

2. Schulaufgabe aus dem Fach Physik (12T)

Lösungshinweise

Themen: Magnetischer Fluss, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel, Erzeugung einer Wechselspannung, Selbstinduktion, Energie der Spule

Notenschlüssel (Vorschlag: Prozentgrenzen wie Fachabitur, 40 Bewertungseinheiten):

Note	1+	1	1–	2+	2	2–	3+	3	3–	4+	4	4–	5+	5	5–	6
Notenpunkte	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BE ab	38,5	36,5	34,5	32,5	30,5	28,5	26,5	24,5	22,5	20,5	18,5	16,5	14	11	8	0

BE

- LÖSUNGSHINWEISE ZU INDUKTIONSGESETZ -

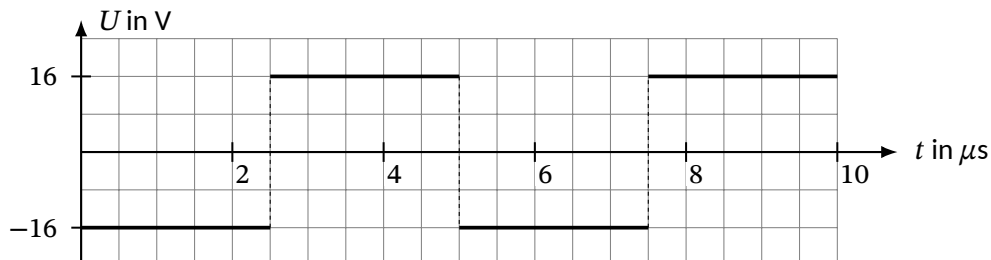
2 **1.1** $\Phi_{\max} = B_{\max} \cdot A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ Wb} = 2,0 \mu\text{Wb}$

Bewertung: 1 BE Ansatz $\Phi = BA$ mit A in m^2 , 1 BE Ergebnis mit Einheit.

5 **1.2** A konstant: $|U| = NA \frac{\Delta B}{\Delta t}$.

Für $0 < t < 2,5 \mu\text{s}$: $|U| = 20 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}}{2,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 16 \text{ V}$;

für $2,5 \mu\text{s} < t < 5,0 \mu\text{s}$ ebenfalls $|U| = 16 \text{ V}$, aber mit umgekehrtem Vorzeichen ($U = -N\dot{\Phi}$: $U = -16 \text{ V}$ beim Anstieg, $U = 16 \text{ V}$ beim Abfall).



Bewertung: 1 BE Ansatz mit $\Delta B/\Delta t$ aus der Abbildung, 1 BE Ergebnis 16 V, 1 BE zweiter Abschnitt gleicher Betrag, 2 BE Skizze (Rechteckspannung, Vorzeichenwechsel bei $2,5 \mu\text{s}$, $5,0 \mu\text{s}$, $7,5 \mu\text{s}$).

3 **1.3** Die Aussage ist falsch. Die Induktionsspannung hängt nicht von der Stärke des Feldes ab, sondern von der zeitlichen Änderung des Flusses ($U = -N\dot{\Phi}$). Bei $t = 2,5 \mu\text{s}$ ist B zwar maximal, die Spannung hat aber denselben Betrag 16 V wie in der ganzen Anstiegs- und Abfallphase und wechselt dort nur ihr Vorzeichen.

Bewertung: 1 BE Urteil, 2 BE Begründung mit der Änderungsrate (Induktionsgesetz) und Bezug zur Abbildung.

2 **1.4** Der Ring ist eine geschlossene Leiterschleife, deren Fluss sich ändert $\Rightarrow$ Induktionsspannung und Induktionsstrom. Nach der Lenz'schen Regel wirkt der Strom der Flusszunahme entgegen: Sein Magnetfeld ist im Inneren des Rings dem Feld der Ladeschale entgegengerichtet.

Bewertung: 1 BE Begründung (Flussänderung im geschlossenen Ring), 1 BE Richtung mit Lenz'scher Regel.

BE	- LÖSUNGSHINWEISE ZU ERZEUGUNG EINER WECHSELSPANNUNG -	
3	2.1	Beim Drehen ändert sich der Winkel $\varphi = \omega t$ zwischen Feldlinien und Flächennormale
		gleichmäßig, die vom Feld senkrecht durchsetzte Fläche ist $A \cos(\omega t)$:
		$\Phi(t) = BA \cos(\omega t)$. Nach dem Induktionsgesetz $U(t) = -N\dot{\Phi}(t) = NBA \omega \sin(\omega t)$ –
		eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Scheitelwert $U_0 = NBA\omega$.
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Flussänderung durch Drehung ($\Phi = BA \cos \omega t$), 1 BE Induktionsgesetz/Ableitung, 1 BE Sinusform.
6	2.2	Quotienten $\frac{U_0}{\omega}$ in V s: 0,21; 0,195; 0,207; 0,198; 0,202 – im Rahmen der Messgenauigkeit
		konstant, also $U_0 \sim \omega$ (gleichwertig: Ursprungsgerade im ω - U_0 -Diagramm). Mittel-
		wert $k = \frac{U_0}{\omega} \approx 0,20 \text{ V s}$.
		Aus $U_0 = NBA\omega$ folgt $B = \frac{k}{NA} = \frac{0,20 \text{ V s}}{200 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \frac{0,20 \text{ V s}}{0,50 \text{ m}^2} = 0,40 \text{ T}$.
		<i>Bewertung:</i> 2 BE Quotienten bzw. Diagramm, 1 BE Schluss auf Proportionalität mit Hinweis auf Messgenauigkeit, 1 BE k , 2 BE B mit Einheit.
2	2.3	$U_0 = NBA\omega$: halbe Windungszahl und doppelte Winkelgeschwindigkeit heben sich auf
		– der Scheitelwert bleibt gleich. Die Periodendauer $T = \frac{2\pi}{\omega}$ halbiert sich.
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Scheitelwert mit Begründung, 1 BE Periodendauer.
2	2.4	$U_0 = k \omega = 0,20 \text{ V s} \cdot 60 \text{ s}^{-1} = 12 \text{ V}$
		(oder $NBA\omega = 200 \cdot 0,40 \text{ T} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ s}^{-1}$)
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Ansatz, 1 BE Ergebnis.
13		

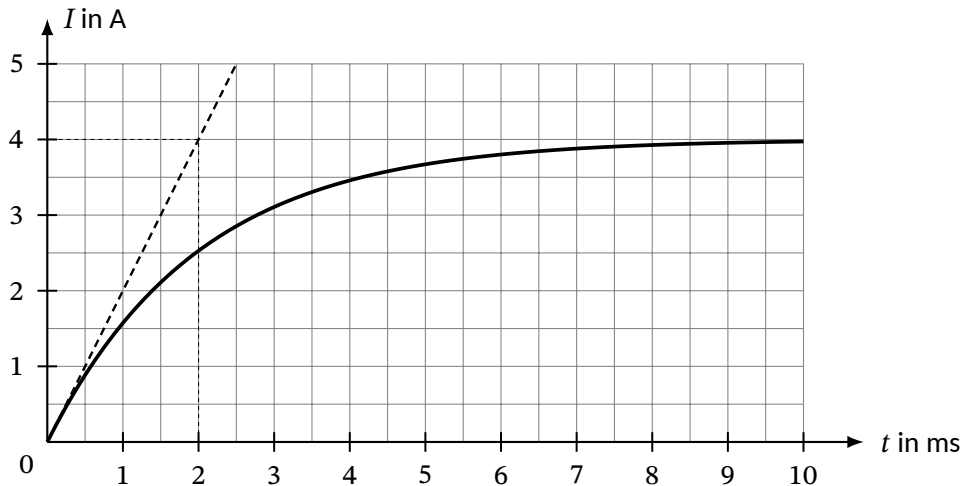
BE

- LÖSUNGSHINWEISE ZU SELBSTINDUKTION -

- 3 **3.1** Die Stromstärke steigt zunächst steil, dann immer flacher an und nähert sich dem Endwert 4,0 A. Der zunehmende Strom ändert den Fluss in der Spule; dadurch wird eine Selbstinduktionsspannung erzeugt, die nach Lenz der Batteriespannung entgegenwirkt und den Anstieg bremst.

Bewertung: 1 BE Verlauf, 2 BE Erklärung mit Selbstinduktion und Lenz'scher Regel.

4 **3.2**



Tangente in $t = 0$ erreicht 4,0 A bei 2,0 ms: $\dot{I}(0) = \frac{4,0 \text{ A}}{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ A/s}$. Zu

Beginn ist $I = 0$, also fällt an R keine Spannung ab: $U_0 = L \dot{I}(0)$

$$\Rightarrow L = \frac{12 \text{ V}}{2,0 \cdot 10^3 \text{ A/s}} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 6,0 \text{ mH}.$$

Bewertung: 1 BE Tangente, 1 BE Steigung, 1 BE Ansatz $U_0 = L \dot{I}$ (Begründung $I = 0$), 1 BE Ergebnis. Ablesetoleranz $\pm 0,2$ ms.

- 2 **3.3** Am Ende ist $\dot{I} = 0$: $R = \frac{U_0}{I_{\text{end}}} = \frac{12 \text{ V}}{4,0 \text{ A}} = 3,0 \Omega$

Bewertung: 1 BE Ansatz mit Endstromstärke, 1 BE Ergebnis.

- 2 **3.4** $W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \cdot 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot (4,0 \text{ A})^2 = 48 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 48 \text{ mJ}$

Bewertung: 1 BE Formel, 1 BE Ergebnis.

- 4 **3.5** $|U| = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \frac{4,0 \text{ A}}{5,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ V} = 4,8 \text{ kV}.$

Nutzen: Die schnelle Stromänderung erzeugt eine Spannung von einigen Kilovolt, viel größer als die Batteriespannung – sie treibt einen spürbaren Stromstoß durch Tier (oder Mensch) und Erde, der Zaun wirkt abschreckend. Risiko begrenzt: Je Impuls steht nur die gespeicherte Energie von etwa 48 mJ zur Verfügung; der Stoß ist sehr kurz und schmerzhaft, aber nicht lebensgefährlich (Gefahr vor allem bei Vorerkrankungen oder wenn man sich nicht lösen kann).

Bewertung: 1 BE Ansatz, 1 BE Ergebnis, 2 BE begründetes Urteil mit hoher Spannung (Nutzen) und kleiner Energie (Risiko).

15