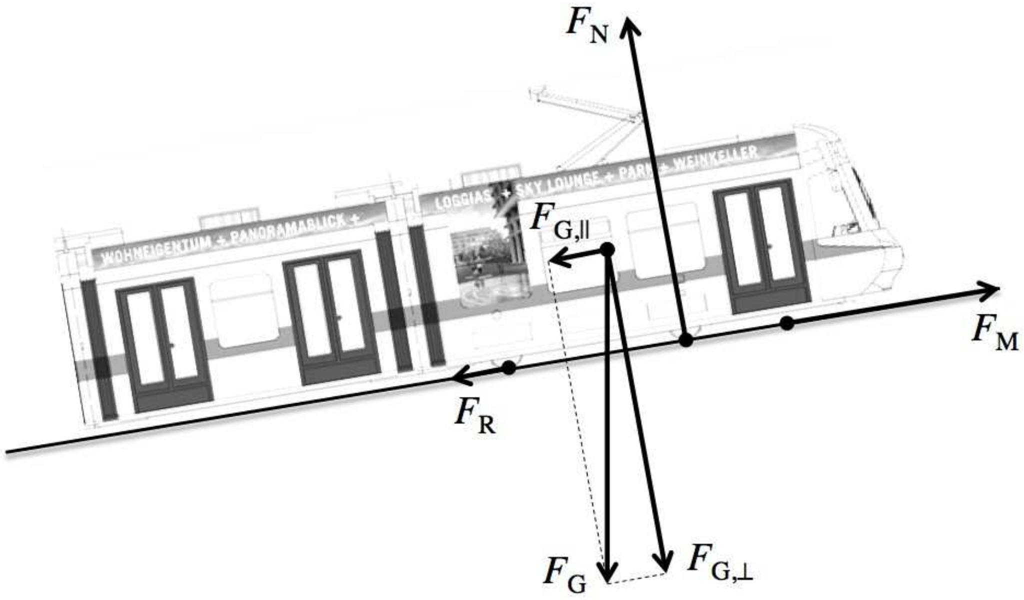

Strecke s (m)
(3, 18.5)
(9.63, 100.0)
(14.1, 135)
Zeit t (s)


Geschwindigkeit v $\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)$
(3, 12.3)
(9.63, 12.3)
$v = 12.3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
$v = 3.33\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
(14.1, 3.33)
Zeit t (s)


Beschleunigung a $\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)$
$a = 4.1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
Zeit t (s)
$a = -2.0\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

3 Die Cobra im Berggang (6 Punkte)

Kräfteskizze: (1 Punkt)



Daraus folgende Kraftgleichungen: (1.5 Punkte)

$$F_{\mathrm{res}} \stackrel{1}{=} F_{\mathrm{M}} - F_{\mathrm{G},\parallel} - F_{\mathrm{R}} \qquad \text{und} \qquad F_{\mathrm{N}} \stackrel{0.5}{=} F_{\mathrm{G},\perp}$$

Umrechnung der Steigung in einen Steigungswinkel α: (0.5 Punkte)

$$\alpha = \arctan m = \tan^{-1}(0.064) \stackrel{0.5}{=} 3.66°$$

Damit lassen sich alle notwendigen Kraftbeträge berechnen: (2.5 Punkte)

$$F_{\mathrm{G}} = m \cdot g = 45\,000\,\mathrm{kg} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 441\,450\,\mathrm{N} \stackrel{0.5}{=} 441.5\,\mathrm{kN}$$

$$F_{\mathrm{G},\parallel} = F_{\mathrm{G}} \cdot \sin\alpha = 441.5\,\mathrm{kN} \cdot \sin 3.66° \stackrel{0.5}{=} 28.2\,\mathrm{kN}$$

$$F_{\mathrm{N}} = F_{\mathrm{G},\perp} = F_{\mathrm{G}} \cdot \cos\alpha = 441.5\,\mathrm{kN} \cdot \cos 3.66° \stackrel{0.5}{=} 440.5\,\mathrm{kN}$$

$$F_{\mathrm{R}} = \mu_{\mathrm{R}} \cdot F_{\mathrm{N}} = 0.0072 \cdot 440.5\,\mathrm{kN} \stackrel{0.5}{=} 3.17\,\mathrm{kN}$$

$$F_{\mathrm{res}} = m \cdot a = 45\,000\,\mathrm{kg} \cdot 1.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 58\,500\,\mathrm{N} \stackrel{0.5}{=} 58.5\,\mathrm{kN}$$

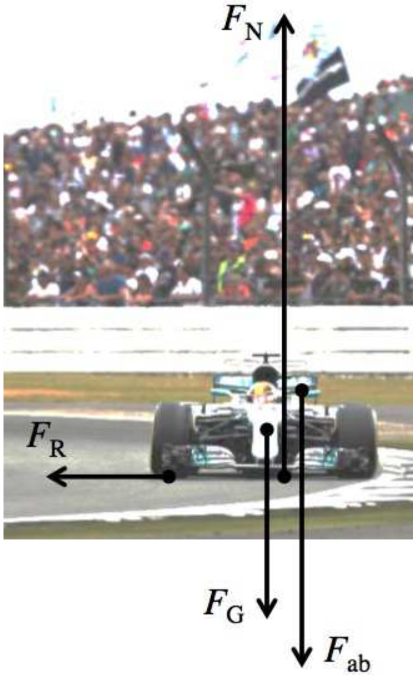
Für die Motorenkraft der Cobra folgt: (0.5 Punkte)

$$F_{\mathrm{M}} = F_{\mathrm{res}} + F_{\mathrm{G},\parallel} + F_{\mathrm{R}} = 58.5\,\mathrm{kN} + 28.2\,\mathrm{kN} + 3.17\,\mathrm{kN} = 89.9\,\mathrm{kN} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{9\underline{0}\,\mathrm{kN}}}$$

(Die Unterstreichung der 0 heisst, diese Ziffer ist ebenfalls signifikant.)

4 Vor- und Nachteile von Spoilern in der Formel 1 (9 Punkte)

(a) Die Kräfte (anti-)parallel zur Fahrtrichtung heben sich gegenseitig auf (Motorenkraft, Rollreibung, Luftwiderstand). Sie brauchen uns hier nicht zu interessieren. Somit reicht die Kräfteskizze rechts aus.



Daraus folgen die Kraftgleichungen: (2 Punkte)

$$F_N \stackrel{1}{=} F_G + F_{ab}$$

$$(F_{res} =)\, F_Z \stackrel{1}{=} F_R$$

Mit $v = 179\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 49.72\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ergibt sich: (1.5 Punkte)

$$F_G = m \cdot g = 799\,\text{kg} \cdot 9.81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}} \stackrel{0.5}{=} 7838\,\text{N}$$

$$F_R = F_Z \stackrel{0.5}{=} \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{799\,\text{kg} \cdot \left(49.72\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{87\,\text{m}} \stackrel{0.5}{=} 22\,703\,\text{N}$$

Das Auto kann die Kurve nur deshalb so schnell fahren, weil die Haftreibung genügend gross ist. Deren maximaler Betrag hängt von der Normalkraft F_N ab:

$$F_R \leq \mu \cdot F_N$$

Daraus ergibt sich eine Mindestbedingung für die Normalkraft: (1 Punkt)

$$F_N \stackrel{0.5}{\geq} \frac{F_R}{\mu} = \frac{22\,703\,\text{N}}{1.17} \stackrel{0.5}{=} 19\,404\,\text{N}$$

Für den Abtrieb folgt somit ein Minimalwert von: (0.5 Punkte)

$$F_N = F_G + F_{ab} \geq 19\,404\,\text{N}$$

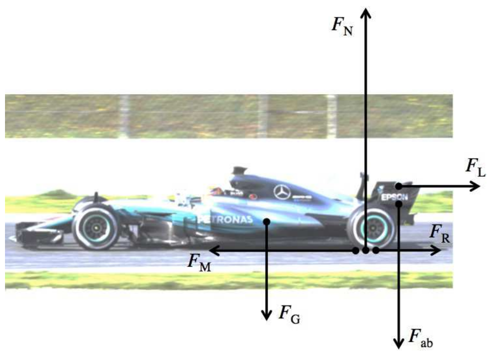
$$\Rightarrow \quad F_{ab} \geq 19\,404\,\text{N} - F_G = 19\,404\,\text{N} - 7838\,\text{N} = 11\,566\,\text{N} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{12\,\text{kN}}}$$

Vergleichen wir dieses Resultat mit der Gewichtskraft: (0.5 Punkte)

$$\frac{F_{ab,min}}{F_G} = \frac{11\,566\,\text{N}}{7838\,\text{N}} = 1.48 \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{150\,\%}}$$

Der Mindestabtrieb ist etwa eineinhalb mal so gross wie die Gewichtkraft und spielt somit bei Rennautos eine echt wichtige Rolle! (1 Punkt)

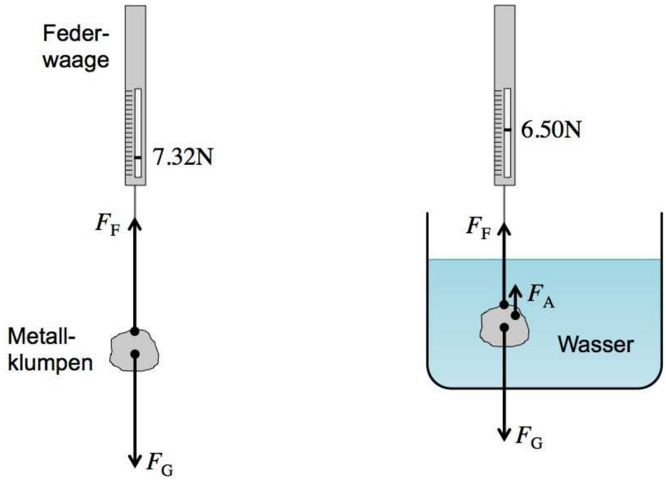
(b) Für das Auto auf der Geraden sieht die Kraftsituation folgendermassen aus: (1 Punkt)



Die Motorenkraft muss bei gleichförmiger Bewegung Rollreibung und Luftwiderstand kompensieren. Spoiler vergrössern diese beiden Kräfte! (0.5 Punkte)

Der Abtrieb verstärkt auch die Rollreibung ($F_R = \mu \cdot F_N$)! (1 Punkt)

5 Materialbestimmung mit Wasser (5 Punkte)



Aus der ersten Situation folgt für die Masse des Klumpens: (1 Punkt)

$$F_{F,1} \stackrel{0.5}{=} F_G \qquad \Rightarrow \qquad m = \frac{F_G}{g} = \frac{F_{F,1}}{g} = \frac{7.32\,\mathrm{N}}{9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} \stackrel{0.5}{=} 0.7462\,\mathrm{kg}$$

In der zweiten Situation gilt: (1 Punkt)

$$F_{F,2} + F_A \stackrel{1}{=} F_G$$

Wir erhalten für die Auftriebskraft in Wasser: (0.5 Punkte)

$$F_A = F_G - F_{F,2} = F_{F,1} - F_{F,2} = 7.32\,\mathrm{N} - 6.50\,\mathrm{N} \stackrel{0.5}{=} 0.82\,\mathrm{N}$$

In der Auftriebsformel $F_A = \varrho_U \cdot g \cdot V_v$ steckt das Volumen des Klumpens, denn er ist ja ganz eingetaucht: (1 Punkt)

$$V \stackrel{0.5}{=} \frac{F_A}{\varrho_{\text{Wasser}} \cdot g} = \frac{0.82\,\mathrm{N}}{998\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} \stackrel{0.5}{=} 0.000\,083\,76\,\mathrm{m}^3$$

Schliesslich folgt für die Dichte des Klumpens: (0.5 Punkte)

$$\varrho_{\text{Metall}} = \frac{m}{V} = \frac{0.7462\,\mathrm{kg}}{0.000\,083\,76\,\mathrm{m}^3} = 8909\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \stackrel{0.5}{=} 8910\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

Gemäss der Dichteballe würden **Nickel** oder **Kupfer** ganz gut passen. Kupfer muss ebenfalls genannt werden, denn die Anzahl signifikanter Ziffern lässt keine genauere Dichteangabe zu! (1 Punkt)

6 Autobatterie und Starter (4 Punkte)

(a) Innenwiderstand und Starter bilden eine Serieschaltung. Von den $12.0\,\mathrm{V}$ Gesamtspannung liegen $9.2\,\mathrm{V}$ über dem Starter an, d.h., für den Innenwiderstand bleiben: (1 Punkt)

$$U_i = U_{\text{gesamt}} - U_{\text{Starter}} = 12.0\,\mathrm{V} - 9.2\,\mathrm{V} \stackrel{1}{=} 2.8\,\mathrm{V}$$

Mit der Stromstärke folgt für den Wert des Innenwiderstandes: (0.5 Punkte)

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{2.8\,\mathrm{V}}{170\,\mathrm{A}} \stackrel{0.5}{=} 0.0165\,\Omega$$

Würde die Batterie kurzgeschlossen, so ergäbe sich demnach folgende Stromstärke: (1 Punkt)

$$I \stackrel{0.5}{=} \frac{U}{R_i} = \frac{12.0\,\mathrm{V}}{0.0165\,\Omega} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{730\,\mathrm{A}}}$$

(b) Die Rechnung ist einfach, wenn die Amperestunde Ah als Ladungseinheit verstanden wird: (1.5 Punkte)

$$\Delta t = \frac{Q}{I} \stackrel{0.5}{=} \frac{60\,\mathrm{Ah}}{170\,\mathrm{A}} \stackrel{0.5}{=} 0.353\,\mathrm{h} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{20\,\mathrm{min}}}$$

7 Elektromagnetismus im Massenspektrometer (9 Punkte)

(a) Wie im Text gesagt wird, müssen die beiden im v-Filter auf das Teilchen wirkenden Kräfte gleich gross sein. Daraus folgt: (2 Punkte)

$$\begin{aligned}
& & F_\mathrm{L} &\overset{0.5}{=} F_\mathrm{el} & &|\,\text{Formeln einsetzen}\\
&\Rightarrow & q \cdot v_0 \cdot B_0 \cdot \sin\varphi &\overset{0.5}{=} q \cdot E_0 & &|\;:q\\
&\Leftrightarrow & v_0 \cdot B_0 \cdot \sin\varphi &= E_0 & &|\,\varphi = 90^\circ \text{ resp. } \sin\varphi = 1\\
&\Rightarrow & v_0 \cdot B_0 &\overset{0.5}{=} E_0 & &|\;:B_0\\
&\Leftrightarrow & v_0 &\overset{0.5}{=} \frac{E_0}{B_0}
\end{aligned}$$

(b) Je geringer die Geschwindigkeit, desto kleiner ist die Lorentzkraft F_L. Die elektrische Kraft F_L hängt nicht von der Geschwindigkeit ab. Das langsamere Teilchen wird also durch das E-Feld dominiert. Ist es positiv geladen so wird es im Bild **nach unten** abgelenkt und prallt dann auf die Wand des v-Filters. (1 Punkt)

(c) Die **Drei-Finger-Regel** für die Lorentzkraft muss mit der rechten Hand angewendet werden (positiv geladenes Teilchen):

i. Bewegungsrichtung des Teilchens ($\widehat{=}$ Daumen) nach rechts, (0.5 Punkte)
ii. Lorentzkraft ($\widehat{=}$ Mittelfinger) nach oben, (0.5 Punkte)
iii. $\Rightarrow$ Magnetfeldrichtung ($\widehat{=}$ Zeigefinger) **nach hinten (ins Blatt hinein)**. (1 Punkt)

(d) Zur Massenberechnung setzen wir die Lorentzkraft der Zentripetalkraft gleich und erhalten: (3 Punkte)

$$\begin{aligned}
& & F_\mathrm{Z} &\overset{0.5}{=} F_\mathrm{L} & &|\,\text{Formeln einsetzen}\\
&\Rightarrow & \frac{m \cdot v^2}{r} &= q \cdot v \cdot B & &|\cdot \frac{r}{v^2}\\
&\Leftrightarrow & m &= \frac{q \cdot B \cdot r}{v} & &|\,q = +e\\
&\Leftrightarrow & m &\overset{1}{=} \frac{e \cdot B \cdot r}{v} & &|\,\text{Werte einsetzen}\\
& & &\overset{0.5}{=} \frac{e \cdot 0.1513\,\mathrm{T} \cdot 0.284\,\mathrm{m}}{2.433 \cdot 10^5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}\\
& & &\overset{0.5}{=} 2.8296 \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg} \overset{0.5}{=} 17.04\,\mathrm{u}
\end{aligned}$$

Ziehen wir davon die Massen der vier Wasserstoff-Atome ab, so erhalten wir: (0.5 Punkte)

$$m_\mathrm{C} = m - 4 \cdot m_\mathrm{H} = 17.04\,\mathrm{u} - 4 \cdot 1.01\,\mathrm{u} \overset{0.5}{=} 13.0\,\mathrm{u}$$

Somit handelt es sich um das (eher seltene) **^{13}C-Isotop**. (0.5 Punkte)

8 “D’Energie im Brot us em Gnä” (5 Punkte)

Ein laufender Ofen bezieht eine elektrische Leistung von: (0.5 Punkte)

$$P_{\mathrm{el}} = U \cdot I = 400\,\mathrm{V} \cdot 9\,\mathrm{A} \stackrel{0.5}{=} 3600\,\mathrm{W}$$

Sind 15 Öfen am laufen, so beträgt deren Gesamtleistung: (1 Punkt)

$$P_{\mathrm{el,tot}} = 15 \cdot 3600\,\mathrm{W} \stackrel{0.5}{=} 54\,000\,\mathrm{W} \stackrel{0.5}{=} 54\,\mathrm{kW}$$

Das Arbeitsjahr hat ca. 300 Arbeitstage (52 Sonntage und ein paar Feiertage müssen von den insgesamt 365 Tagen abgezogen werden). Damit ergibt sich für den Betrieb der Öfen eine Jahresenergie von: (2 Punkte)

$$\Delta E \stackrel{0.5}{=} P_{\mathrm{el,tot}} \cdot \Delta t \stackrel{1}{=} 54\,\mathrm{kW} \cdot 14\,\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{d}} \cdot 300\,\mathrm{d} \stackrel{0.5}{=} 226\,800\,\mathrm{kWh}$$

Vom Gesamtstromverbrauch der Bäckerei Gnädinger sind dies $65\,\%$. Für die $100\,\%$ folgt: (0.5 Punkte)

$$\Delta E_{\mathrm{tot}} = \frac{\Delta E}{0.65} = \frac{226\,800\,\mathrm{kWh}}{0.65} \stackrel{0.5}{=} 349\,000\,\mathrm{kWh}$$

Diese Energiemenge lässt sich in einen Preis umrechnen: (0.5 Punkte)

$$\text{Jahresstromrechnung} = 349\,000\,\mathrm{kWh} \cdot 7.1\,\frac{\mathrm{Rp.}}{\mathrm{kWh}} \stackrel{0.5}{=} 2\,477\,900\,\mathrm{Rp.} = 24\,779\,\mathrm{Fr.}$$

Die Bäckerei Gnädinger bezahlt pro Jahr also eine Stromrechnung von etwa 25 000 Franken!

Aufs Kilogramm Brot heruntergerechnet folgt schliesslich: (0.5 Punkte)

$$\text{Kilo-Energiepreis} = \frac{2\,477\,900\,\mathrm{Rp.}}{100\,000\,\mathrm{kg}} \stackrel{0.5}{=} \underline{\underline{25\,\frac{\mathrm{Rp.}}{\mathrm{kg}}}}$$

Im Preis für jedes Kilogramm Brot stecken also etwa $25\,\mathrm{Rp.}$ für die elektrische Energie der Bäckerei.

Anmerkung zur Bewertung: Die Einheitenbrüche $\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{d}}$ und $\frac{\mathrm{Rp.}}{\mathrm{kWh}}$ in den Rechnungen, sowie $\frac{\mathrm{Rp.}}{\mathrm{kg}}$ im Resultat sind “nice to have”, aber für die volle Punktzahl nicht notwendig, solange die Aussage stimmt.

9 Gallium–68 – ein PET-Radiopharmakon (7 Punkte)

(a) $0.300\,\mathrm{ng}$ entspricht bei Ga–68 einer Teilchenzahl von: (1.5 Punkte)

$$N_0 \overset{0.5}{=} \frac{m}{m_\mathrm{A}} \overset{0.5}{=} \frac{0.300 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{kg}}{68.0\,\mathrm{u}} \overset{0.5}{=} 2.657 \cdot 10^{12}$$

Damit folgt für die Aktivität bei der Einspritzung: (1.5 Punkte)

$$A_0 = \frac{N_0 \cdot \ln 2}{T_{1/2}} \overset{0.5}{=} \frac{2.657 \cdot 10^{12} \cdot \ln 2}{67.629 \cdot 60\,\mathrm{s}} \overset{0.5}{=} 4.539 \cdot 10^8\,\mathrm{Bq} \overset{0.5}{=} 453.9\,\mathrm{MBq}$$

Diese anfängliche Aktivität nimmt bis zur Untersuchung 57 Minuten später ab auf den folgenden Wert: (1 Punkt)

$$A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \overset{0.5}{=} 453.9\,\mathrm{MBq} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{57\,\mathrm{min}}{67.629\,\mathrm{min}}} = 253\,\mathrm{MBq} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{250\,\mathrm{MBq}}}$$

Andere Zwischenresultate: $m(t) = 0.1673\,\mathrm{ng}$, $N(t) = 1.481 \cdot 10^{12}$.

(b) Für die gesuchte Zeit ergibt sich aus dem Zerfallsgesetz: (3 Punkte)

$$\begin{aligned}
A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} &= 0.001 \cdot A_0 && |\ : A_0 \\
\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} &\overset{1}{=} 0.001 && |\ : \log_{0.5}(\ldots) \\
\frac{t}{T_{1/2}} &= \log_{0.5} 0.001 && |\ \cdot T_{1/2} \\
t &\overset{1}{=} T_{1/2} \cdot \log_{0.5} 0.001 && |\,\text{Wert einsetzen} \\
t &= 67.629\,\mathrm{min} \cdot \log_{0.5} 0.001 \\
&= 674\,\mathrm{min} \overset{1}{=} \underline{\underline{11\,\mathrm{h}}}
\end{aligned}$$

10 Ein physikalischer Streifzug durch das KKW Gösgen (9 Punkte)

(a) Aus den Leistungs- und Energiedaten folgt: (1.5 Punkte)

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta E}{P} = \frac{8167\,\mathrm{GWh}}{992\,\mathrm{MW}} \overset{0.5}{=} \frac{8\,167\,000}{992}\,\mathrm{h} \\ &\overset{0.5}{=} 8233\,\mathrm{h} = 343\,\mathrm{Tage} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{11.3\,\mathrm{Monate}}}\end{aligned}$$

(b) Werkskomponenten und zugehörige Energieumwandlungen:

Reaktor: Massen- resp. **Kernenergie** des Spaltmaterials wird in **innere Energie** des Wassers im Reaktorkreislauf umgewandelt. (0.5 Punkte)

Dampferzeuger: Das Wasser des Reaktorkreislaufs überträgt **innere Energie** ans Wasser des Turbinenkreislaufs, wodurch letzteres verdampft und ein grosses Druckgefälle über den Turbinen entsteht. (0.5 Punkte)

Turbinen: Der Wasserdampf gibt **innere Energie**. Daraus entsteht die Drehbewegung der Turbine resp. auch des Rotors im Generator, also **kinetische Energie**. (0.5 Punkte)

Generator: Aus der **kinetischen Energie** entsteht hier schliesslich die **elektrische Energie**, die durch den Strom in der elektrischen Leitung abtransportiert wird. (0.5 Punkte)

(c) Für die Massendifferenz bei dieser Spaltungsreaktion folgt: (2 Punkte)

$$\begin{aligned}\Delta M &\overset{0.5}{=} m_{\mathrm{Kern}}({}^{235}_{92}\mathrm{U}) + m_n - m_{\mathrm{Kern}}({}^{141}_{56}\mathrm{Ba}) - m_{\mathrm{Kern}}({}^{92}_{36}\mathrm{Kr}) - 3m_n \\ &\overset{0.5}{=} \left[m_{\mathrm{A}}({}^{235}_{92}\mathrm{U}) - 92m_e\right] - \left[m_{\mathrm{A}}({}^{141}_{56}\mathrm{Ba}) - 56m_e\right] - \left[m_{\mathrm{A}}({}^{92}_{36}\mathrm{Kr}) - 36m_e\right] - 2m_n \\ &\overset{0.5}{=} m_{\mathrm{A}}({}^{235}_{92}\mathrm{U}) + -m_{\mathrm{A}}({}^{141}_{56}\mathrm{Ba}) - m_{\mathrm{A}}({}^{92}_{36}\mathrm{Kr}) - 2m_n \\ &= 235.043\,928\,\mathrm{u} - 140.914\,404\,\mathrm{u} - 91.926\,173\,\mathrm{u} - 2m_n \\ &\overset{0.5}{=} 3.089 \cdot 10^{-28}\,\mathrm{kg}\end{aligned}$$

Bewertungshinweise: Die Werte für u und m_n sind im TR als Konstanten hinterlegt, ebenso der Wert für c in der folgenden Rechnung. Wer anmerkt, dass sich bei Spaltungsreaktionen die Elektronenzahlen stets wegsubtrahieren, braucht sie nicht zu notieren, sondern darf ohne Punktabzug von der ersten in die dritte Zeile wechseln.

Für die freigesetzte Energie folgt: (1 Punkt)

$$\Delta E = \Delta M \cdot c^2 \overset{0.5}{=} 3.089 \cdot 10^{-28}\,\mathrm{kg} \cdot c^2 \overset{0.5}{=} 2.776 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{J}$$

Pro Sekunde werden $3\,000\,000\,000\,\mathrm{J}$ freigesetzt. (0.5 Punkte)

Die sekündliche Anzahl Reaktionen beträgt somit: (0.5 Punkte)

$$\frac{\Delta E_{\mathrm{total}}}{\Delta E} = \frac{3\,000\,000\,000\,\mathrm{J}}{2.776 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{J}} \overset{0.5}{=} \underline{\underline{1 \cdot 10^{20}}}$$

Die Anzahl der sekündlichen Spaltungsreaktionen ist also immens.

(d) Diese Nachwärme ist das Resultat der **radioaktivn Zerfälle der Spaltprodukte**, also der radioaktiven Abfälle. Dabei handelt es sich um $\boldsymbol{\beta^-}$**-Zerfälle**, denen in der Regel ein $\boldsymbol{\gamma}$**-Zerfall** nachfolgt. Die meisten dieser Teilchen werden bereits im Material wieder absorbiert. Ihre kinetische Energie wird aufgenommen und führt zur Erwärmung. (1.5 Punkte)