

– Lösungshinweise –

**Musterprüfung Nr. 004 zum Fachabitur**  
zum Erwerb der Fachhochschulreife  
an Fachoberschulen und Berufsoberschulen

# Physik

## Ausbildungsrichtung Technik

| Notenschlüssel: | Note | Punkte | Bewertungseinheiten |     |
|-----------------|------|--------|---------------------|-----|
|                 |      |        | von                 | bis |
|                 | +    | 15     | 100                 | 96  |
|                 | 1    | 14     | 95                  | 91  |
|                 | –    | 13     | 90                  | 86  |
|                 | +    | 12     | 85                  | 81  |
|                 | 2    | 11     | 80                  | 76  |
|                 | –    | 10     | 75                  | 71  |
|                 | +    | 9      | 70                  | 66  |
|                 | 3    | 8      | 65                  | 61  |
|                 | –    | 7      | 60                  | 56  |
|                 | +    | 6      | 55                  | 51  |
|                 | 4    | 5      | 50                  | 46  |
|                 | –    | 4      | 45                  | 41  |
|                 | +    | 3      | 40                  | 34  |
|                 | 5    | 2      | 33                  | 27  |
|                 | –    | 1      | 26                  | 20  |
|                 | 6    | 0      | 19                  | 0   |

Ergibt die Gesamtsumme der Bewertungseinheiten n,5, so wird einmalig aufgerundet.

| BE |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | <b>1.1</b> Impulserhaltung (B ruht vorher): $m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$ (1 BE)<br>$v_B' = \frac{m_A(v_A - v_A')}{m_B} = \frac{250 \text{ kg} \cdot 1,6 \text{ m/s}}{200 \text{ kg}} = 2,0 \text{ m/s}$ (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2  | <b>1.2</b> $E_{\text{vorher}} = \frac{1}{2} m_A v_A^2 = 0,72 \text{ kJ}$<br>$E_{\text{nachher}} = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2 = 80 \text{ J} + 400 \text{ J} = 0,48 \text{ kJ}$ (1 BE)<br>Die kinetische Energie nimmt ab: Der Stoß ist nicht elastisch; 0,24 kJ, also ein Drittel ( $\approx 33\%$ ) der kinetischen Energie, wird in innere Energie (Verformung der Gummipuffer) umgewandelt. (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2  | <b>1.3</b> Die Aussage ist falsch: Nach dem Wechselwirkungsprinzip sind die Kräfte, die die Wagen aufeinander ausüben, zu jedem Zeitpunkt gleich groß und entgegengesetzt gerichtet; beide erfahren betragsgleiche Impulsänderungen:<br>$m_A \Delta v_A = 250 \text{ kg} \cdot 1,6 \text{ m/s} = 400 \text{ N s} = m_B \Delta v_B$ (1 BE)<br>Wegen ihrer kleineren Masse ändert sich die Geschwindigkeit von B stärker (2,0 m/s statt 1,6 m/s) – das „Durchschütteln“ kommt von der größeren Beschleunigung, nicht von einer größeren Kraft. (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2  | <b>2.1</b> Abstand der Lagen 1 und 2 (Skala): $\Delta y \approx 2,7 \text{ cm}$ (1 BE)<br>$\bar{v}_{12} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{0,027 \text{ m}}{0,050 \text{ s}} \approx 0,54 \text{ m/s}$ (1 BE)<br>Korrekturhinweis: Ablesungen zwischen 2,6 cm und 2,8 cm sind zu akzeptieren.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4  | <b>2.2</b> Zwischen den Lagen 4 und 5:<br>$\Delta y \approx 25,6 \text{ cm} - 15,5 \text{ cm} = 10,1 \text{ cm}$ , $\bar{v}_{45} = \frac{0,101 \text{ m}}{0,050 \text{ s}} \approx 2,0 \text{ m/s}$ (1 BE)<br>Die mittleren Geschwindigkeiten gehören zu den Mitten der Zeitintervalle; diese liegen $3 \Delta t = 0,15 \text{ s}$ auseinander. (1 BE)<br>$a = \frac{\bar{v}_{45} - \bar{v}_{12}}{3 \Delta t} = \frac{2,02 \text{ m/s} - 0,54 \text{ m/s}}{0,15 \text{ s}} \approx 9,9 \text{ m/s}^2$ (1 BE)<br>Das stimmt im Rahmen der Ablesegenauigkeit mit $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ überein: Der Tropfen fällt frei. (1 BE)<br>Korrekturhinweis: Werte zwischen $9,4 \text{ m/s}^2$ und $10,3 \text{ m/s}^2$ sind zu akzeptieren; auch der Weg über $\Delta s = a \Delta t^2$ (konstante Zunahme der Abstände) ist vollständig richtig. |
| 2  | <b>3.1</b> $f = \frac{30}{12 \text{ s}} = 2,5 \text{ Hz}$ (1 BE); $v = 2\pi r f = 2\pi \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ Hz} \approx 1,9 \text{ m/s}$ (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2  | <b>3.2</b> $a_Z = \omega^2 r = (2\pi \cdot 2,5 \text{ Hz})^2 \cdot 0,12 \text{ m} \approx 29,6 \text{ m/s}^2$ (1 BE)<br>$\frac{a_Z}{g} \approx 3,0$ , also etwa das Dreifache der Fallbeschleunigung. (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2  | <b>3.3</b> Für einen außenstehenden Beobachter wirkt keine nach außen gerichtete Kraft. Damit sich ein Tropfen auf der Kreisbahn bewegt, muss eine zum Mittelpunkt gerichtete Kraft (Zentripetalkraft) vom Betrag $m a_Z$ auf ihn wirken. (1 BE)<br>Die Haftung am Salatblatt reicht dafür nicht aus; der Tropfen bewegt sich deshalb wegen seiner Trägheit tangential (geradlinig) weiter und verlässt das Blatt durch die Löcher des Korbs. (1 BE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2  | <b>4.1</b> Von $t = 0$ bis $t = 3,0 \text{ s}$ liegen sechs Perioden: $T = 0,50 \text{ s}$ (1 BE)<br>$f_0 = \frac{1}{T} = 2,0 \text{ Hz}$ (1 BE)<br>Korrekturhinweis: Bestimmung aus mehreren Perioden wird erwartet; eine einzelne Periode nur mit 1 BE.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Fortsetzung siehe nächste Seite

BE

- 3 **4.2** Die Schrittfrequenz von etwa 2 Hz stimmt mit der Eigenfrequenz  $f_0 = 2,0$  Hz überein: Eine Gruppe im Gleichschritt regt die Brücke in Resonanz an. (1 BE)  
Bei jedem Schritt wird Energie im richtigen Takt zugeführt, die Amplitude kann sehr groß werden – Gefahr für Bauwerk und Menschen (Absperren oder „Nicht im Gleichschritt gehen“). (1 BE)  
Schwingungsdämpfer wandeln Schwingungsenergie in innere Energie um und begrenzen so die Amplitude auch bei Anregung mit der Eigenfrequenz: eine sinnvolle Maßnahme. (Alternativ: Eigenfrequenz durch Versteifen von etwa 2 Hz wegschieben.) (1 BE)
- 2 **5.1**  $\lambda = c \cdot T = 7,5 \text{ m/s} \cdot 6,0 \text{ s} = 45 \text{ m}$  (2 BE)
- 3 **5.2** Abbildung B ist richtig. (1 BE)  
Die Einfahrt ( $b = 40 \text{ m}$ ) ist etwa so breit wie eine Wellenlänge ( $\lambda = 45 \text{ m}$ ). (1 BE)  
Nach dem Huygens'schen Prinzip ist jeder Punkt der Einfahrt Ausgangspunkt einer Elementarwelle; bei  $b \approx \lambda$  überlagern sich nur wenige Elementarwellen zu einer annähernd kreisförmigen Wellenfront, die auch in den Bereich hinter den Molen läuft (Beugung). A zeigt keine Beugung; das wäre nur bei  $b \gg \lambda$  annähernd so. (1 BE)
- 2 **6.1**  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 20 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(0,060 \text{ m})^2} \approx 1,5 \text{ mN}$  (1 BE)  
Die Ladungen haben verschiedene Vorzeichen: Die Kugeln ziehen sich an. (1 BE)
- 2 **6.2**  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1}{r^2} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(0,060 \text{ m})^2} \approx 7,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$  (1 BE)  
Richtung: von  $Q_1$  weg, also längs der Verbindungslinie von  $Q_1$  nach  $Q_2$  (positive Quellladung). (1 BE)
- 2 **6.3**  $F \sim \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ : Die doppelte Ladung verdoppelt die Kraft, der dreifache Abstand verkleinert sie auf  $\frac{1}{9}$ . (1 BE)  
Insgesamt:  $F' = \frac{2}{9} F$ , also etwa 0,33 mN. (1 BE)
- 2 **7.1**  $\hat{\Phi} = B \cdot A = 0,40 \text{ T} \cdot 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,12 \text{ mWb}$  (2 BE)
- 2 **7.2**  $\Phi(t) = \hat{\Phi} \cos(\omega t)$ ,  $U = -N\dot{\Phi} = N\omega\hat{\Phi} \sin(\omega t)$ , also  $\hat{U} = N\omega\hat{\Phi}$  mit  $\omega = 2\pi f$  (1 BE)  
 $\hat{U} = 150 \cdot 2\pi \cdot 20 \text{ Hz} \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \approx 2,3 \text{ V}$  (1 BE)
- 2 **7.3** Diagramm B ist richtig. (1 BE)  
In der Spule entsteht eine sinusförmige Wechselspannung (A). Der Kommutator vertauscht nach jeder halben Umdrehung die Anschlüsse; dadurch werden die negativen Halbwellen „umgeklappt“: Es entsteht eine pulsierende Gleichspannung mit gleichem Scheitelwert. C (konstante Spannung) wäre nur mit vielen gegeneinander versetzten Spulen annähernd möglich. (1 BE)

40

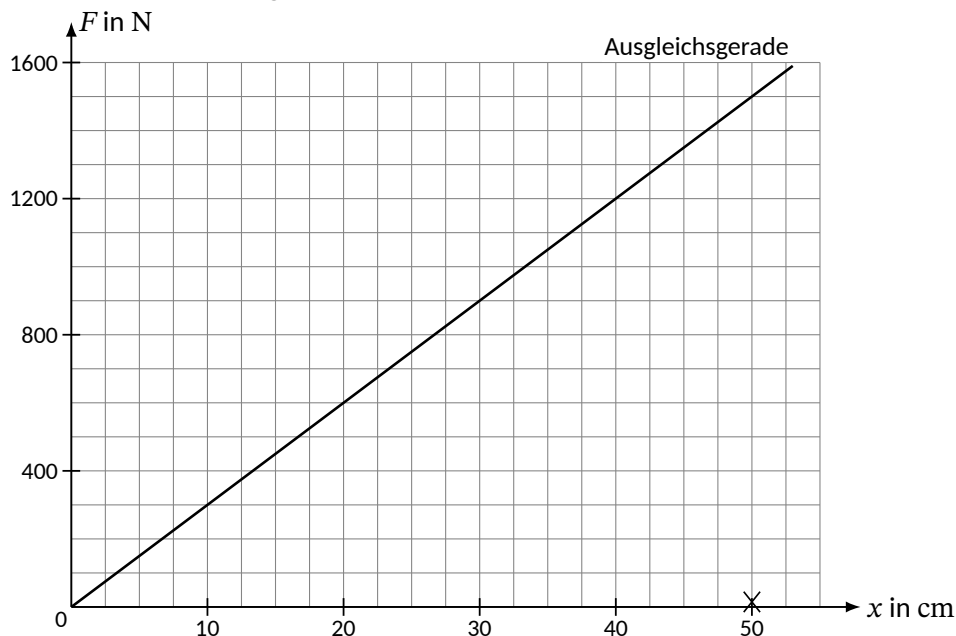
BE

3 1.1 Energieansatz:  $m g h = \frac{1}{2} m v^2$  (1 BE)

$v = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4,0 \text{ m}} \approx 8,9 \text{ m/s}$  (1 BE)

Fallzeit:  $h = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 0,90 \text{ s}$  (1 BE)

4 1.2 (G) Messpunkte im  $x$ - $F$ -Diagramm: (2 BE)



Die Messpunkte liegen im Rahmen der Messgenauigkeit auf einer Ursprungsgeraden:

$F \sim x$ , also gilt ein lineares Kraftgesetz. (1 BE)

Steigung der Ausgleichsgeraden:  $D_F = \frac{\Delta F}{\Delta x} \approx \frac{1500 \text{ N}}{0,50 \text{ m}} = 3,0 \text{ kN/m}$  (1 BE)

Korrekturhinweis: Werte zwischen 2,9 kN/m und 3,1 kN/m sind zu akzeptieren.

4 1.3 Nullniveau der Lageenergie im tiefsten Punkt; dort ist der Kletterer in Ruhe:  
 $m g (h + s) = \frac{1}{2} D_F s^2$  (1 BE)

$\frac{1}{2} D_F s^2 - m g s - m g h = 0 \Rightarrow s = \frac{m g + \sqrt{(m g)^2 + 2 D_F m g h}}{D_F}$  (1 BE)

$s = \frac{588,6 \text{ N} + \sqrt{(588,6 \text{ N})^2 + 2 \cdot 3000 \text{ N/m} \cdot 588,6 \text{ N} \cdot 4,0 \text{ m}}}{3000 \text{ N/m}} \approx 1,5 \text{ m}$  (1 BE)

$F_{\max} = D_F \cdot s \approx 3000 \text{ N/m} \cdot 1,46 \text{ m} \approx 4,4 \text{ kN}$  (1 BE)

3 1.4 Für  $h' = 8,0 \text{ m}$ :  $s' = \frac{m g + \sqrt{(m g)^2 + 2 D_F m g h'}}{D_F} \approx 2,0 \text{ m}$ ,  $F'_{\max} = D_F s' \approx 5,9 \text{ kN}$  (1 BE)

$\frac{F'_{\max}}{F_{\max}} \approx 1,4$  – die Belastung steigt nur um etwa ein Drittel, nicht auf das Doppelte. (1 BE)

Die Behauptung ist falsch: Die doppelte Lageenergie verteilt sich auf eine größere Dehnung; da die Spannenergie quadratisch mit  $s$  wächst, wächst die Kraft  $F = D_F s$  nur etwa mit der Wurzel der Fallhöhe. (1 BE)

Fortsetzung siehe nächste Seite

BE

4 1.5

| Aussage                                                                                                    | wahr     | falsch   | nicht entscheidbar |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------|
| Während des freien Falls wirkt keine Kraft auf den Kletterer. (Gewichtskraft wirkt)                        |          | <b>x</b> |                    |
| Im tiefsten Punkt ist der Betrag der Seilkraft größer als der Betrag der Gewichtskraft. (4,4 kN > 0,59 kN) | <b>x</b> |          |                    |
| Mit einem Seil kleinerer Federhärte wäre die größte Seilkraft kleiner.                                     | <b>x</b> |          |                    |
| Das Seil hält diesem Sturz stand. (Belastbarkeit nicht angegeben)                                          |          |          | <b>x</b>           |

2 2.1

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}} = 2\pi\sqrt{\frac{60 \text{ kg}}{3000 \text{ N/m}}} \approx 0,89 \text{ s} \quad (2 \text{ BE})$$

3 2.2

In der Gleichgewichtslage ist das Seil um  $s_0$  gedehnt:

$$D s_0 = m g, s_0 = \frac{mg}{D} \approx 0,20 \text{ m}. \quad (1 \text{ BE})$$

Bei einer Auslenkung  $y$  aus der Gleichgewichtslage (nach oben positiv) gilt für die resultierende Kraft  $F = D(s_0 - y) - m g = -D y$ . (1 BE)

Die Rückstellkraft ist proportional zur Auslenkung und ihr entgegengerichtet (lineares Kraftgesetz) – die Schwingung ist harmonisch; die Gewichtskraft verschiebt nur die Gleichgewichtslage. (1 BE)

Korrekturhinweis: Gilt, solange das Seil gespannt bleibt ( $\hat{y} < s_0$ ).

3 2.3

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{m'}{D}} \Rightarrow m' = \frac{D T'^2}{4\pi^2} \quad (1 \text{ BE})$$

$$m' = \frac{3000 \text{ N/m} \cdot (1,1 \text{ s})^2}{4\pi^2} \approx 92 \text{ kg} \quad (2 \text{ BE})$$

4 2.4

Diagramm B ist richtig: Start im unteren Umkehrpunkt ( $y = -25 \text{ cm}$ ), Periodendauer 0,89 s, abnehmende Ausschläge. (1 BE)

A: Die Ausschläge bleiben gleich (keine Dämpfung). (1 BE)

C: Der Graph beginnt im oberen Umkehrpunkt ( $y = +25 \text{ cm}$ ). (1 BE)

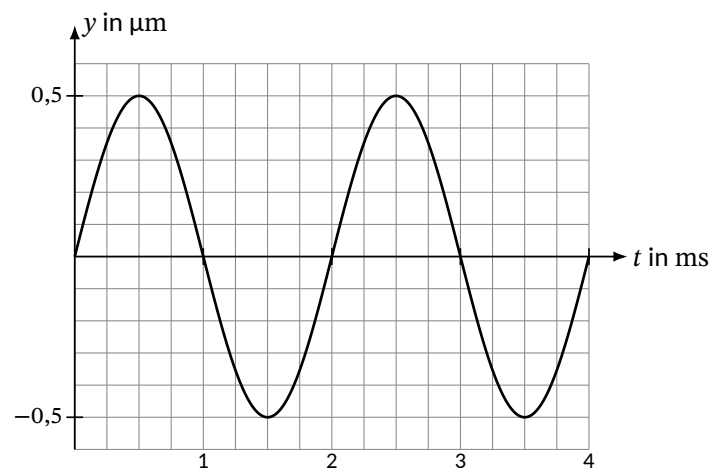
Die Schwingungsenergie wird durch Reibung im Seil und Luftwiderstand allmählich in innere Energie umgewandelt. (1 BE)

30

| BE |     |                                                                                                                                                                                                                                |           |
|----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2  | 1.1 | $C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A s/(V m)} \cdot \frac{3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{20 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \approx 0,13 \text{ nF}$                                                            | ( 2 BE )  |
| 2  | 1.2 | $Q = C U = 1,33 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot 48 \text{ V} \approx 6,4 \text{ nC}$                                                                                                                                            | ( 1 BE )  |
|    |     | $W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,33 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot (48 \text{ V})^2 \approx 0,15 \mu\text{J}$                                                                                                      | ( 1 BE )  |
| 3  | 1.3 | $C_{21} = \epsilon_0 \frac{A}{21 \mu\text{m}} \approx 126 \text{ pF}, C_{19} = \epsilon_0 \frac{A}{19 \mu\text{m}} \approx 140 \text{ pF}$                                                                                     | ( 1 BE )  |
|    |     | $Q = C U: Q_{\min} \approx 6,1 \text{ nC}, Q_{\max} \approx 6,7 \text{ nC}$                                                                                                                                                    | ( 1 BE )  |
|    |     | Die Ladung schwankt zwischen 6,1 nC und 6,7 nC (um etwa $\pm 5 \%$ ).                                                                                                                                                          | ( 1 BE )  |
| 3  | 1.4 | Bei konstanter Spannung ändert sich mit dem Plattenabstand die Kapazität und damit die Ladung $Q = C U$ .                                                                                                                      | ( 1 BE )  |
|    |     | Die Ladungsänderung ist nur möglich, wenn Ladung über die Zuleitungen und damit durch $R$ zu- und abfließt: Es fließt ein Strom, dessen Richtung sich im Takt der Membranschwingung umkehrt.                                   | ( 1 BE )  |
|    |     | Der Strom ändert sich mit der Frequenz des Schalls (Frequenz der Membranschwingung).                                                                                                                                           | ( 1 BE )  |
| 3  | 1.5 | $C' = \epsilon_0 \frac{A}{d'} \Rightarrow d' = \epsilon_0 \frac{A}{C'}$                                                                                                                                                        | ( 1 BE )  |
|    |     | $d' = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A s/(V m)} \cdot \frac{3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{150 \cdot 10^{-12} \text{ F}} \approx 18 \mu\text{m}$                                                                                   | ( 1 BE )  |
|    |     | Der Plattenabstand muss auf etwa 18 $\mu\text{m}$ verkleinert werden (kleiner als 20 $\mu\text{m}$ ).                                                                                                                          | ( 1 BE )  |
| 3  | 1.6 | Aufbau: Plattenkondensator mit verschiebbarer Platte (Abstand mit Abstandshaltern oder Skala einstellbar), Spannungsquelle mit bekannter Spannung $U$ , Messverstärker bzw. Ladungsmessgerät (alternativ Kapazitätsmessgerät). | ( 1 BE )  |
|    |     | Messgrößen: Für mehrere Abstände $d$ (z. B. 2, 4, 6, 8 mm) wird der Kondensator auf $U$ geladen und die Ladung $Q$ gemessen; $C = \frac{Q}{U}$ .                                                                               | ( 1 BE )  |
|    |     | Auswertung: $C$ über $\frac{1}{d}$ auftragen; liegen die Punkte auf einer Ursprungsgeraden, gilt                                                                                                                               |           |
|    |     | $C \sim \frac{1}{d}$ . Kleine Abstände vermeiden (Randeffekte, Unebenheiten).                                                                                                                                                  | ( 1 BE )  |
|    |     | Korrekturhinweis: Andere sinnvolle Verfahren (z. B. Entladestrom über bekannten Widerstand) sind gleichwertig.                                                                                                                 |           |
| 2  | 2.1 | $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{500 \text{ Hz}} = 0,68 \text{ m} = 68 \text{ cm}$                                                                                                                              | ( 2 BE )  |
| 3  | 2.2 | Start in der Ruhelage in positiver Richtung: $y(t) = \hat{y} \sin(\omega t)$                                                                                                                                                   | ( 1 BE ), |
|    |     | $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 500 \text{ Hz} \approx 3,1 \cdot 10^3 \text{ 1/s}$                                                                                                                                               | ( 1 BE )  |
|    |     | $y(t) = 0,50 \mu\text{m} \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \text{ Hz} \cdot t)$                                                                                                                                                        | ( 1 BE )  |
| 3  | 2.3 | $\hat{v} = \omega \hat{y} = 2\pi \cdot 500 \text{ Hz} \cdot 0,50 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 1,6 \text{ mm/s}$                                                                                                             | ( 1 BE )  |
|    |     | $\hat{a} = \omega^2 \hat{y} = (2\pi \cdot 500 \text{ Hz})^2 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ km/s}^2$                                                                                       | ( 2 BE )  |
| 3  | 2.4 | (G) $T = \frac{1}{f} = 2,0 \text{ ms}$ : zwei volle Perioden, Start in der Ruhelage nach oben, Amplitude 0,50 $\mu\text{m}$ .                                                                                                  | ( 3 BE )  |

Fortsetzung siehe nächste Seite

BE



3

**2.5** Bei gleicher Amplitude ist  $\omega$  doppelt so groß.

( 1 BE )

 $\hat{v} = \omega \hat{y}$ : Die größte Geschwindigkeit verdoppelt sich.

( 1 BE )

 $\hat{a} = \omega^2 \hat{y}$ : Die größte Beschleunigung vervierfacht sich.

( 1 BE )

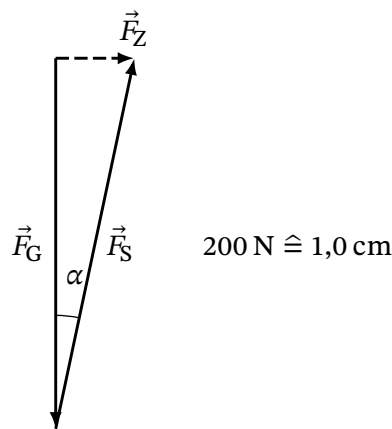
30

BE

2 **1.1**  $v = 18 \text{ km/h} = 5,0 \text{ m/s}$  (1 BE);  $F_Z = \frac{mv^2}{r} = \frac{100 \text{ kg} \cdot (5,0 \text{ m/s})^2}{12 \text{ m}} \approx 208 \text{ N}$  (1 BE)

- 2 **1.2** Auf das Rad wirken die Gewichtskraft (im Schwerpunkt) und die Kraft der Straße (am Reifen). Ihre Resultierende muss die waagrechte, zum Kurvenmittelpunkt gerichtete Zentripetalkraft sein. (1 BE)  
Das gelingt ohne Kippen nur, wenn die Kraft der Straße längs der Verbindungslinie Reifen-Schwerpunkt wirkt: Die FahrerIn muss sich so weit in die Kurve legen, dass diese Linie in Richtung der Kraft der Straße zeigt. (1 BE)

- 4 **1.3** (G) Kräfteplan (Maßstab  $200 \text{ N} \hat{=} 1,0 \text{ cm}$ ):  $F_G = mg \approx 981 \text{ N}$  ( $\hat{=} 4,9 \text{ cm}$  senkrecht nach unten),  $F_Z \approx 208 \text{ N}$  ( $\hat{=} 1,0 \text{ cm}$  waagrecht zum Kurvenmittelpunkt); die Kraft der Straße  $\vec{F}_S$  schließt das Dreieck:  $\vec{F}_G + \vec{F}_S = \vec{F}_Z$ . (2 BE)



Gemessen:  $\alpha \approx 12^\circ$  gegenüber der Senkrechten (Kontrolle:  $\tan \alpha = \frac{F_Z}{F_G}$ ). (2 BE)

Korrekturhinweis: Winkel zwischen  $11^\circ$  und  $13^\circ$  sind zu akzeptieren.

- 3 **1.4** Die Haftkraft ist die Zentripetalkraft:  $F_H = \frac{mv_{\max}^2}{r}$  (1 BE)

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{F_H r}{m}} = \sqrt{\frac{450 \text{ N} \cdot 12 \text{ m}}{100 \text{ kg}}} \approx 7,3 \text{ m/s} \quad (1 \text{ BE}) \approx 26 \text{ km/h} \quad (1 \text{ BE})$$

- 3 **1.5**  $v_{\max} \sim \sqrt{F_H}$ : Bei halber Haftkraft sinkt die Höchstgeschwindigkeit nur auf das  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -fache. (1 BE)

$$v_{\text{nass}} = \sqrt{\frac{225 \text{ N} \cdot 12 \text{ m}}{100 \text{ kg}}} \approx 5,2 \text{ m/s} \approx 19 \text{ km/h} \quad (1 \text{ BE})$$

Die Empfehlung ist auf der sicheren Seite: Halbe Geschwindigkeit ( $\approx 13 \text{ km/h}$ ) liegt deutlich unter der Grenze; physikalisch nötig wäre nur eine Verringerung auf etwa 70 %. Als einfache Faustregel mit Sicherheitsreserve (Laub, Bodenwellen) ist sie sinnvoll. (1 BE)

- 3 **2.1** Nähert sich der Magnet der Spule, nimmt der magnetische Fluss durch die Spule zu; entfernt er sich, nimmt der Fluss wieder ab. (1 BE)  
Nur während sich der Fluss ändert, wird eine Spannung induziert; die übrige Zeit (Magnet weit weg) ist  $U = 0$ . (1 BE)  
Zunahme und Abnahme des Flusses haben entgegengesetzte Vorzeichen von  $\dot{\Phi}$ , deshalb wechselt die induzierte Spannung  $U = -N\dot{\Phi}$  bei jedem Vorbeilauf ihr Vorzeichen. (1 BE)

Fortsetzung siehe nächste Seite

| BE |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | <p><b>2.2</b> Abstand aufeinanderfolgender Pulse (über mehrere Pulse gemessen):<br/> <math>T = \frac{1,2\text{ s}}{3} = 0,40\text{ s}</math> (1 BE)</p> <p>In dieser Zeit legt das Rad einen Umfang zurück: <math>v = \frac{u}{T} = \frac{2,20\text{ m}}{0,40\text{ s}}</math> (1 BE) = 5,5 m/s<br/> (<math>\approx 20\text{ km/h}</math>) (1 BE)</p>                                                                                   |
| 3  | <p><b>2.3</b> Diagramm B ist richtig. (1 BE)</p> <p>Bei doppelter Geschwindigkeit folgen die Pulse im halben zeitlichen Abstand aufeinander (A, B). (1 BE)</p> <p>Der Magnet läuft doppelt so schnell an der Spule vorbei: Der Fluss ändert sich in der halben Zeit um denselben Betrag, <math> \dot{\Phi} </math> und damit die Spannung sind doppelt so groß, die Pulse halb so breit (nur B; C hat den falschen Abstand). (1 BE)</p> |
| 3  | <p><b>2.4</b> Der Tachometer rechnet <math>v_{\text{Anzeige}} = \frac{2,10\text{ m}}{0,40\text{ s}} = 5,25\text{ m/s}</math> (1 BE)</p> <p>Abweichung: <math>\frac{5,25\text{ m/s} - 5,5\text{ m/s}}{5,5\text{ m/s}} \approx -4,5\%</math> (1 BE)</p> <p>Die Anzeige ist bei jeder Geschwindigkeit um etwa 4,5 % zu niedrig (systematischer Fehler; auch die angezeigte Strecke ist zu kurz). (1 BE)</p>                                |
| 2  | <p><b>2.5</b> <math> U  = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 500 \cdot \frac{4,0 \cdot 10^{-6}\text{ Wb}}{5,0 \cdot 10^{-3}\text{ s}} = 0,40\text{ V}</math> (2 BE)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2  | <p><b>2.6</b> Mit vertauschten Polen ändert sich der Fluss mit umgekehrtem Vorzeichen: Jeder Puls ist an der <math>t</math>-Achse gespiegelt (erst negativ, dann positiv). (1 BE)</p> <p>Abstand, Höhe und Breite der Pulse bleiben gleich. (1 BE)</p>                                                                                                                                                                                  |
| 30 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |