

*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  $v = 4 \text{ m/s}$  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 irgend einem 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  $v$  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  $I(t)$ .
  - Unter der Halbwertzeit  $t_H$  verstehen wir diejenige Zeitspanne seit Beginn des Ladevorgangs, nach welcher der Strom  $\mathbf{I}(t)$  die Hälfte des Maximalwerts  $\mathbf{I}_0$  erreicht. Ermittle  $t_H$  in Abhängigkeit von R und L; berechne  $t_H$ !