

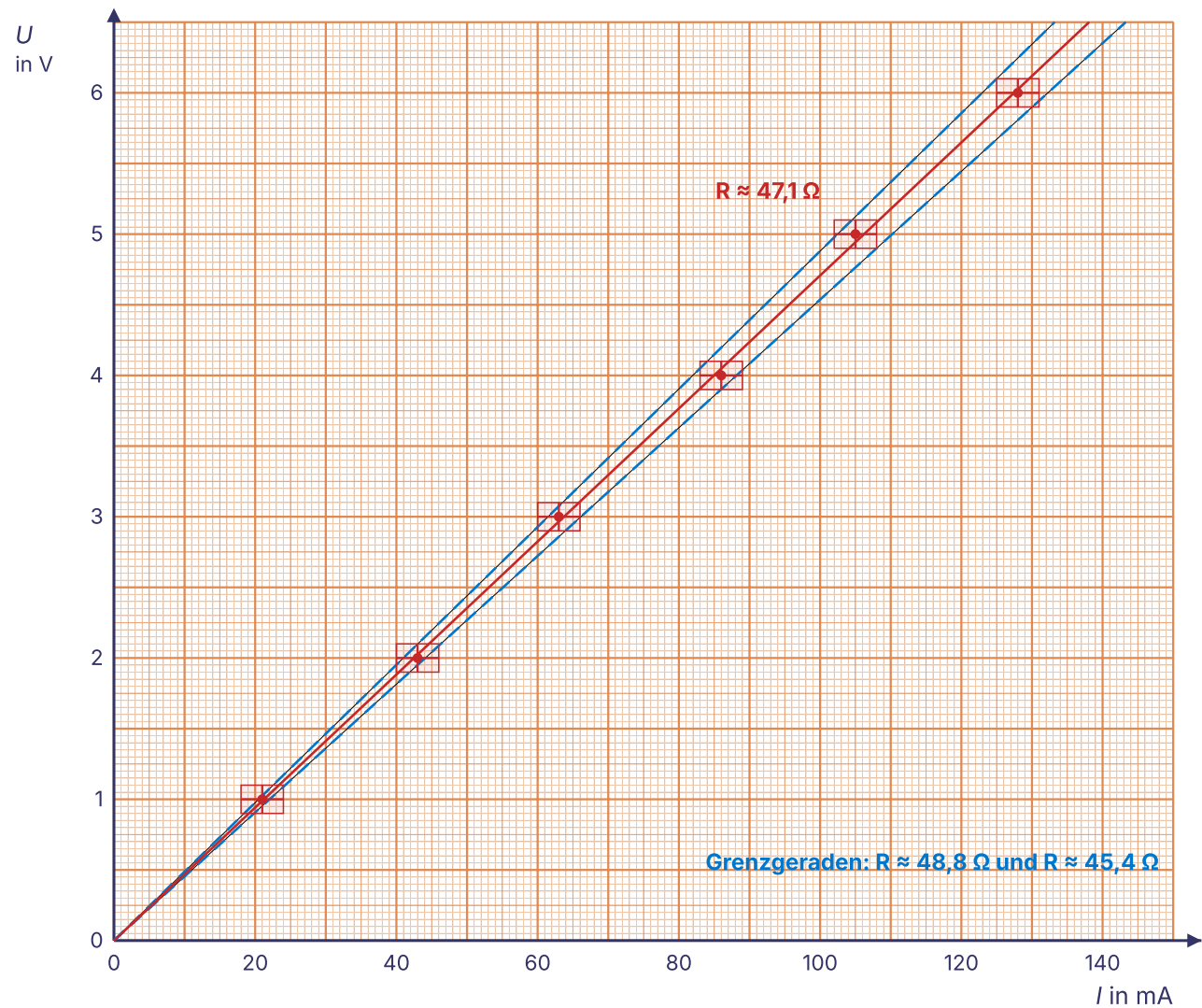
Teil A

Nr.	Erwartete Leistung	BE
A 1	systematisch und korrigierbar (Nullpunkt verschoben, jeder Wert um 2,4 g zu groß; durch Trieren oder Abziehen korrigierbar)	1
A 2	Die wahre Länge liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit zwischen 47,1 cm und 47,5 cm. (Die relative Messunsicherheit beträgt $0,2 \text{ cm} : 47,3 \text{ cm} \approx 0,42 \%$.)	1
A 3	3 % (Produkt: relative Unsicherheiten addieren sich, $1 \% + 1 \% + 1 \%$)	1
A 4	6 % (Potenz r^3 : dreifache relative Unsicherheit; der Faktor $\frac{4}{3} \pi$ ist exakt)	1
A 5	Die relative Messunsicherheit der Differenz kann sehr groß werden (absolute Unsicherheiten addieren sich, der Wert wird klein).	1
A 6	$\Delta I = 1,5 \% \cdot 3 \text{ A} = 0,045 \text{ A} \approx 0,05 \text{ A}$; $\Delta I / I = 0,045 \text{ A} : 1,20 \text{ A} \approx 3,8 \%$ Die absolute Unsicherheit hängt nur vom Messbereichsendwert ab. Je größer der Ausschlag, desto kleiner die relative Unsicherheit (hier wäre der Bereich 1 A überschritten, 3 A ist also richtig gewählt).	3
A 7	Messabweichung: Differenz zwischen Messwert und (unbekanntem) wahren Wert; hat ein Vorzeichen, ist im Allgemeinen nicht bekannt. Messunsicherheit: abgeschätzter, nicht negativer Wert, der ein Intervall um den Messwert angibt, in dem der wahre Wert mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt; quantifiziert die Zweifel am Messergebnis.	2

Aufgabe 1 – Fallbeschleunigung

Nr.	Erwartete Leistung	BE
1.1	zufällig: schwankende Reaktionszeit beim Starten und Stoppen, unterschiedlich gutes Erkennen des Loslassens bzw. Aufpralls systematisch: z. B. Start stets verzögert, Stopp beim Hören des Aufpralls vorweggenommen; Fallhöhe falsch gemessen (Ballunterseite statt -mitte); ungenau gehende Uhr	2
1.2	$\bar{t} = 6,45 \text{ s} : 10 = 0,645 \text{ s}$; Spannweite $0,70 \text{ s} - 0,60 \text{ s} = 0,10 \text{ s} \Rightarrow \Delta t = 0,05 \text{ s}$ $t = (0,65 \pm 0,05) \text{ s}$ (relativ $\approx 7,8 \%$) Alternativ (Statistik): $s \approx 0,031 \text{ s}$, Unsicherheit des Mittelwerts $s/\sqrt{10} \approx 0,010 \text{ s} \Rightarrow t = (0,645 \pm 0,010) \text{ s}$. Beide Wege sind zu akzeptieren, wenn der Ansatz benannt wird.	3
1.3	$g = 2 \cdot h \cdot t^{-2}$ ist ein Produkt; die relativen Unsicherheiten addieren sich, die Potenz t^2 liefert den Faktor 2, der Faktor 2 vor h ist exakt. (Alternativ: Extremwertabschätzung $g_{\max} = 2(h+\Delta h)/(t-\Delta t)^2$ und Näherung für kleine Δ .) $g = 2 \cdot 2,00 \text{ m} / (0,645 \text{ s})^2 \approx 9,61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ $\Delta g/g = 0,01/2,00 + 2 \cdot 0,05/0,645 = 0,005 + 0,155 \approx 0,160 \Rightarrow \Delta g \approx 1,54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ $g = (9,6 \pm 1,6) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	5
1.4	$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ liegt im Intervall $[8,0; 11,2] \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$: Ergebnis mit dem Tabellenwert verträglich, aber sehr ungenau (16 %). Die Fallzeit dominiert: 15,5 % gegenüber 0,5 % durch die Höhe, zusätzlich geht t quadratisch ein.	2
1.5	$g = 2 \cdot 2,00 \text{ m} / (0,6386 \text{ s})^2 \approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $\Delta g/g = 0,005 + 2 \cdot 0,0010/0,6386 \approx 0,005 + 0,0031 = 0,0081$ $\Delta g \approx 0,080 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \Rightarrow$ $g = (9,81 \pm 0,08) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ Jetzt bestimmt die Höhenmessung (0,5 %) die Unsicherheit stärker als die Zeit (0,31 %). Verbesserung: Lichtschrankenabstand genauer messen (z. B. auf 1 mm) oder größere Fallhöhe wählen; Mehrfachmessung.	4
1.6	Mehr Messungen verringern nur den Einfluss zufälliger Abweichungen (Unsicherheit des Mittelwerts $\sim 1/\sqrt{n}$, bei 100 Messungen etwa 0,003 s). Systematische Abweichungen der Reaktionszeit (Start- und Stoppverzögerung heben sich nicht sicher auf) bleiben erhalten. Hoher Aufwand bei begrenztem Gewinn; Lichtschranken sind vorzuziehen.	2

Aufgabe 2 – Widerstand



● Messpunkte mit Fehlerbalken · — Ausgleichsgerade $R \approx 47,1 \Omega$ · - - Grenzgeraden $R_{\max} \approx 48,8 \Omega$ (begrenzt durch Punkt 6) und $R_{\min} \approx 45,4 \Omega$ (begrenzt durch Punkt 5)

Nr.	Erwartete Leistung	BE
2.1	$\Delta U = 1,0 \% \cdot 10 \text{ V} = 0,1 \text{ V}$; $\Delta I = 1,5 \% \cdot 200 \text{ mA} = 3 \text{ mA}$. Die Unsicherheit bezieht sich auf den Messbereichsendwert und ist daher für alle Messwerte gleich.	2
2.2	Achsen beschriftet (Größe, Einheit), Messpunkte korrekt, Fehlerbalken $\pm 3 \text{ mA}$ waagrecht und $\pm 0,1 \text{ V}$ senkrecht (siehe Diagramm)	4
2.3	Ohne Spannung fließt kein Strom ($U = 0 \Rightarrow I = 0$), der Punkt $(0 0)$ ist exakt bekannt. Steigung der Ausgleichsgeraden, z. B. $6,0 \text{ V} : 127,5 \text{ mA} \Rightarrow R \approx 47 \Omega$ (Toleranz $46 \Omega \dots 48 \Omega$)	3
2.4	Steilste und flachste Ursprungsgerade, die noch alle Fehlerrechtecke trifft: $R_{\max} = 6,1 \text{ V} : 125 \text{ mA} \approx 48,8 \Omega$; $R_{\min} = 4,9 \text{ V} : 108 \text{ mA} \approx 45,4 \Omega$ $\Delta R = (R_{\max} - R_{\min}) : 2 \approx 1,7 \Omega \Rightarrow R = (47,1 \pm 1,7) \Omega$ (zeichnerische Toleranz $\pm 0,5 \Omega$)	4
2.5	Punkt 1: $R = 1,0 \text{ V} : 0,021 \text{ A} \approx 47,6 \Omega$; $\Delta R/R = 0,1/1,0 + 3/21 \approx 0,243 \Rightarrow \Delta R \approx 11,6 \Omega \Rightarrow R = (48 \pm 12) \Omega$ Punkt 6: $R = 6,0 \text{ V} : 0,128 \text{ A} \approx 46,9 \Omega$; $\Delta R/R = 0,1/6,0 + 3/128 \approx 0,040 \Rightarrow \Delta R \approx 1,9 \Omega \Rightarrow R = (46,9 \pm 1,9) \Omega$ Beide Ergebnisse sind miteinander verträglich. Da ΔU und ΔI konstant sind, ist die relative Unsicherheit bei kleinen Messwerten groß (24 %) und bei großen klein (4 %). Der letzte Punkt ist deshalb fast so genau wie die grafische Auswertung über alle Punkte.	4

Aufgabe 2 – Fortsetzung

Nr.	Erwartete Leistung	BE
2.6	Der Strommesser misst $I = I_R + I_V$, also zu viel $\Rightarrow R = U/I$ wird zu klein. Systematische Abweichung (immer in dieselbe Richtung, durch Rechnung korrigierbar). $I_V = 6,0 \text{ V} : 10 \text{ k}\Omega = 0,6 \text{ mA}$; gemessen wird $R \parallel R_V \approx 47 \Omega \cdot 10\,000 \Omega / 10\,047 \Omega \approx 46,8 \Omega$, also etwa 0,2 Ω bzw. 0,5 % zu klein. Gegenüber der Messunsicherheit von etwa 1,7 Ω (3,6 %) vernachlässigbar; bei großen Widerständen (vergleichbar mit R_V) dagegen nicht.	4

Aufgabe 3 – Dichte

Nr.	Erwartete Leistung	BE
3.1	$m = m_2 - m_1 = 131,6 \text{ g} - 52,4 \text{ g} = 79,2 \text{ g}$; bei einer Differenz addieren sich die absoluten Unsicherheiten: $\Delta m = 0,1 \text{ g} + 0,1 \text{ g} = 0,2 \text{ g}$ $m = (79,2 \pm 0,2) \text{ g}$	2
3.2	$\rho = m/V = 79,2 \text{ g} : 100 \text{ cm}^3 = 0,792 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ $\Delta\rho/\rho = 0,2/79,2 + 1/100 \approx 0,0025 + 0,0100 = 0,0125 \Rightarrow \Delta\rho \approx 0,0099 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ $\rho = (0,792 \pm 0,010) \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (die Volumenmessung dominiert)	3
3.3	Das Intervall $[0,782; 0,802] \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ enthält $0,789 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$: Die Messung ist mit Ethanol verträglich. Sie ist aber ebenso mit Aceton ($0,790 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) verträglich. Die Aussage ist daher durch die Messung nicht belegt; dazu müsste die Unsicherheit unter etwa $0,001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ liegen oder ein anderes Merkmal (z. B. Siedetemperatur, Geruch) geprüft werden.	2
3.4	Parallaxe: Blick von oben $\Rightarrow$ die Sichtlinie trifft die Skala oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche, abgelesenes Volumen zu groß. Systematische Abweichung (bei gleicher Haltung immer gleiche Richtung, vermeidbar durch Ablesen in Augenhöhe am Meniskus). Da $\rho = m/V$, wird die ermittelte Dichte zu klein.	3
3.5	$m_{\text{Luft}} = 417 \text{ g} - 412 \text{ g} = 5 \text{ g}$; $\Delta m = 1 \text{ g} + 1 \text{ g} = 2 \text{ g} \Rightarrow$ relativ $2 : 5 = 40 \%$ Eine kleine Größe als Differenz zweier großer Messwerte: absolut addieren sich die Unsicherheiten, relativ wird es sehr ungenau. Das Verfahren zeigt zwar, dass Luft eine Masse hat, eignet sich aber nicht für einen genauen Wert (besser: viel Luft hineinpumpen oder genauere Waage).	2
Summe: Teil A 10 · Aufgabe 1 18 · Aufgabe 2 21 · Aufgabe 3 12		61

Hinweise zur Bewertung

Folgefehler werden nicht erneut abgezogen. Bei zeichnerischen Auswertungen (2.3, 2.4) sind Werte im angegebenen Toleranzbereich voll zu werten. Rundung der Unsicherheit: aufrunden, eine signifikante Ziffer bzw. zwei bei führender 1; ein abweichend sinnvoll gerundetes Ergebnis kostet höchstens 1 BE je Aufgabe.