

*Nachtrag zu Aufgabe 12:* Der erwähnte quadratische Kupferrahmen sei in einer Ebene angeordnet, die senkrecht zur Erdoberfläche und radial bezüglich des Blitzkanals verläuft.

13. Ein quadratischer Rahmen aus Kupfer ( $\rho = 0,017 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) mit der Kantenlänge  $a = 1 \, \text{m}$  und der Querschnittsfläche  $A = 20 \, \text{mm}^2$  bewegt sich gleichförmig geradlinig mit der Geschwindigkeit  $\mathbf{v} = 4 \, \text{m/s}$  und taucht in ein Magnetfeld  $\mathbf{B} = 2 \, \text{T}$  senkrecht zu dessen Feldrichtung ein. Wir nehmen an, daß eine der vier Seiten des Rahmens – sagen wir die Seite  $a$  mit den Endpunkten  $X$  und  $Y$  – zu irgendeinem Zeitpunkt das Magnetfeld erreicht, so daß der Rahmen nach  $0,25 \, \text{s}$  vollständig in das Feld eingetaucht ist. Während des Eintauchens in das Feld wird zwischen den Punkten  $X$  und  $Y$  eine Induktionsspannung  $\mathbf{U}_{\text{ind}}$  induziert, die einen Induktionsstrom  $\mathbf{I}_{\text{ind}}$  in dem geschlossenen Kupferrahmen zur Folge hat. Zeichnung!

- Ermittle den Betrag der Induktionsspannung  $\mathbf{U}_{\text{ind}}$  (Hinweis:  $U_{\text{ind}} = \Phi'(t)$  oder  $U_{\text{ind}} = a \cdot v \cdot B$ ) und deren Polung; in welcher Richtung fließt der Induktionsstrom durch den Rahmen?
- Bestimme den Betrag des Induktionsstroms  $\mathbf{I}_{\text{ind}}$ .
- Solange der Kupferrahmen noch nicht vollständig in das Magnetfeld eingetaucht ist, erfährt die Strecke  $XY$  und damit der Rahmen als Ganzes eine Kraft (Lorentzkraft)  $\mathbf{F}$ ; ermittle den Betrag und die Richtung von  $\mathbf{F}$ . Bestätige an diesem Beispiel die Lenzsche Regel!
- Vergleiche unter der Voraussetzung aus b) die in der geschlossenen quadratischen Leiterschleife umgesetzte elektrische Leistung  $\mathbf{P}_e$  mit der aufzuwendenden mechanischen Leistung  $\mathbf{P}_m$  und bestätige so den Energieerhaltungssatz.
- Welche Werte ergeben sich für  $\mathbf{U}_{\text{ind}}$  und  $\mathbf{I}_{\text{ind}}$ , wenn der Kupferrahmen vollständig in das Magnetfeld  $\mathbf{B}$  eingetaucht ist und sich senkrecht zu  $\mathbf{B}$  mit der Geschwindigkeit  $\mathbf{v}$  weiterbewegt?
- Bestimme jeweils die Richtung des Induktionsstroms  $\mathbf{I}_{\text{ind}}$  und der Lorentzkraft  $\mathbf{F}$  (Zeichnung!), nachdem die Strecke  $XY$  das Magnetfeld verlassen hat.

14. An die Serienschaltung eines Ohmschen Widerstandes  $\mathbf{R} = 10 \, \Omega$  und einer Induktivität  $\mathbf{L} = 2 \, \text{H}$  wird zum Zeitpunkt  $t=0$  die Spannung  $\mathbf{U}_0 = 40 \, \text{V}$  gelegt; nach „langer Zeit“ fließt der Strom  $\mathbf{I}_0$  durch diese Anordnung.

- Berechne  $\mathbf{I}_0$ !
- Welche magnetische Energie  $\mathbf{W}_{\text{mag}}$  hat die Induktivität „nach langer Zeit“ gespeichert?
- Für den Strom  $\mathbf{I}(t)$  durch die Serienschaltung von  $L$  und  $R$  gilt:

$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{I}_0 \cdot (1 - e^{-(R/L) \cdot t}) \quad (\text{Herleitung im Unterricht}).$$

- Skizziere den Graph für  $\mathbf{I}(t)$ .
- Unter der Halbwertszeit  $\mathbf{t}_H$  verstehen wir diejenige Zeitspanne seit Beginn des Ladevorgangs, nach welcher der Strom  $\mathbf{I}(t)$  die Hälfte des Maximalwerts  $\mathbf{I}_0$  erreicht. Ermittle  $\mathbf{t}_H$  in Abhängigkeit von  $R$  und  $L$ ; berechne  $\mathbf{t}_H$ !