30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN Endrunde KLASSENSTUFE **7**

Lösung 30.3.07.1 (10 Punkte)

7.1.1.

Weg der Mutter: s_M

Weg des Vaters: $s_V = 1700\,m + s_R$, s_R ist sein Rückweg vom Haus zur Mutter

Es gilt: $1700\,m = s_M + s_R$ (Mutter und Vater treffen sich ja dort auf dem Rückweg des Vaters)

Also ist: $s_R = 1700\,m - s_M$, einsetzen in : $s_V = 1700\,m + 1700\,m - s_M = 3400\,m - s_M$

Weg des Vaters: $s_V = v_V \cdot t = 3400\,m - s_M$

Weg der Mutter: $s_M = v_M \cdot t$ einsetzen in $v_V \cdot t = 3400\,m - v_M \cdot t$

Also: $12\frac{km}{h} \cdot t = 3{,}4\,km - 4\frac{km}{h} \cdot t$

$16\frac{km}{h} \cdot t = 3{,}4\,km$

$t = 0{,}2125\,h = 12{,}75\,min = 765\,s$

Mutter läuft 850 m, Vater läuft 2550 m

Sie sind jetzt noch 850 m vom Haus entfernt. 6 BE

7.1.2. $850\,m - 250\,m = 600\,m$

Für den Hinweg braucht Papa $t = \frac{s}{v} = \frac{600\,m}{10\frac{km}{h}} = 0{,}06\,h = 3{,}6\,min = 216\,s$

In dieser Zeit schafft Mama $s = 3\frac{km}{h} \cdot 0{,}06\,h = 180\,m$

Zu Beginn seines Rückweges ist Mama also 600 m – 180 m =420 m voneinander entfernt.

Sie laufen nun mit einer Geschwindigkeit von $3\frac{km}{h} + 7\frac{km}{h} = 10\frac{km}{h}$ aufeinander zu.

Dafür benötigen sie $t = \frac{s}{v} = \frac{420\,m}{10\frac{km}{h}} = 0{,}042\,h = 2{,}52\,min = 151{,}2\,s$

Das Baby ist nach 216 s + 151,2 s = 367,2 s = 6,12 min glücklich. 4 BE

Lösung 30.3.07.2 (10 Punkte)

7.2.1.

Volumen vom Blei: $V = \frac{m}{\rho} = \frac{530\,g}{11{,}35\frac{g}{cm^3}} = 46{,}7\,cm^3$ ☑☑;

Volumen des Stoffes: $V = 94\,cm^3 - 46{,}7\,cm^3 = 47{,}6\,cm^3$ ☑

Dichte des Stoffes: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{500\,g}{47{,}6\,cm^3} = 10{,}5\frac{g}{cm^3}$ ☑☑→ Silber ☑ 6 BE

7.2.2.

Gesamtfläche: $A_{ges} = 60 \cdot \frac{\pi}{4}(1{,}2\,m)^2 = 67{,}8\,m^2$ ☑

Volumen des Silbers: $V_{ges} = A_{ges} \cdot h = 67{,}8\,m^2 \cdot 0{,}000001\,m = 0{,}0000678\,m^3 = 67{,}8\,cm^3$ ☑

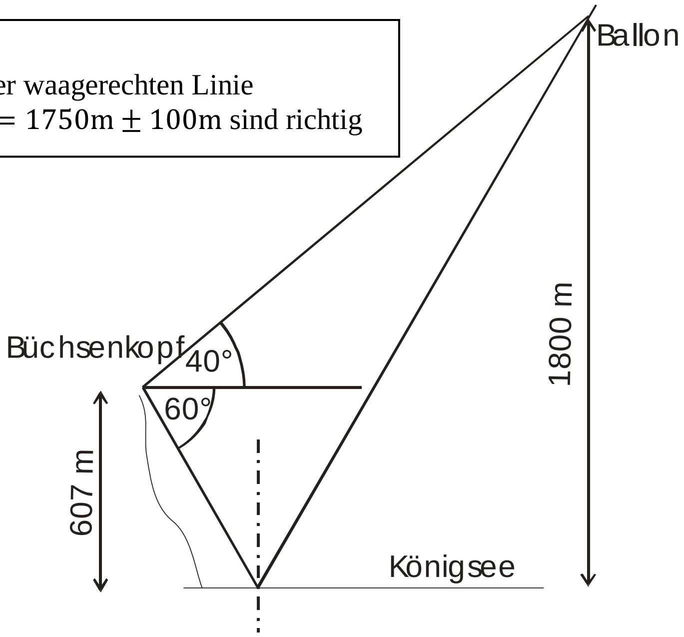
vorhandenes Silber: $V = \frac{m}{\rho} = \frac{560\,g}{10{,}5\frac{g}{cm^3}} = 53{,}3\,cm^3$ ☑

Antwort: Nein, das geht nicht. Man benötigt mehr Silber als vorhanden ist ☑ 4BE

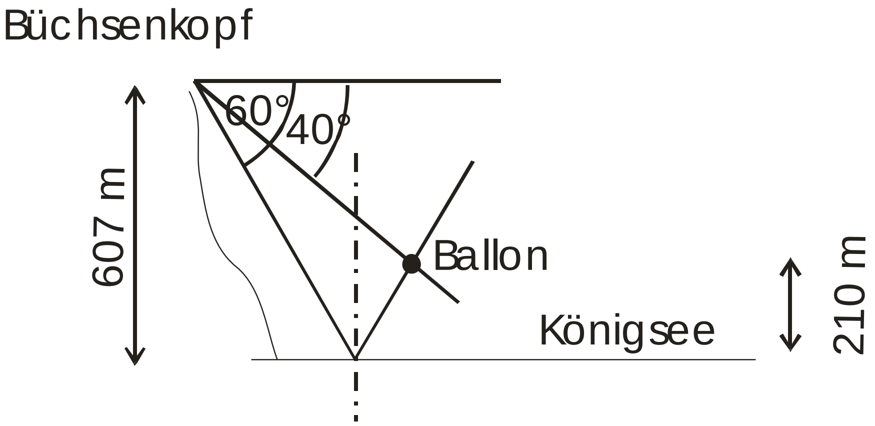
Lösung 30.3.07.3 (10 Punkte)

Darstellen der gegebenen Werte in einer Zeichnung	2BE
Festlegen eines geeigneten Maßstabes	1BE
Lot und Winkel am Wasser einzeichnen	2BE
Einzeichnen des Ballons im Schnittpunkt der beiden Strahlen	1BE
Höhe des Ballons ausmessen im Maßstab umrechnen	2BE
Erkennen das es eine zweite Lösung gibt	2BE

Variante 1
Ballon über der waagerechten Linie
Alle Werte h = 1750m ± 100m sind richtig



Variante 2
Ballon unter der waagerechten Linie
Alle Werte h = 211m ± 50m sind richtig



Maßstab 1: 10000
d. h. 1cm entspricht 100m

<u>Lösung 30.3.07.4 (10 Punkte)</u>

Kugel auf einer Spiralfeder

7.4.1 Skizze der Kugel auf der Spiralfeder, Gewichtskraft der Kugel, Kraft der Feder nach Oben 2BE

7.4.2 $F = D \cdot s \qquad s = \frac{F}{D} = \frac{0{,}8\,N}{200\,\frac{N}{m}} = 4\,mm$

Die Feder wird durch die Kugel 4mm zusammengedrückt. Ihre Länge beträgt dann 27,4 cm. 2BE

Spannen der Gewehrfeder

7.4.3 $F = D \cdot s \qquad s = \frac{F}{D} = \frac{500\,N}{15\,000\,\frac{N}{m}} = 3{,}3\,cm$

Die Feder wird um $s = 3{,}3$ cm zusammengedrückt 3BE

Kraft zum Spannen der Feder

Hebelgesetz: $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 \qquad F_2 = \frac{F_1 \cdot s_1}{s_2} = \frac{3{,}4\,cm \cdot 500\,N}{95\,cm} = 17{,}9\,N$

Zum Spannen der Feder wird am Knicklauf eine Kraft von F = 17,9 N benötigt. 3BE

Lösung 30.3.08.1 (10 Punkte)

$$Q_{Auf} = Q_s + Q_W = q_s \cdot m_{Eis} + m_{Wasser} \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

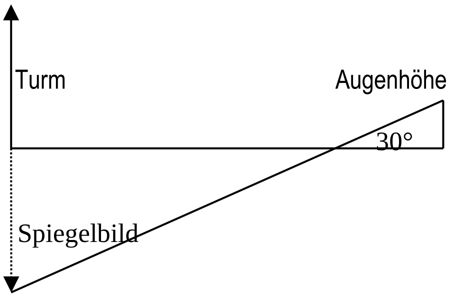
$$= 334\frac{kJ}{kg} \cdot 0{,}5kg + 1kg \cdot 4{,}19\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 20K = \underline{\underline{250{,}8kJ}}$$ **5P**

$$Q_{ab} = m_{WD} \cdot q_V + m_{WD} \cdot c \cdot \Delta\vartheta_{WD}$$

$$m_{WD} = \frac{Q_{ab}}{q_V + c \cdot \Delta\vartheta_{WD}} = \frac{250{,}8kJ \cdot kg}{2260kJ + 4{,}19kJ \cdot 80} = \underline{\underline{0{,}097kg = 97g}}$$ **5P**

Lösung 30.3.08.2 (10 Punkte)

die Skizze könnte wie folgt aussehen



a) Maßstab angeben **1P**
Zeichnung (mit Beschriftung) **2P**
Reflexionsgesetz anwenden **1P**
Entfernung: ≈ 62,5 m **1P**

b) $\frac{G}{B} = \frac{g}{b} \quad \rightarrow \quad B = \frac{b \cdot G}{g} \quad \rightarrow \quad B = \frac{55cm \cdot 3476\,km}{384400\,km} \approx 0{,}5m$ **3P**

Das Bild ist reell und umgekehrt. **2P**

Lösung 30.3.08.3 (10 Punkte)

Ein Schiff schwimmt, wenn die Gewichtskraft des verdrängten Wassers (entspricht der Eintauchtiefe) gleich der Gewichtskraft des Schiffes ist. Es taucht immer so tief ein, bis dieser Gleichgewichtszustand hergestellt ist. Da $\rho_{SW} > \rho_{HW}$, wiegt das gleiche Volumen Salzwasser auch mehr als Süßwasser und das Schiff taucht nicht so tief ein. **3P**

- im Salzwasser, Schiff beladen:
  Masse des Schiffes + Masse der Last = Masse des verdrängten Salzwassers $m_S + m_L = m_{SW} = \rho_{SW} \cdot V$
- im Hafen; Süßwasser, Schiff entladen:
  Masse des Schiffes = Masse des verdrängten Hafenwassers $m_S = m_{HW} = \rho_{HW} \cdot V$ **2P**
- Volumen des verdrängten Salzwassers vor dem Entladen = Volumen des verdrängten Süßwassers nach dem Entladen

$$\Rightarrow \quad \frac{m_S + m_L}{\rho_{MW}} = \frac{m_S}{\rho_{HW}} \qquad m_S \cdot \rho_{HW} + m_L \cdot \rho_{HW} = m_S \cdot \rho_{MW} \qquad m_S = \frac{m_L \cdot \rho_{HW}}{\rho_{MW} - \rho_{HW}} = \frac{600t \cdot 1\frac{g}{cm^3}}{(1{,}03 - 1)\frac{g}{cm^3}}$$

$$m_S = 20000\,t$$ **5P**

Lösung 30.3.08.4 (10 Punkte)

Der Ziegel rutscht, wenn $F_H > F_R$ $\quad \frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{l} \quad \Rightarrow \quad F_H = \frac{h}{l} \cdot F_G = 30N$ **4P**

$$F_G^2 = F_H^2 + F_N^2 \quad \Rightarrow \quad F_N = \sqrt{F_G^2 - F_H^2} = 74{,}2N \qquad F_R = \mu \cdot F_N = 29{,}7N$$ **4P**

$F_H > F_R \Rightarrow$ Ziegel rutscht **2P**

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN 3.Runde - KLASSENSTUFE **9** -

Aufgabe 30.3.9.1 (10 Punkte) **schwimmend**

Außenmaße erkennen und Plattendicke berücksichtigen

z.B. zwei Deckplatten 2 · 6m · 10m · 0,04m = $4{,}8m^3$
zwei große Seitenplatten 2 · 1,92m ·10m · 0,04m = $1{,}536m^3$
zwei kleine Seitenplatten 2 · 1,92m ·5,92m · 0,04m = $0{,}909312m^3$
Masse des Stahlaußenkörpers 56,5134t
Masse der Luft im Inneren 1,92m · 5,92m · 9,92m – (Alu innen 13,750t : $2{,}70t/m^3$) · $1{,}29kg/m^3$ = 138,9kg
Masse des Pontons auf 10kg genau: 56,65 t +0,138 t +13,750 t = 70,40t

120 t (Wasserverdrängung) zu 200 cm wie (70,4t+7,35t) zu 129,6 cm (errechnet)
also: Es ragt 70,4 cm aus dem Wasser.
Berechnung auch über Auftriebskraft möglich.

Volumenausdehnung von Stahl 3·0,000013 1/K, aber Volumenausdehnung von Wasser 0,000207 1/K
Er sinkt tiefer ein!

Aufgabe 30.3.9.2 (10 Punkte) **geradlinig**

a) Diagramm

Zeit in Zeiteinheiten	Geschwindigkeit in km/h
0	20
6	20
6	40
9	40
9	60
11	60

b) $s_{ges} = v_1t_1 + v_2t_2 + v_3t_3$ $t = t_1 + t_2 + t_3 = t_1 + ½\, t_1 + ⅓\, t_1$

$$v = \frac{v_1\, t_1 + v_2 \frac{1}{2} t_1 + v_3 \frac{1}{3} t_1}{t1 + ½\, t1 + ⅓\, t1} \qquad v = \frac{6\, v_1 + 3\, v_2 + 2\, v_3}{11}$$

v= 32,73km/h

c) $$v = \frac{v_1\, t_1 + v_2 \frac{1}{2} t_1 + v_3 \frac{1}{5} t_1}{t_1 + ½\, t_1 + ⅕\, t_1} \qquad v = \frac{10}{17}\left(v_1 + \frac{1}{2} v_2 + \frac{1}{5} v_3\right)$$

v = 35,3km/h

Eine Erhöhung der Geschwindigkeit beim letzten Drittel des Weges führt zu einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 35km/h. Auf einer Strecke von 10km bedeutet das nach t = s/v eine Zeitersparnis von etwas mehr als eine Minute. Eine Erhöhung der Geschwindigkeit auf einem Drittel der Gesamtstrecke bringt nur wenig Zeitgewinn.

d) $s_{LKW} = 100m + v\, t$ $s_{PKW} = \frac{a}{2} t^2$ $s_{LKW} = s_{PKW}$ $100m + v\, t = \frac{a}{2}\, t^2$

$t^2 - \frac{2\,v}{a}\, t - \frac{200m}{a} = 0$ t^2 - 20,2s t – 181,8s^2 = 0 t_1= 26,9s t_2 = -6,7s (entfällt)

$s_{LKW} = \frac{40m}{3{,}6s} \cdot 26{,}9s = 298{,}8m$ s_{PKW} = 298,9m + 100m = 389,9m

Der Pkw holt den LKW nach etwa 27s ein. Während dieser Zeit legt der LKW einen Weg von ca. 300m und der Pkw einen Weg von ca. 400m zurück.

Aufgabe 30.3.9.3 (10 Punkte) **hitzig**

a) Schmelzen des Eises Q_1 = 0,25kg·334kJ/kg = 83,5kJ
Erwärmen des Wassers Q_2 = 0,5kg·4,186kJ/(kg·K)· 100K = 209,3kJ
Verdampfen des Wassers Q_3 = 2260kJ/kg ·0,5kg = 1130kJ

Qgesamt = 1422,8kJ✓

$\eta = \frac{Q}{W} = \frac{Q\ R}{U^2\ t}$ ✓✓ t = 13448,02s ✓≈ 3,74h

b) Diagramm ✓✓✓

Temperatur in °C	Zeit in min
0	0
0	13,15
100	46,12
100	224,13

Aufgabe 30.3.9.4 (10 Punkte) **optisch**

geg.: f = 18,75 cm , s = 100cm ges.: g; b; A und allgemeine Lösung für g

Lös.: g + b = s ✓also b = s – g in ✓ $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{g} + \frac{1}{s-g}$ ✓ hier CAS Lösung möglich

g_1 = 75 cm✓ und g_2 = 25 cm ✓ ; b_1 = 25 cm und b_2 = 75cm ✓ ; A_1 = 3 und A_2 = 1/3 ✓

allgemeine Lösung: Ansatz ✓ $g^2 - sg + fs = 0$ ✓ also $g_{1;2} = \frac{s}{2} \pm \sqrt{\frac{s^2}{4} - fs}$ ✓

Lösung 30.3.10.1 (11 Punkte) **Rutschpartie**

fehlende Strecken und Winkel:

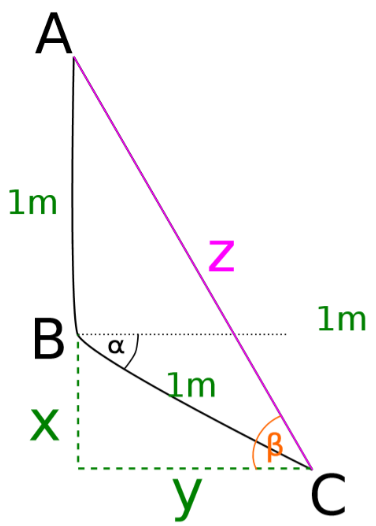
$x = 1\,m \cdot \sin\alpha \approx 0{,}4226\,m$

$y = 1\,m \cdot \cos\alpha \approx 0{,}9063\,m$

$z = \sqrt{(x + 1\,m)^2 + y^2} \approx 1{,}687\,m$ 1

alternativ über Kosinussatz

$\tan\beta = \dfrac{x + 1\,m}{y} \to \beta = 57{,}5°$ 1



Beschleunigungen entlang der unterschiedlichen Wege:

$a_{AB} = g$

$a_{BC} = \dfrac{F_{Hang}}{m} = \dfrac{F_G \cdot \sin\alpha}{m} = g \cdot \sin\alpha$ 1

$a_{AC} = g \cdot \sin\beta$ 1

Zeiten und Endgeschwindigkeiten:

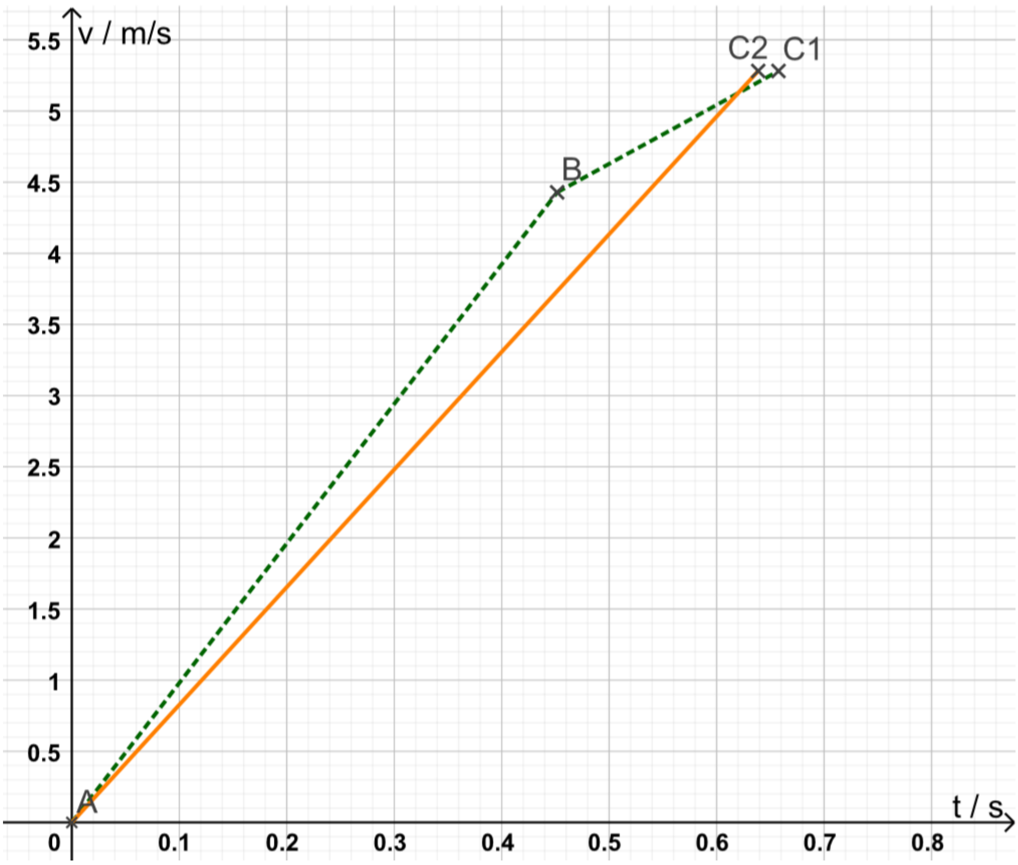
es gilt stets: $s = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ und $v = a \cdot t + v_0$

Weg links:

$t_{AB} \approx 0{,}4516\,s \to v_B \approx 4{,}429\,\dfrac{m}{s} \to t_{BC} \approx 0{,}2060\,s \to v_C \approx 5{,}282\,\dfrac{m}{s}$ 4

Weg Mitte:

$t_{AC} \approx 0{,}6387\,s \to v_C \approx 5{,}282\,\dfrac{m}{s}$ 1

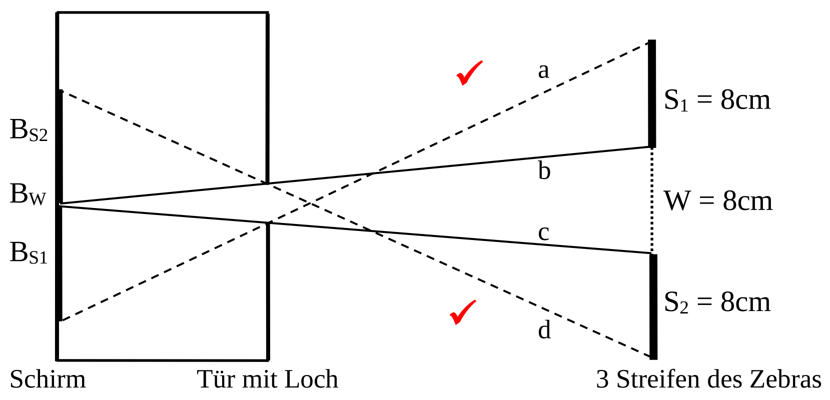
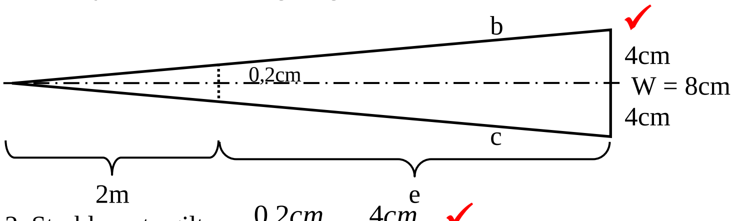


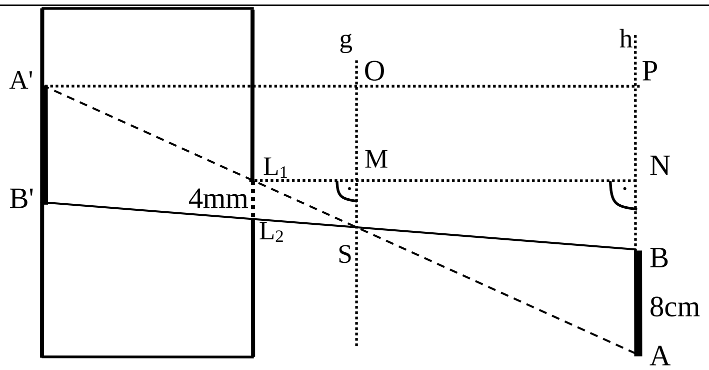
2

Lösung 30.3.10.2 (9 Punkte) **Wärmeäquivalent**

a)	$\Delta E_{pot} = Q$ $m \cdot g \cdot h = m \cdot c \cdot \Delta T$ $h = \frac{c \cdot \Delta T}{g} = \frac{4{,}19\ \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 1\ K}{9{,}81\ \frac{m}{s^2}} = 427\ m$ $\frac{365m}{427m} = 0{,}855 \rightarrow 14{,}5\%$ Fehler	1 1 1
b)	$\Delta E_{pot} = Q$ $N \cdot m \cdot g \cdot h = m_W \cdot c_W \cdot \Delta T + m_{Cu} \cdot c_{Cu} \cdot \Delta T$ $\Delta T = \frac{N \cdot m \cdot g \cdot h}{m_W \cdot c_W + m_{Cu} \cdot c_{Cu}}$ $= \frac{20 \cdot 26\ kg \cdot 9{,}81\ \frac{m}{s^2} \cdot 1{,}6\ m}{1{,}2\ kg \cdot 4{,}19\ \frac{kJ}{kg \cdot K} + 0{,}72\ kg \cdot 0{,}39\ \frac{kJ}{kg \cdot K}} = 1{,}54\ K$	1 1
c)	$Q = 0{,}7 \cdot W_R$ $m \cdot c \cdot \Delta T = \varrho \cdot V \cdot c \cdot \Delta T = \varrho \cdot A \cdot l \cdot c \cdot \Delta T = 0{,}7 \cdot F_R \cdot l$ $F_R = \frac{\varrho \cdot A \cdot c \cdot \Delta T}{0{,}7} = \frac{\varrho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot c \cdot \Delta T}{0{,}7}$ $= \frac{7{,}8\ \frac{g}{cm^3} \cdot \pi \cdot (2\ mm)^2 \cdot 0{,}47\ \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 7{,}6\ K}{0{,}7} = 500\ N$	1 2 1

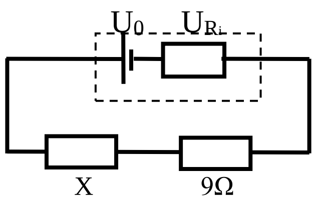
Lösung 30.3.10.3 (10 Punkte) **Zebrastreifen**

a)	 Wenn der Abstand des Zebras zur Tür so groß ist, dass sich die Bildbereiche B_{S1} und B_{S2} überlappen, kann man keinen reinweißen Bildbereich B_W erkennen. Erst, wenn man den Abstand e unterschreitet, bei dem sich die Randstrahlen b und c am Schirm in einem Punkt treffen, gibt es noch reinweiße Bereiche. Bei angenommen symmetrischer Lage ergibt sich:  Nach dem 2. Strahlensatz gilt: $\frac{0{,}2cm}{2m} = \frac{4cm}{2m+e}$ $\underline{\underline{e}} = \frac{2m \cdot 4cm}{0{,}2cm} - 2m = \underline{\underline{38m}}$ Für den Abstand a mit a < 38m gibt es reinweiße Streifenabschnitte.	3 1 1 2

<table>
<tr><td>b)</td><td>


Da $[A'B'] \parallel [L_1L_2] \parallel [BA]$ gilt, erhält man aufgrund der Strahlensätze ein konstantes Teilverhältnis:
$\frac{4mm}{8cm} = \frac{\overline{L_1S}}{\overline{AS}} = \frac{\overline{L_1M}}{\overline{NM}} = \frac{\overline{L_1M}}{e-\overline{L_1M}}$
Wenn e (Abstand von h zur Lochebene) gleich groß bleibt, bleibt auch $\overline{L_1M}$ gleich.
Wenn sich Streifen $\overline{AB}$ auf h verschiebt, so verschiebt sich der Punkt S auf g und es gilt: g ǁ h.
Somit gilt auch: $\frac{\overline{A'B'}}{8cm} = \frac{\overline{A'S}}{\overline{AS}} = \frac{\overline{A'O}}{\overline{PO}} = \frac{2m+\overline{L_1M}}{e-\overline{L_1M}} \Leftrightarrow \overline{A'B'} = 8cm \cdot \frac{2m+\overline{L_1M}}{e-\overline{L_1M}}$
Da e und $\overline{L_1M}$ konstant sind, bleibt auch die Bildgröße konstant. Die Zebrastreifen verändern also ihre Breite auf dem Bildschirm nicht.
</td><td>3</td></tr>
</table>

Lösung 30.3.10.4 (10 Punkte) **X-Wert**

<table>
<tr><td>a)</td><td>
Für die Stromstärke gilt: $I = \frac{5V}{X} = \frac{U_0}{X+9\Omega+R_i}$
$\Leftrightarrow U_0 \cdot X = 5V \cdot (X+9\Omega+R_i)$
mit (0) $X = 50R_i$ erhält man: (1) $U_0 \cdot 50R_i = 5V \cdot (51R_i + 9\Omega)$
analog mit dem 99Ω-Widerstand: (2) $U_0 \cdot 50R_i = 2V \cdot (51R_i + 99\Omega)$
analog mit dem 999Ω-Widerstand: (3) $U_0 \cdot 50R_i = U_X \cdot (51R_i + 999\Omega)$
Lösung des Gleichungssystems: (1) = (2) $5V \cdot (51R_i + 9\Omega) = 2V \cdot (51R_i + 99\Omega)$
$\Leftrightarrow 255V \cdot R_i + 45V \cdot \Omega = 102V \cdot R_i + 198V \cdot \Omega$


$\Leftrightarrow 153V \cdot R_i = 153V \cdot \Omega$
$\Leftrightarrow \underline{R_i = 1\Omega}$
$R_i \to (0)$ $\underline{X = 50\Omega}$
(1) = (3) $5V \cdot (51\Omega + 9\Omega) = U_X \cdot (51\Omega + 999\Omega)$
Spannung an X bei Reihenschaltung mit 999Ω-Widerstand: $\underline{\underline{U_X}} = \frac{5V \cdot 60\Omega}{1050\Omega} = \frac{2}{7}V \approx \underline{\underline{0{,}29V}}$
$R_i \to (1)$ $U_0 \cdot 50\Omega = 5V \cdot (60\Omega)$
$\Leftrightarrow \underline{U_0 = 6{,}00V}$
</td><td>1
1
1

1
1

1
1

1

1</td></tr>
<tr><td>b)</td><td>
Spannung an X bei Einzelschaltung:
(4) $I = \frac{6V}{51\Omega} = \frac{U_{XE}}{50\Omega}$ bzw.: $6V \cdot 50\Omega = U_{XE} \cdot 51R_i$
$\Leftrightarrow \underline{\underline{U_{XE}}} = \frac{6V \cdot 50\Omega}{51\Omega} = \underline{\underline{5{,}88V}}$
</td><td>

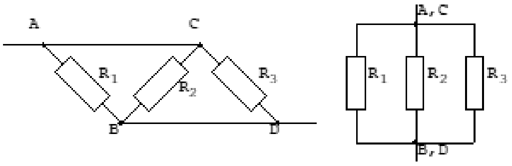
1</td></tr>
</table>

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN Endrunde - KLASSENSTUFE 11 -

Lösung 30.3.11.1 (9 Punkte)

- Die Aussagen von Michael und Peter sind falsch.
- Die Aussage von Karin ist richtig.

Die Lösung kann z.B. mit einem Ersatzschaltbild gefunden werden. (s. Abb.)



Untersuchung und richtige Entscheidung (je 3 Punkte) 9 Punkte

Lösung 30.3.11.2 (10 Punkte)

In der Aufgabenversion, die den Schülerinnen und Schülern zur Olympiade ausgeteilt wurde, befand sich ein Fehler in der Aufgabenstellung zu 11.2.2. Dieser wurde nun korrigiert. Alle sinnvollen Antworten wurden gewertet, so dass den Teilnehmenden kein Nachteil entstanden ist. In dieser Version ist der Fehler bereits korrigiert.

11.2.1 Der Körper hat die Masse: $m = m_2 - m_1 = 375\,\text{g}$ ☑ 5 Punkte

Gewicht Körper in Luft: $F_L = (m_2 - m_1)\cdot g = 3{,}68\,\text{N}$ (Wert nicht erforderlich.)

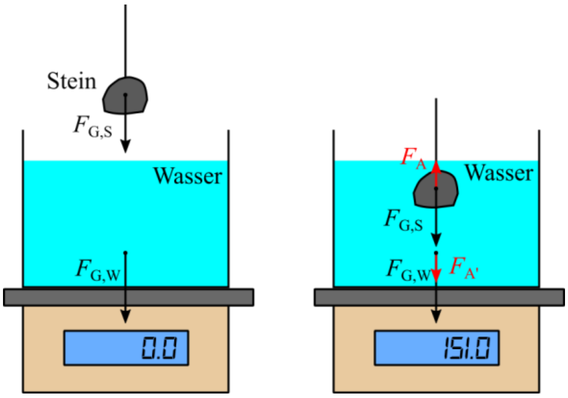
Gewicht Körper in Wasser: $F_W = (m_2 - m_3)\cdot g = 2{,}197\,\text{N}$ (Wert nicht erforderlich.)

$$F_A = \rho\cdot g\cdot V = F_L - F_W \quad ☑☑$$

$$V = \frac{F_L - F_W}{\rho\cdot g} = 1{,}51\cdot 10^{-4}\,\text{m}^3 = \underline{151\,\text{cm}^3} \quad ☑$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \underline{2{,}48\,\tfrac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 2{,}5\,\tfrac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad ☑$$

11.2.2 Stellt man den Topf mit Wasser auf die Waage, drückt beides mit der Gewichtskraft $F_{G,W}$ auf die Waage. Diese zeigt zunächst die Masse $m_W = F_{G,W}/g$ an. Jetzt wird die Waage mit TARA auf Null gestellt. 5 Punkte



Hängt man den Stein in das Wasser, drückt das Wasser den Stein mit der Auftriebskraft F_A nach oben ☑ (sein Gewicht wird dadurch scheinbar geringer). Nach dem 3. Newton'schen Axiom ☑ wirkt auf das Wasser die Gegenkraft $F_{A'}$ (gleicher Betrag, aber entgegengerichtet zur Auftriebskraft). Diese Kraft drückt zusätzlich auf die Waage. Durch das Null stellen zeigt die Waage aber nur $m_A = F_A/g$ an. ☑

Die Auftriebskraft ist $F_A = \rho_W\cdot V_{Stein}\cdot g$ und somit zeigt die Waage $m_A = \rho_W\cdot V_{Stein}$ an. ☑

Da die Dichte von Wasser $\rho_W \approx 1\,\text{g/cm}^3$ ist, entspricht die angezeigte Masse in g dem Volumen des Steins in cm³. ☑

Lösung 30.3.11.3 (10 Punkte)

11.3.1 Für die erste Brechung gilt: $\sin\alpha = n_G \sin\beta$ ☑ 6 Punkte

Am Punkt P folgt aus der Geometrie der Anordnung: $\alpha_2 = 90° - \beta$ ☑

Das Brechungsgesetz lautet hier $n_G \sin(90° - \beta) = n_G \cos\beta = n_W \sin\beta_2$ ☑

Damit Totalreflexion auftritt, muss $\beta_2 = 90°$ ☑ sein und

daher ist $\beta = \arccos(n_W / n_G) = 27{,}5°$. ☑

Schließlich ist $\alpha = \arcsin(n_G \sin\beta) = 43{,}9°$. ☑

11.3.2 Wenn das Wasser entfernt wird ergibt sich unabhängig von $\alpha = 43{,}9°$ eine größere Differenz der Brechzahlen☑ und somit muss Totalreflexion auftreten. ☑ 2 Punkte

11.3.3 Grenzwinkel für Totalreflexion: α_G = 41,8° 2 Punkte
Dazu gehört der Brechungswinkel beim Lichteinfall in das Glas β = 48,2° ☑
Dafür gibt es keinen Einfallswinkel α in das Glas. ☑
Für jeden Einfallswinkel tritt also Totalreflexion nach dem beschriebenen Versuchsaufbau auf.

Lösung 30.3.11.4 (11 Punkte)

11.4.1 Wärmeabgabe: Tauchsieder 2 Punkte
Wärmeaufnahme: Flüssigkeit, Kalorimeter (Thermometer)

11.4.2 Herleitung der Gleichung, **z.B.** mit dem Ansatz 4 Punkte

$$\left|Q_{Flüss} + Q_C\right| = P \cdot t$$

$$\left(m \cdot c_{Flüss} + C\right) \cdot \left(\vartheta_1 - \vartheta_0\right) = P \cdot t \rightarrow c_{Flüss} = \frac{C \cdot \left(\vartheta_1 - \vartheta_0\right) - P \cdot t}{m \cdot \left(\vartheta_0 - \vartheta_1\right)}$$

11.4.3 Berechnung: $c_{Flüss} = 4{,}1712 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ 2 Punkte

11.4.4 Erläutern der Bedeutung 1 Punkt

11.4.5 systemat. Fehler: z.B. Messtoleranz Thermometer / Uhr 2 Punkte
zufälliger Fehler: z.B. Abwärme an Umgebung, Messungenauigkeiten beim Ablesen

Lösung 30.3.12.1 „Phy-/Musik auf dem Monochord“ (10 Punkte)

a) Eine Oktave besteht aus 12 Halbtönen. Die Frequenz zweier Töne, die eine Oktave auseinanderliegen unterscheiden sich um einen Faktor 2. Um von einem Ton zum nächsten, einen Halbton höheren, Ton zu gelangen, multipliziert man die Frequenz mit einem Faktor k. Um zum nächsthöheren Ton zu gelangen, multipliziert man erneut mit k, usw. Auf diese Weise erhält man für die Oktave $k^{12} = 2$. Zwei aufeinanderfolgende Töne unterscheiden sich folglich um einen Faktor $k = \sqrt[12]{2} \approx 1{,}05946$. 2 BE

b) Die Frequenz einer schwingenden Saite berechnet sich mit

$$f = \frac{1}{2\cdot l}\sqrt{\frac{F}{\rho\cdot A}}\,, \qquad (1)$$

darin ist ρ die Dichte des Saitenmaterials, l die Länge der Saite, $A = \pi\cdot\left(\frac{d}{2}\right)^2$ die Querschnittfläche und $F = m\cdot g$ die Kraft, mit welcher die Saite durch das Massestück gespannt wird (Schüler können Formel aus Tafelwerk entnehmen). Stellt man diese Gleichung nach der Kraft bzw. der Masse um folgt 2 BE

$$m = \frac{\rho\cdot\pi\cdot d^2\cdot l^2\cdot f^2}{g} \qquad (2)$$

Mit der Dichte von Stahl $\rho = 7800\ \mathrm{kg/m^3}$ erhält man die Masse $m = 3{,}85$ kg.

c) Auf der Seite des Monochords entsteht eine stehende Welle. Bei zwei festen Enden gilt für den Grundton

$$l = \frac{1}{2}\lambda_0. \qquad (1)$$

Weiterhin gilt die Gleichung

$$c = \lambda\cdot f \qquad \text{bzw.} \qquad c = 2\cdot l\cdot f. \qquad (2)$$

Ändert man die Länge der Saite, verändert sich bei gleichbleibender Saitenspannung und damit Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Frequenz entsprechend. Es gilt zum einen $c = 2\cdot l_0\cdot f_0$ und zum anderen $c = 2\cdot l_1\cdot f_1$ für jede beliebige andere Frequenz. Setzt man beides gleich, folgt für die Länge 2 BE

$$l_1 = l_0\cdot\frac{f_0}{f_1}. \qquad (3)$$

Die Töne c[1] und c[2] liegen eine Oktave auseinander, folglich ist $f_{c2} = 2\cdot f_{c1} = 523{,}26$ Hz. Soll sich die Frequenz verdoppeln, muss die Länge der Saite halbiert werden $l_{c2} = l_{c1}\cdot\frac{f_{c1}}{2\cdot f_{c1}} = \frac{1}{2}l_{c1} = 25$cm.

Der Ton d[1] liegt zwei Halbtöne über c[1]. Die Frequenz ändert sich damit nach $f_{d1} = \left(\sqrt[12]{2}\right)^2\cdot f_{c1} = 1{,}1225\cdot f_{c1} = 293{,}67$ Hz und für die Länge folgt $l_{d1} = l_{c1}\cdot\frac{f_{c1}}{\left(\sqrt[12]{2}\right)^2\cdot f_{c1}} = 0{,}8909\cdot l_{c1} = 44{,}5449$ cm. 4 BE

Der Ton f[1] liegt fünf Halbtöne über c[1]. Die Frequenz ändert sich damit nach $f_{f1} = \left(\sqrt[12]{2}\right)^5\cdot f_{c1} = 1{,}3348\cdot f_{c1} = 349{,}23$ Hz und für die Länge folgt $l_{f1} = l_{c1}\cdot\frac{f_{c1}}{\left(\sqrt[12]{2}\right)^5\cdot f_{c1}} = 0{,}7492\cdot l_{c1} = 37{,}4577$ cm.

Ergebnisübersicht:

Ton	Frequenz in Hz	Länge in cm
c^1	261,63	50,00
d^1	293,67	44,54
f^1	349,23	37,46
c^2	523,26	25,00

Lösung 30.3.12.2 „Kapillare“ (10 Punkte)

In der horizontalen Lage befindet sich in jeder Kapillarhälfte das Luftvolumen $V_0 = A\cdot h$ (h = 0,4 m) unter dem Druck p_0. 1 BE

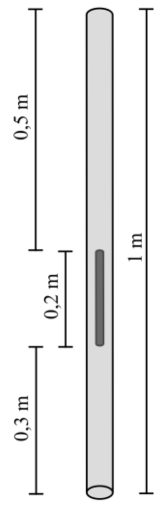
In der vertikalen Stellung gilt für das obere Volumen: $V_1 = A\cdot(h + \Delta l)$, mit Δl = 10 cm. Es stellt sich der Druck p_1 ein, wobei nach Boyle und Mariotte gilt: 1 BE

$p_1\cdot V_1 = p_0\cdot V_0$
$p_1\cdot h_1\cdot A = p_0\cdot h\cdot A$
$p_1\cdot h_1 = p_0\cdot h$ $\qquad h_1 = h + \Delta l = 0{,}5$ m
$p_0\cdot h = p_1\cdot (h + \Delta l)$ (1) 3 BE

Entsprechend gilt für den unteren Teil der Kapillare:

$p_2 \cdot h_2 = p_0 \cdot h \qquad h_2 = h - \Delta l = 0{,}3\ \text{m}$

$p_0 \cdot h = p_2 \cdot (h - \Delta l)$ (2)



Der Druck p_2 in der unteren Kapillare setzt sich zusammen aus dem Druck p_1 und dem Druck des Quecksilberfadens p_3

$p_2 = p_1 + p_3$ (3) 2 BE

Druck des Quecksilberfadens ist

$p_3 = \frac{F_G}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot l \cdot g}{A} = \rho \cdot l \cdot g = 26565\ \text{Pa}$ 2 BE

Die Gleichungen (1), (2) und (3) ergeben ein Gleichungssystem. Daraus folgt

$\rightarrow p_0 = 49809\ \text{Pa}$ 1 BE

In horizontaler Lage betrug der Druck 49809 Pa.

Lösung 30.3.12.3 **„Streuversuche"** **(10 Punkte)**

a) Definition der Comptonwellenlänge: $\lambda_c = \frac{h}{m_0 \cdot c} \rightarrow m_0 = \frac{h}{\lambda_c \cdot c}$ 2BE

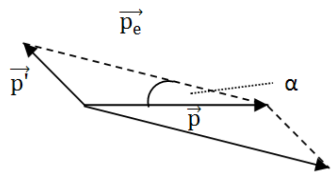
Energie eines Photons mit λ_c: $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda_c} = m \cdot c^2 \rightarrow m = \frac{h}{\lambda_c \cdot c} \rightarrow m_0 = m$

b) Berechnen der Wellenlängenänderung:

$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos(156°)) = 4{,}65\ \text{pm} \qquad (\lambda_c = 2{,}43 \cdot 10^{-12}\text{m})$ 2 BE

$\rightarrow \lambda' = \Delta\lambda + \lambda = 75{,}91\ \text{pm}$

Für den Impuls eines Photons gilt $p = h/\lambda$. Damit und aus der Skizze folgt:



$p_e = \sqrt{p^2 + p'^2 - 2 \cdot p \cdot p' \cdot \cos(156°)}$ 2 BE

$p_e = 1{,}76 \cdot 10^{-23}\ \text{Ns}$

$(p = 9{,}30 \cdot 10^{-24}\ \text{Ns};\ p' = 8{,}73 \cdot 10^{-24}\ \text{Ns})$

Winkel des Elektrons: (z. B. Sinussatz)

$\frac{\sin\alpha}{\sin(156°)} = \frac{p'}{p_e}$ 2 BE

$\alpha = 11{,}6°$

c) Energieaufnahme des Elektrons = Energieabgabe der Strahlung

$E_{kin} = hf - hf' = 1{,}7 \cdot 10^{-16}\ \text{J} = 1{,}06\ \text{keV}$

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m_e}}$ 2 BE

$v = 1{,}9 \cdot 10^7\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Lösung 30.3.12.4 **„Induktion durch Bewegung"** **(10 Punkte)**

a) Auf den Stab wirken bis zu drei Kräfte, die Gewichtskraft F_g des angehangenen Massestücks, die Reibungskraft F_R und die Lorentzkraft F_L. Im bewegten Stab wird eine Spannung $U_{Ind} = B \cdot v \cdot d$ induziert. Da die Schienen über einen Widerstand verbunden sind, führt die Induktionsspannung zu einem Induktionsstrom. Strom und Spannung sind über $I = U_{Ind}/R$ miteinander verbunden. Da Stab und magnetische Feldlinien senkrecht aufeinander stehen, bewirkt dieser Strom eine Kraft $F_L = I \cdot d \cdot B = \frac{B^2 \cdot d^2 \cdot v}{R}$. Die Lorentzkraft hängt demnach von der Geschwindigkeit ab. 2 BE

In Phase I ist die Geschwindigkeit klein und es gilt $F_g > F_L + F_R$. Der Stab wird beschleunigt. Durch die Beschleunigung steigen Geschwindigkeit und Lorentzkraft, so dass sich in Phase II ein Kräftegleichgewicht $F_g = F_L + F_R$ einstellt. Da die resultierende Kraft null ist, bleibt die Geschwindigkeit konstant. Setzt das Massestück auf dem Boden auf, beginnt Phase 3. Die Kraft F_g ist null und die beiden übrigen Kräfte $F_L + F_R$ bremsen den Stab, letztlich bis zum Stillstand, ab. 3BE

b) Aus dem Kräftegleichgewicht $F_g = F_L + F_R$ erhält man zunächst

$m \cdot g = \mu_G \cdot m_S \cdot g + \frac{B^2 \cdot d^2 \cdot v}{R}$ und damit für die gesuchte Masse

$m = \mu_G \cdot m_S + \frac{B^2 \cdot d^2 \cdot v}{R \cdot g} = 0{,}1 \cdot 0{,}08\ \text{kg} + \frac{(0{,}8\text{T})^2 \cdot (0{,}5\text{m})^2 \cdot 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\Omega \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8\text{g} + 20{,}4\text{g} = 28{,}4\ \text{g}$. 2 BE

c) Das Voltmeter zeigt negative Spannungen an. Dies folgt aus der Richtung der Lorentzkraft auf die Elektronen hervorgerufen durch die Bewegung des Stabes. Mit der 3-Fingerregel der linken Hand ermittelt man die Kraftrichtung: Bewegung des Stabes (der Elektronen im Stab) nach rechts, die Magnetfeldlinien zeigen in die Papierebene hinein. Daraus folgt, dass die Lorentzkraft nach unten wirkt. Die untere Schiene ist aber an den +V-Eingang des Voltmeters angeschlossen, deshalb zeigt das Voltmeter negative Spannungen an. 3 BE

Der Betrag der Spannung ist $|U_{Ind}| = B \cdot v \cdot d = 0{,}8\ \text{T} \cdot 2{,}5\ \text{m/s} \cdot 0{,}5\ \text{m} = 1\ \text{V}$.