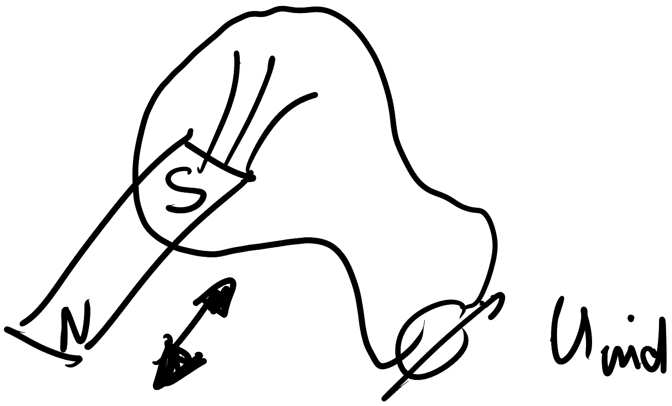
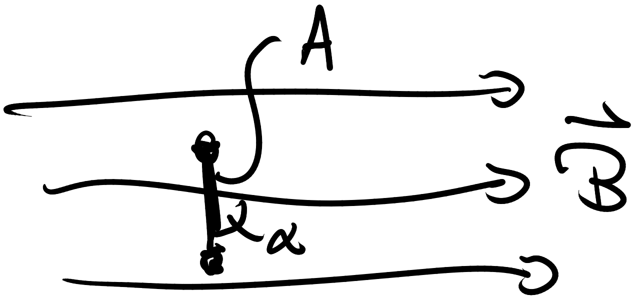
Das Induktionsgesetz

Nicht nur die Bewegung des Leiters dx/dt ergibt eine induzierte Spannung, Auch eine Veränderung von B induziert eine Spannung



Magnetischer Fluß muß sich ändern:



Magnetischer Fluß durch die Fläche A

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha = \vec{B} \cdot \vec{A} = \iint \vec{B}\, d\vec{A}$$

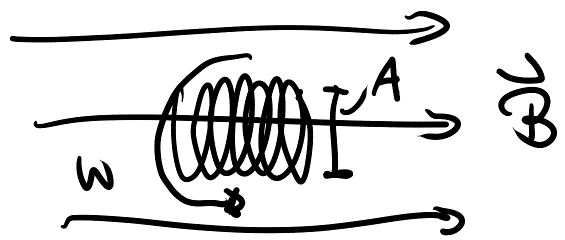
Verallg

$$\boxed{U_{induziert} = -\frac{d\phi}{dt}}$$

Induktionsgesetz

(z.B. mit Widerstand in Leiterschleife $I = \frac{U}{R}$

$$I = \frac{-d\phi/dt}{R}$$. Beispiel: Stromgenerator



$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \omega t$$

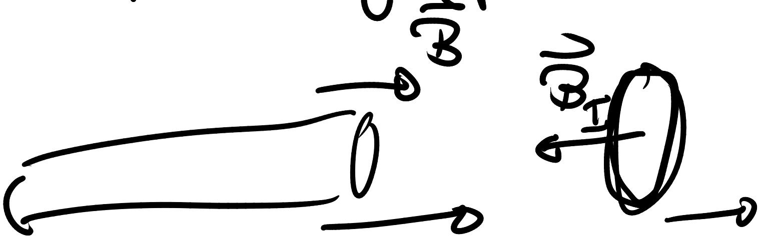
$$\frac{d\phi}{dt} = -\underbrace{\omega B \cdot A}_{U_0} \sin \omega t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T_{Periode}} = 2\pi f$$

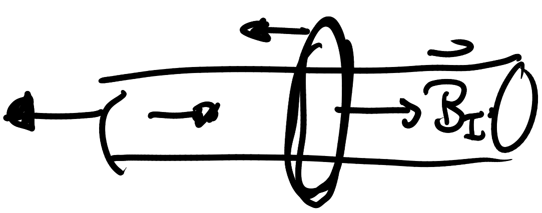
Auch: Drehung der Spule kann zur Messung der Größe und Richtung eines Magnetfeldes verwendet werden. ⇝ Erdmagnetfeld.

Richtung des induzierten Stroms?

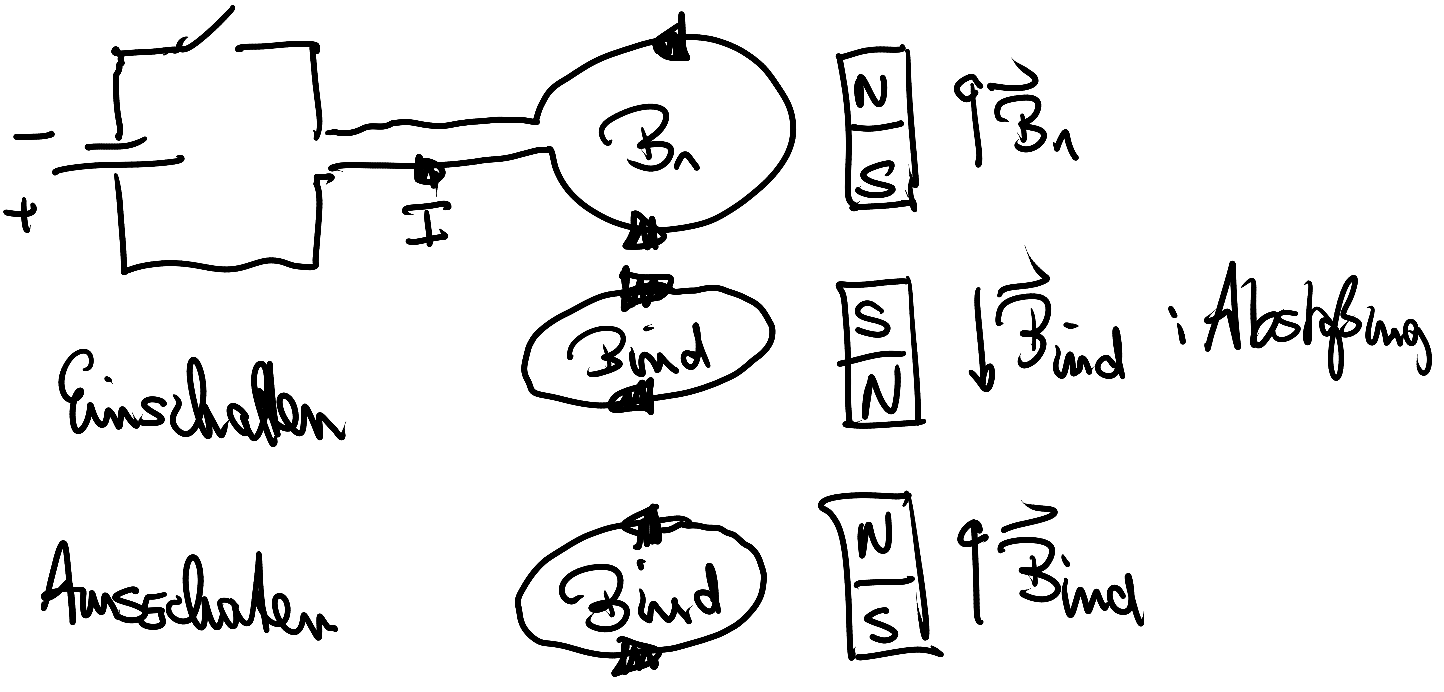
Am Anschaulichsten aus Kraftwirkung des induzierten Magnetfeldes.



: Abstoßung



: Anziehung

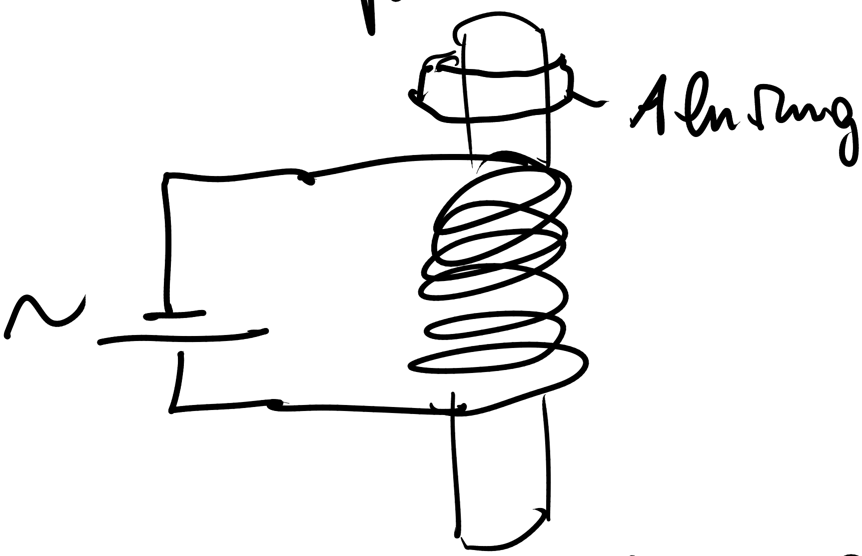


<u>Einschalten:</u> B_1 nimmt zu; B_{ind} ist entgegen gerichtet, damit $B_1 + B_{ind} = 0$ (Anfangszustand) zu erhalten – nur für kurze Zeit wegen Widerstand.

<u>Ausschalten:</u> B_1 nimmt ab, B_{ind} ist gleich gerichtet, um $B_1 + B_{ind} = B_1(t=0)$ zu erhalten. (widerum nur transient)

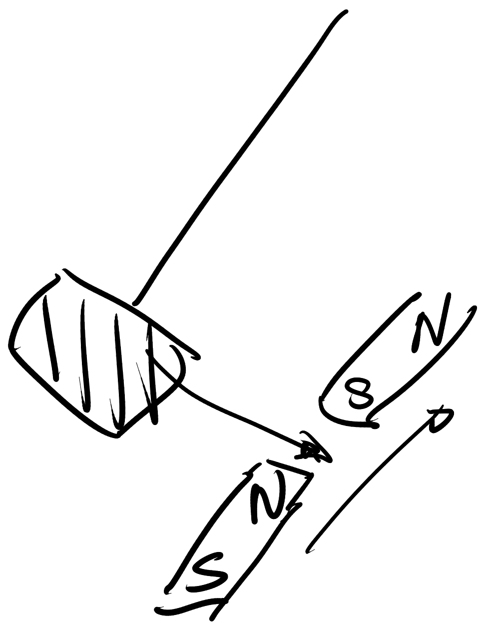
<u>Lenz'sche Regel:</u> Der induzierte Strom wirkt der magn. Flußänderung, die ihn erzeugt, entgegen.

Beispiel: Thomson-Trafo

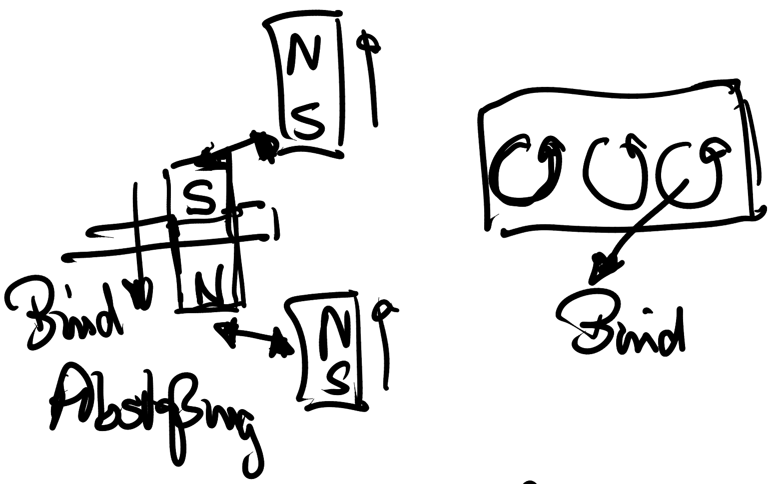


⤳ funktioniert nicht mit geschlitzten Ring.

Wirbelstrombremse



Von oben: von Seite:



$d\Phi/dt$ erzeugt nicht nur in Leiterschleifen eine induzierte Spannung / Strom, sondern in jedem Leitungsstück:

Ergänzung des 3. Maxwell'schen Gesetzes:

$$U_{ind} = \oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}\iint \vec{B}\, d\vec{A}$$

$\rightsquigarrow$ in differentieller Form: bisher: $\mathrm{rot}\,\vec{E} = 0$ (B = const)

wegen $\vec{E} = -\nabla\phi$

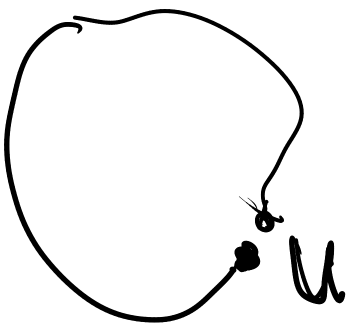
$$\boxed{\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}}$$

Warum $\partial B/\partial t$ in Maxwell und $\frac{d}{dt}$ im Induktionsgesetz?

[siehe Am. J. Phys 46(7) 1978]

<u>Genauer:</u> $U = \frac{1}{q}\oint \vec{F}\, d\vec{s}$

$$= \oint \vec{E}\, d\vec{s} + \oint (\vec{v}\times\vec{B})\, d\vec{s}$$



$$= \iint \mathrm{rot}\,\vec{E}\, d\vec{A} + \oint (\vec{v}\times\vec{B})\, d\vec{s}$$

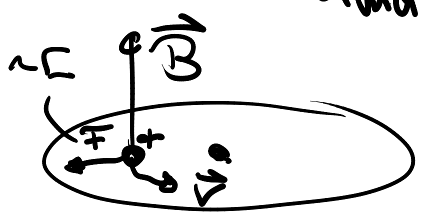
$$= -\iint \frac{\partial B}{\partial t}\, d\vec{A} + \oint (\vec{v}\times\vec{B})\, d\vec{s}$$

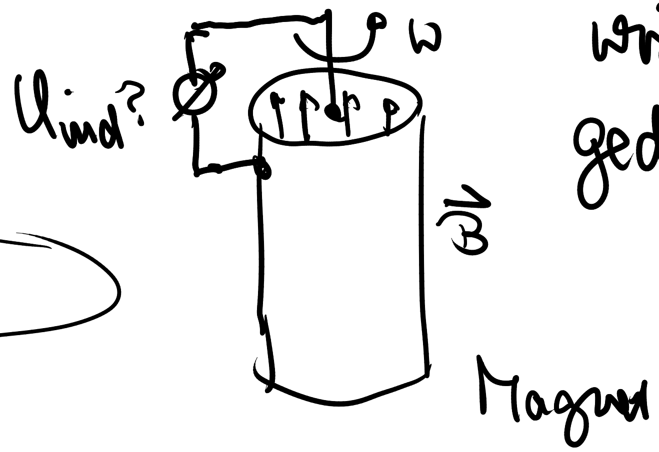
$$\underset{p}{=} -\frac{d}{dt}\iint \vec{B}\, d\vec{A}$$: kann zu Mißverständnisse führen

Divergenz Theorem

Unipolarinduktor

Laufender Magnet wird in seinem $\vec{B}$-Feld gedreht: U_{ind}?





Fragen: haben wir $\vec{v}\times\vec{B}$?

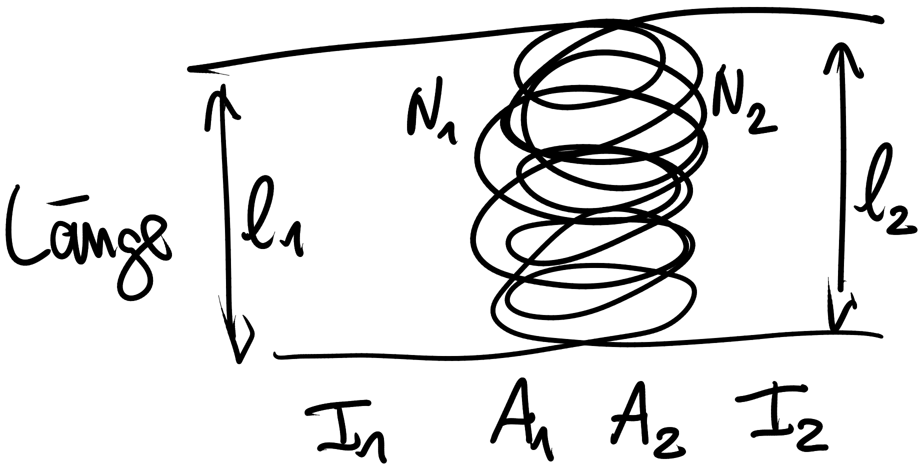
Im Laborsystem:

- Induktionsgesetz unklar
- Ursache: $\vec{v}\times\vec{B}$ im Magnet

Im System des Magneten (drehend)

- Induktionsgesetz unklar
- Ursache $\vec{v}\times\vec{B}$ in der Leiterschleife / Spannungsabnehmer.

Gegeninduktivität – Selbstinduktivität



2 Spulen ineinander gewickelt auf einem gemeinsamen Kern.

I_1 durch Spule 1 erzeugt $B_1 = \mu_0 \frac{I_1 N_1}{l_1}$

- Fluß durch die Fläche $A_2 = \phi_2 = A_2 B_1$
- durch Spule 2: $\phi_2 = N_2 A_2 B_1$

$$= \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l_1} A_2 I_1$$

- Induzierte Spannung in 2:

$$U_{ind}^{(2)} = -\frac{d\phi_2}{dt} = -\underbrace{\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l_1} A_2}_{\text{Gegeninduktivität } L_{12}} \cdot \frac{dI}{dt}$$

Einheit $\frac{Vs}{A} = H$ (Henry, Hy)

1 H: Änderung der Stromstärke um 1 A/s induziert 1 V.

Fluß ϕ_1 in Spule 1: $\phi = N_1 B_1 A_1 = \mu_0 \frac{N_1^2 A_1}{l_1} I_1$

$$U_{ind}^{(1)} = -\frac{d\phi}{dt} = -\underbrace{\mu_0 \frac{N_1^2 A_1}{l_1}}_{L} \cdot \frac{dI_1}{dt}$$

L Selbstinduktivität.

$$\frac{U_{ind}^{(1)}}{U_{ind}^{(2)}} = \frac{-L \cdot dI_1/dt}{-L_{12} \cdot dI_1/dt} = \frac{L}{L_{12}} \text{ für } A_1 = A_2$$

$$\frac{U_{ind}^{(1)}}{U_{ind}^{(2)}} = \frac{N_1}{N_2}$$