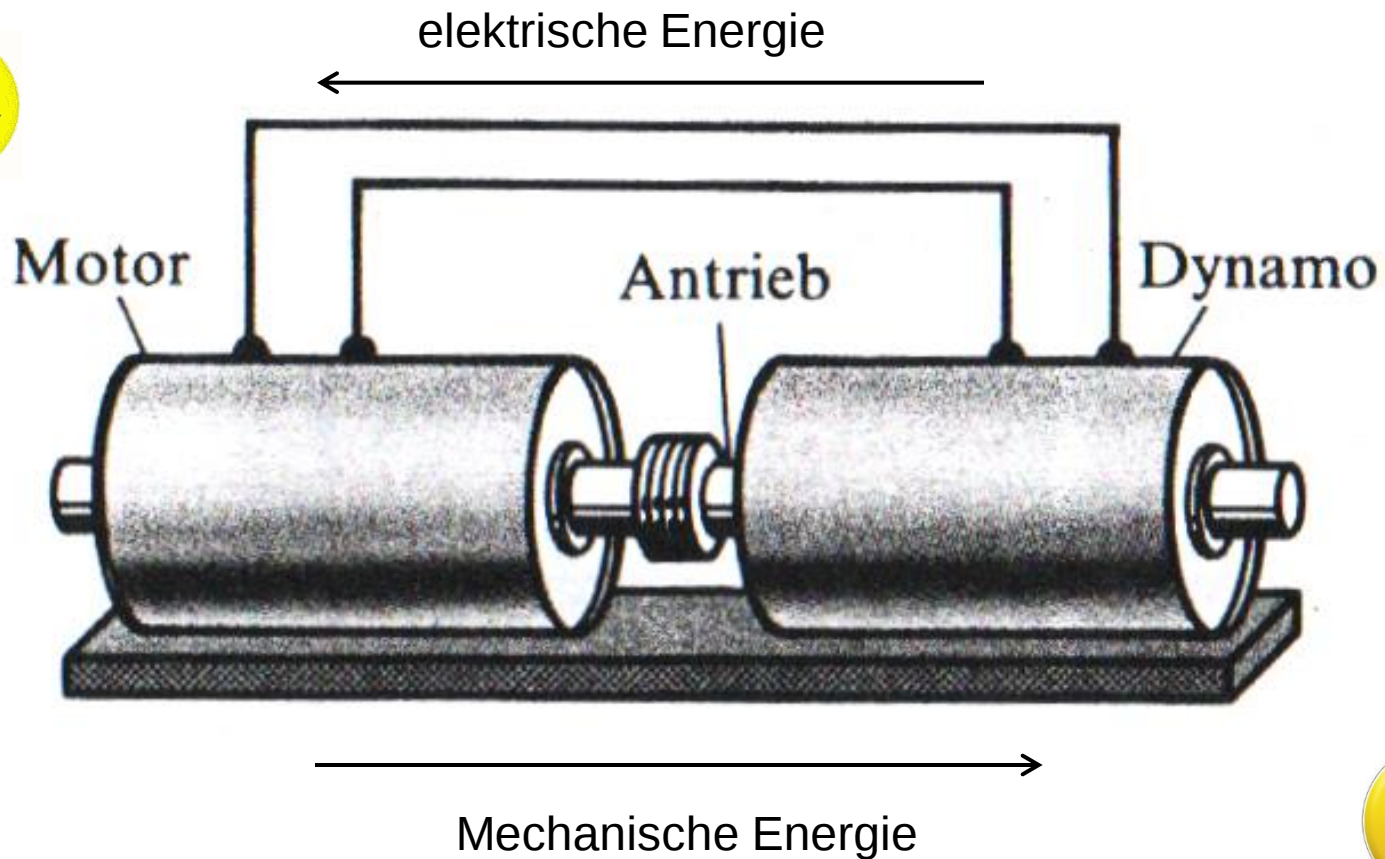


... mit einer elektrischen Spannung kann ein Motor angetrieben werden ...
... der Antrieb eines Generators liefert eine elektrische Spannung ...

► Wie wäre es dann damit ?

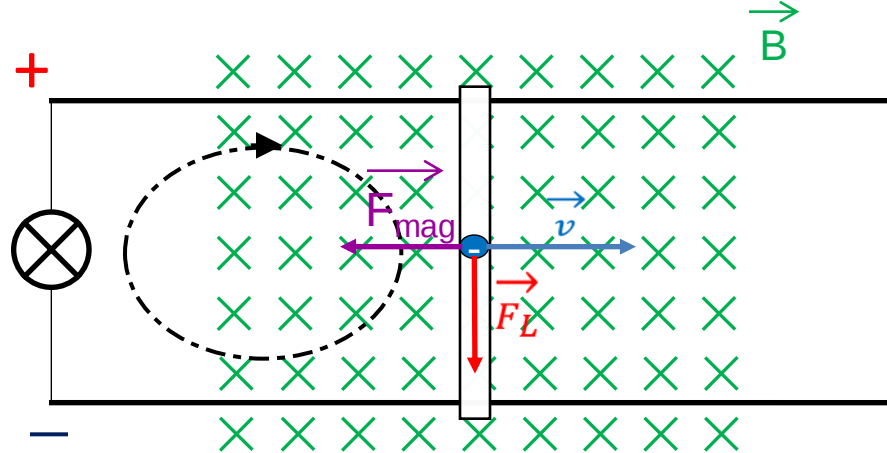


Das Lenzsche Gesetz

*„Wo kommt das Vorzeichen
im Induktionsgesetz her?“*



Induktion in einem bewegten Leiter im Magnetfeld:



Bewegung des Leiters im Magnetfeld erzeugt eine Lorentzkraft $\vec{F}_L$.
An den Leiterenden (Schienen) entsteht eine elektrische Spannung.

► Induktion in einem (geraden) Leiter

Anschluss eines elektrischen Verbrauchers !

► Elektronenbewegung – es fließt ein elektrischer Strom

Der Stromfluss in einem elektrischen Leiter im Magnetfeld ruft eine magnetische Kraftwirkung hervor.

Die magnetische Kraft $\vec{F}_{\text{mag}}$ ist der Bewegung entgegen gerichtet !

Die experimentellen Ergebnisse zur Richtung des Induktionsstromes fasste H. F. E. Lenz 1833 zu einem Gesetz zusammen.

► **Lenzsches Gesetz**
(Lenzsche Regel)

$$U_{ind} = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$



► Oh, wie undankbar ...

Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegen wirkt.

Das Lenzsche Gesetz ist eine spezielle Formulierung des **Energieerhaltungssatzes** bei der elektromagnetischen Induktion.

„Um elektrische Arbeit zu verrichten (Stromfluss), muss mechanische Arbeit aufgewendet werden.“

Für die gleichförmige Bewegung eines Leiters im Magnetfeld gilt:

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

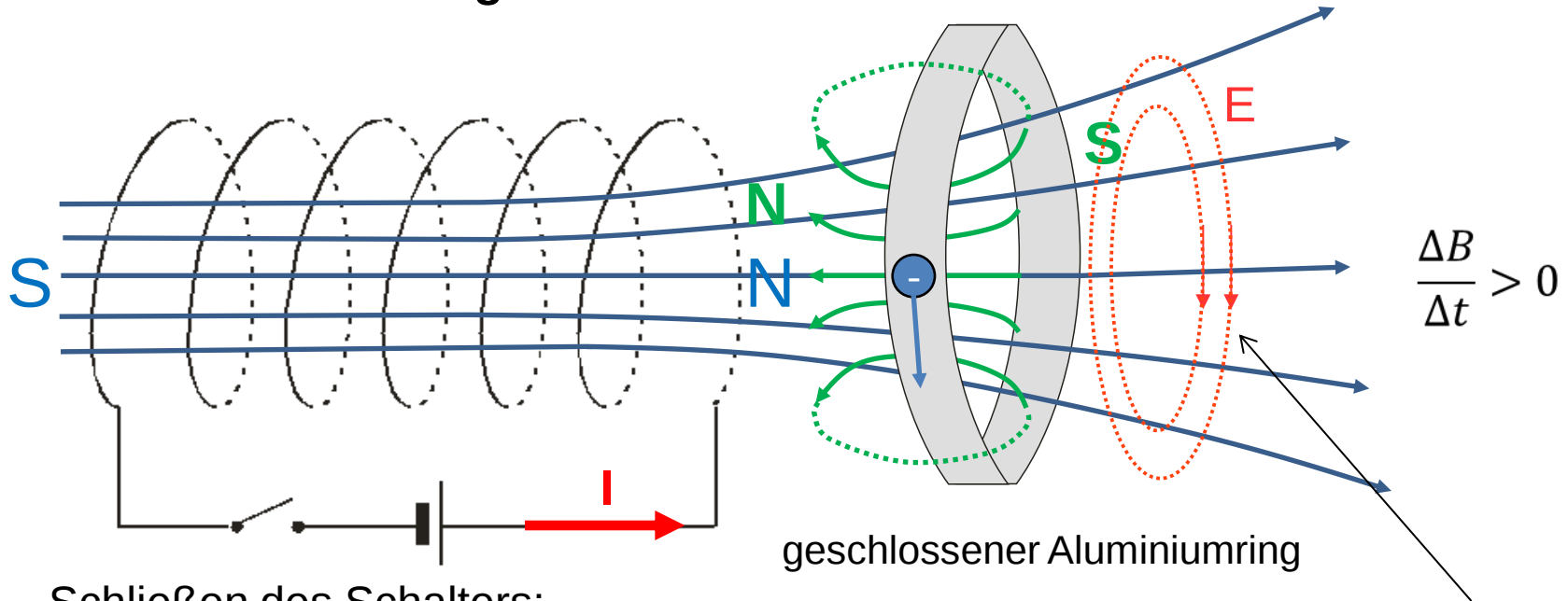
$$W_{mech} = F \cdot s$$

$$W_{el} = B \cdot l \cdot v \cdot I \cdot t$$

$$W_{mech} = I \cdot B \cdot l \cdot v \cdot t$$

$$W_{el} = W_{mech}$$

Thomsonscher Ringversuch:



Schließen des Schalters:

- (1) Stromfluss → Aufbau eines **Magnetfeldes**
- (2) Induktion einer Spannung im Ring
- (3) Fließen eines Induktionsstromes im geschlossenen Ring
- (4) Stromfluss im Ring erzeugt ein **zweites Magnetfeld**
- (5) Beide Magnetfelder sind entgegen gerichtet ► Abstoßung

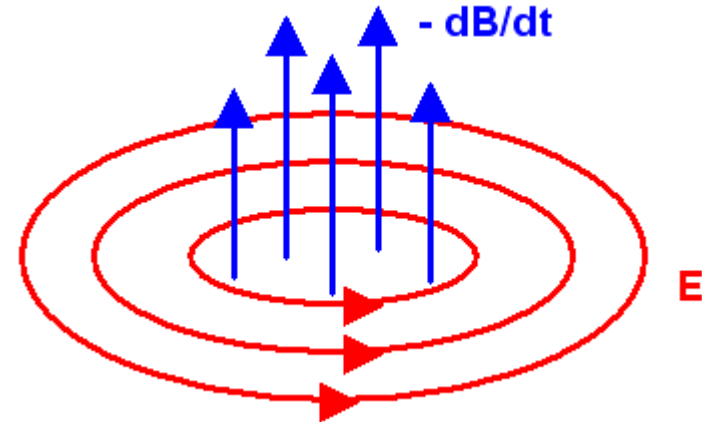
Um das Magnetfeld bildet sich ein elektrisches Feld aus ...

Der Ring entfernt sich vom aufbauenden Magnetfeld, d.h. er „flüchtet“ vor der Ursache seiner Entstehung.

* Verallgemeinerung:

Jedes zeitlich veränderliche Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Wirbelfeld mit geschlossenen Feldlinien.

Es existiert auch unabhängig von einem elektrischen Leiter.



► Elektrische und magnetische Felder sind eng miteinander verknüpft.

Ausbreitung
elektromagnetischer
Wellen

Maxwell-Gleichungen



$$\oint_K \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = \frac{d}{dt} \int_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} + I$$
$$\oint_K \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d}{dt} \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$
$$\oint_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = Q$$
$$\oint_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0.$$