9. Elektrodynamik zeitlich veränderlicher Felder

9.1 Faraday'sches Induktionsgesetz

Faraday 1831:

In einer Leiterschleife wird ein Strom erzeugt, wenn

- in einem benachbarten Stromkreis ein Strom ein- oder ausgeschaltet wird
- eine benachbarte Stromschleife gegenüber der ersten Schleife bewegt wird
- ein Permanentmagnet relativ zur Stromschleife bewegt wird

} sich $\vec{B}$ am Ort der Leiterschleife ändert

Fazit: $\dot{\vec{B}} \neq 0 \rightarrow \vec{E} \rightarrow$ Stromfluss

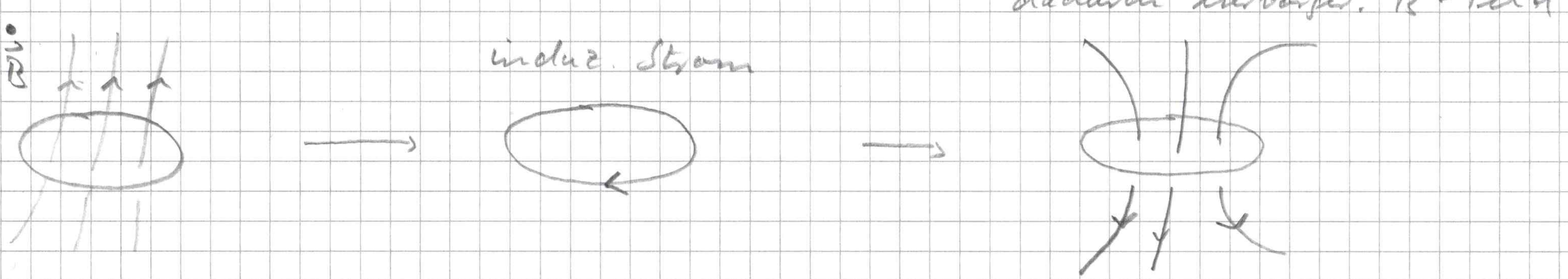
induzierte Spannung: $U_{ind} = \oint_C d\vec{r} \cdot \vec{E}(\vec{r})$ $\qquad C$ = Leiterschleife

magnet. Fluss durch die Schleife: $\Phi_M = \int_A d\vec{\sigma} \cdot \vec{B}$ $\qquad$ mit $\partial A = C$

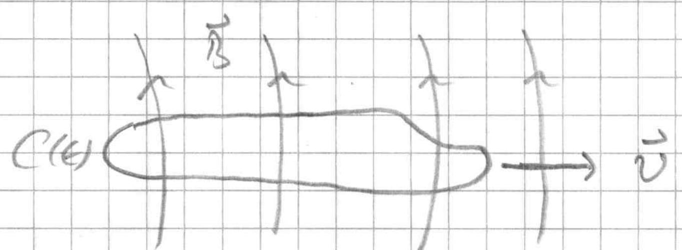
Man findet: $U_{ind} \sim - \frac{d}{dt} \Phi_M$ Faraday'sches Induktionsges.

Lenz'sche Regel:
Der induzierte Strom ist so gerichtet, dass das von ihm erzeugte Magnetfeld der Ursache entgegenwirkt.

Beispiel:



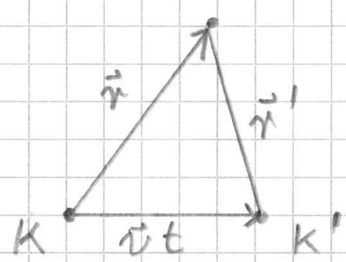
Physikal. Motivation des Induktionsges. und Bestimmung des Proportionalitätsfaktors



- zeitl. konst., ortsabh. $\vec{B}$-Feld $\vec{B}(\vec{r})$
- Leiterschleife $C(t)$ mit konst. Geschw. $\vec{v}$, $|\vec{v}| \ll c$

mitbewegter Beobachter: – Leiterschleife C' ruht
– $\vec B$-Feld zeitabh.

urspr. Koordinaten: $\vec r$
mitbew. " $\vec r\,'$ $\Rightarrow$ $\vec r = \vec r\,' + \vec v\, t$



$$\Rightarrow \quad \vec B\,'(\vec r\,', t) = \vec B\left(\vec r(\vec r\,', t)\right) = \vec B(\vec r\,' + \vec v\, t)$$

$$\Phi'_M(t) = \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot \vec B\,'(\vec r\,', t), \qquad A' = \text{const.}, \quad \partial A = C'$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}\Phi'_M(t) = \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot \frac{\partial}{\partial t}\vec B\,'(\vec r\,', t)$$

$$= \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot \frac{d}{dt}\vec B(\vec r = \vec r\,' + \vec v\, t)$$

$$= \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot \sum_i v_i \left(\frac{\partial}{\partial r_i}\vec B(\vec r)\right)\Big|_{\vec r = \vec r\,' + \vec v t}$$

$$= \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot \sum_i v_i \frac{\partial}{\partial r_i'}\vec B\,'(\vec r\,', t) = \int_{A'} d\vec\sigma\,' \cdot (\vec v \cdot \vec\nabla_{\vec r\,'})\,\vec B\,'(\vec r\,', t)$$