

Weitere Beispiele

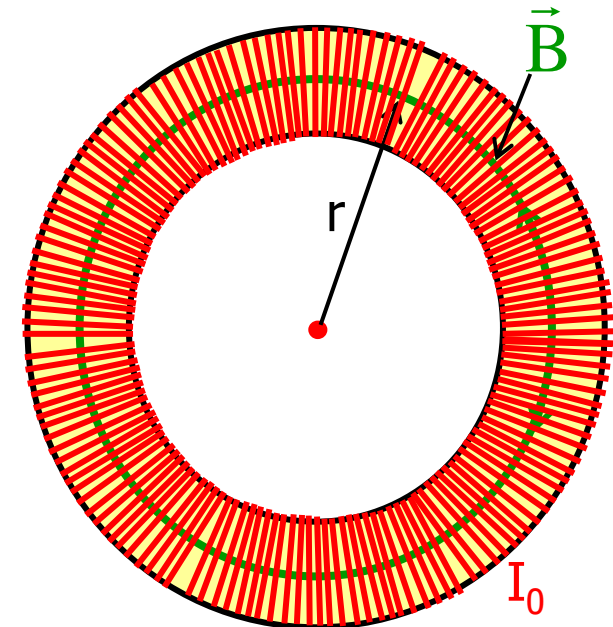
c) Ringspule:

$$\text{Symmetrie} \Rightarrow \vec{B}(\vec{r}) = B(r) \cdot \vec{e}_\varphi$$

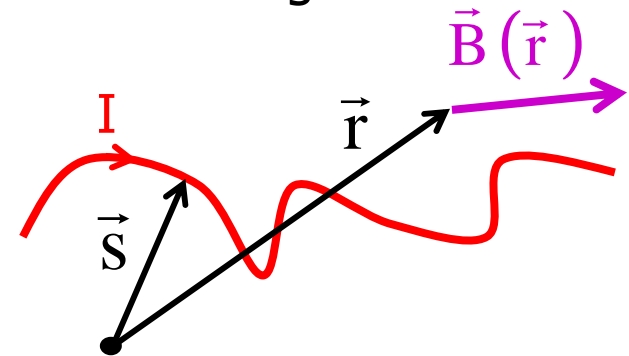
$$\oint \vec{B}(\vec{r}) d\vec{s} = 2\pi r \cdot B(r)$$

$$\mu_0 I = \mu_0 N I_0$$

$$B(r) = \frac{\mu_0 N}{2\pi} \cdot \frac{I_0}{r}$$



Windungszahl N



d) Beliebige Leiterformen:

Biot-Savart-Gesetz

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{Leiter}} \frac{d\vec{s}}{|\vec{r} - \vec{s}|}$$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \text{rot } \vec{A}(\vec{r})$$

Stromschleife



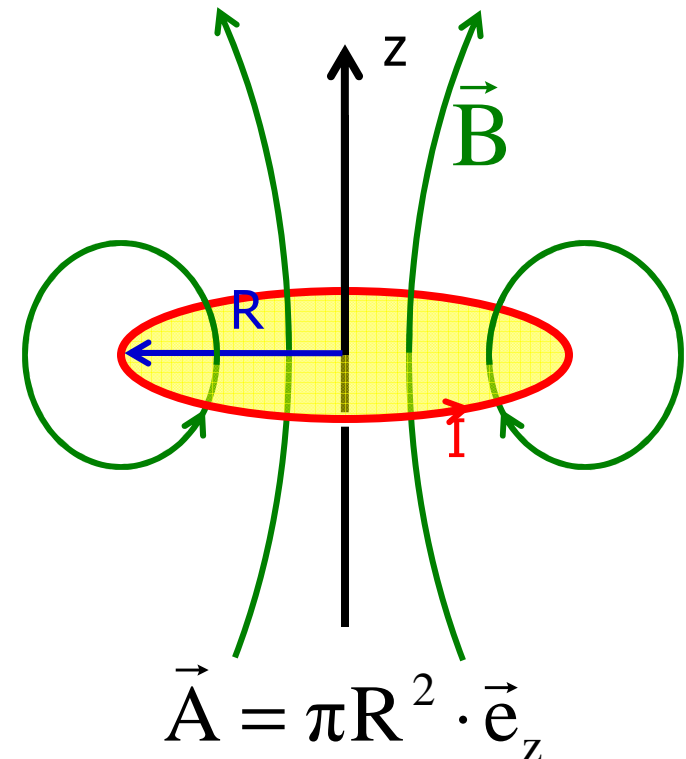
Paradebeispiel für Biot-Savart-Gesetz $|\vec{r}| \gg R \Rightarrow$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 \vec{p}_m}{4\pi r^3} (2\cos(\theta) \cdot \vec{e}_r + \sin(\theta) \cdot \vec{e}_\theta)$$
$$\propto \frac{\vec{p}_m}{r^3} \quad \text{Dipolfeld}$$

mit

Magnetisches Dipolmoment

$$\vec{p}_m = I \cdot \vec{A}$$

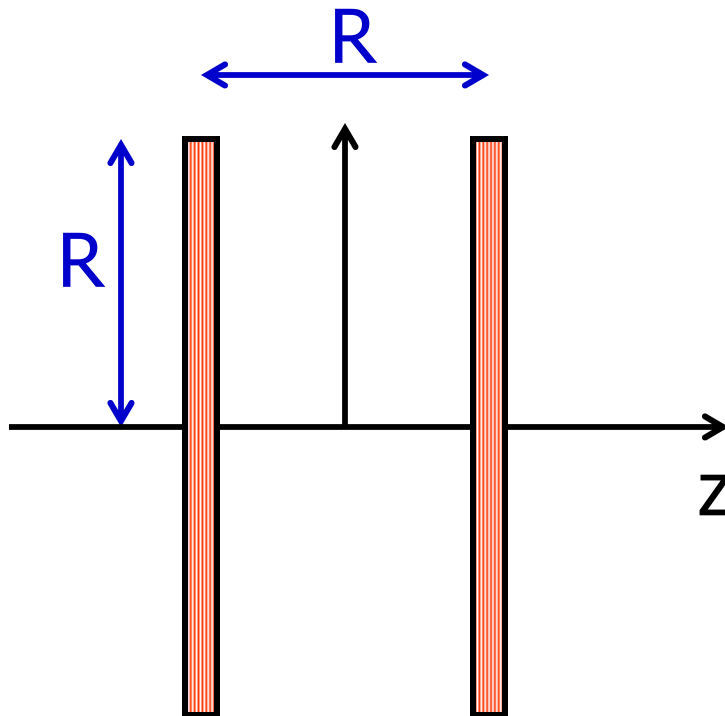


Bemerkung: Resultat gilt für beliebige Form der Fläche.

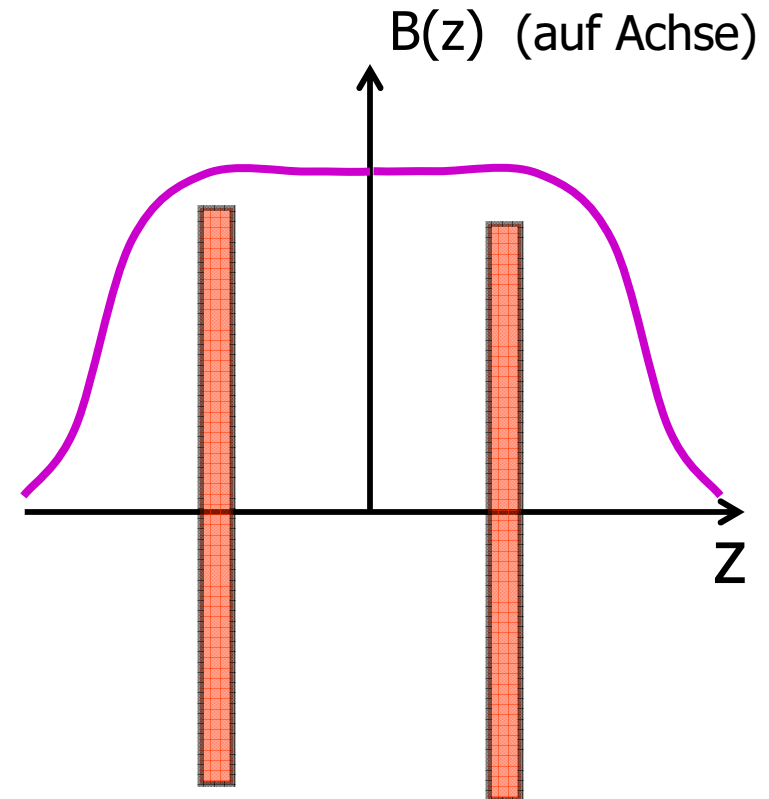
Das magnetische Dipolmoment ist eine charakteristische Größe!

Helmholtzspule

Praktische Realisierung des (fast) homogenen B-Feldes:



Helmholtz-Spule



Optimale Homogenität
im Spulenzentrum

3.3. Die Lorentzkraft

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Coulomb-
Kraft

Lorentz-
Kraft

Beweis:

- Empirische experimentelle Beobachtung
- Invarianz der Elektrodynamik unter Lorentztransformationen


(\leftrightarrow spezielle Relativitätstheorie) \Rightarrow

System ohne Magnetfeld

$$\vec{v}', \vec{E}', \vec{B}' = \vec{0}$$

$$\vec{F}' = q \cdot \vec{E}'$$

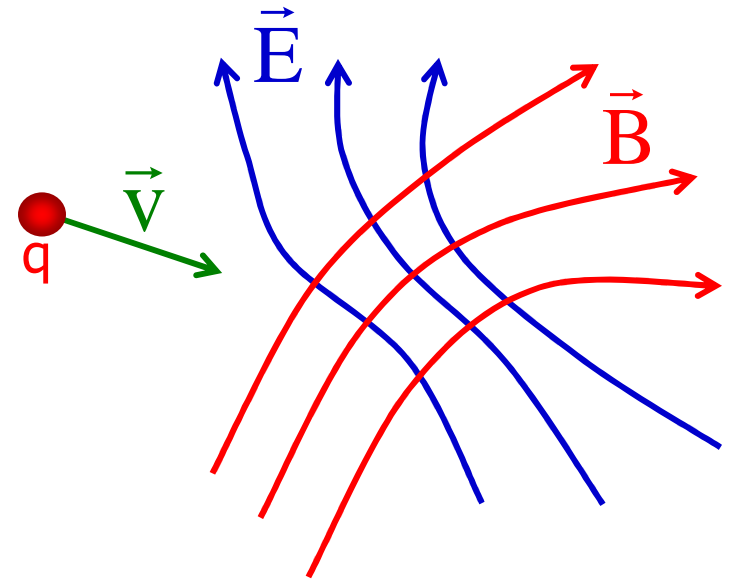
Lorentz-
Transf.



Laborsystem

$$\vec{v}, \vec{E}, \vec{B} \neq 0$$

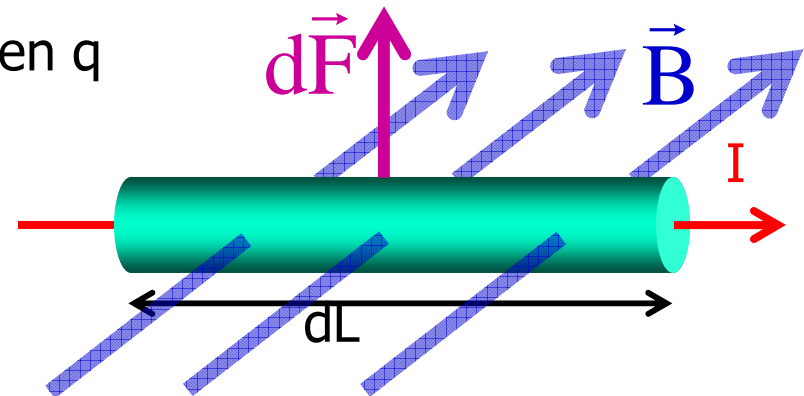
$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



Kraft auf Leiter mit Strom



- v_D = Driftgeschwindigkeit der Ladungen q
- n = #Ladungen q pro Volumen
- A = Leiterquerschnitt



$$I = \underbrace{n v_D A}_{\text{\#q pro s durch A}} q \Rightarrow \left| \vec{j} \right| = \frac{I}{A} = n v_D q \Rightarrow \boxed{\vec{j} = n q \vec{v}_D}$$

$$d\vec{F} = \underbrace{n A dL}_{\text{\#Ladungen in dL}} q \vec{v}_D \times \vec{B} = \vec{j} \times \vec{B} \cdot dV \Rightarrow \boxed{d\vec{F} = I \cdot d\vec{L} \times \vec{B}}$$

$\vec{j} \cdot dV = I \cdot d\vec{L}$

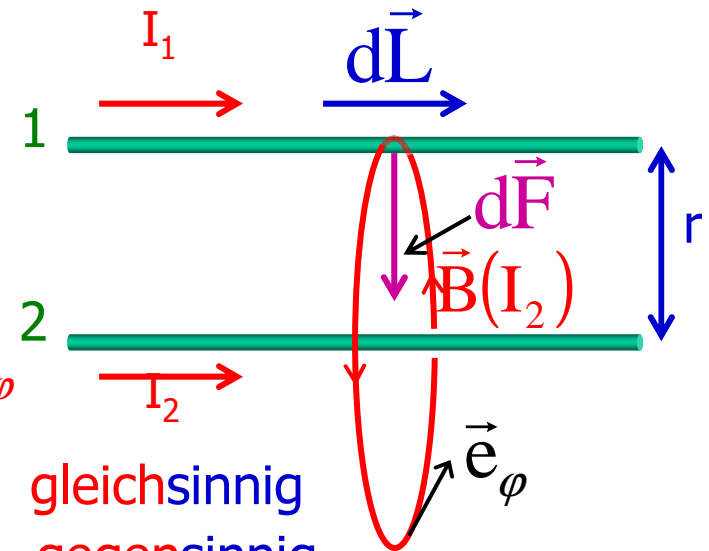
Kraft auf Parallele Drähte

Spezialfall:

$$I_2 \text{ durch Draht 2} \Rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_2 \cdot \vec{e}_\varphi$$

$$\Rightarrow \text{Kraft auf Draht 1: } d\vec{F} = I_1 d\vec{L} \times \vec{B}$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} d\vec{L} \times \vec{e}_\varphi$$



$$d\vec{L} \perp \vec{e}_\varphi \Rightarrow \begin{cases} \text{Anziehung, falls } I_1 \text{ und } I_2 \text{ gleichsinnig} \\ \text{Abstoßung, falls } I_1 \text{ und } I_2 \text{ gegensinnig} \end{cases}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} \quad I_1=I_2=I \quad = \quad \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2}{r}$$

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \Rightarrow \text{Definition der Stromstärke 1 A}$$

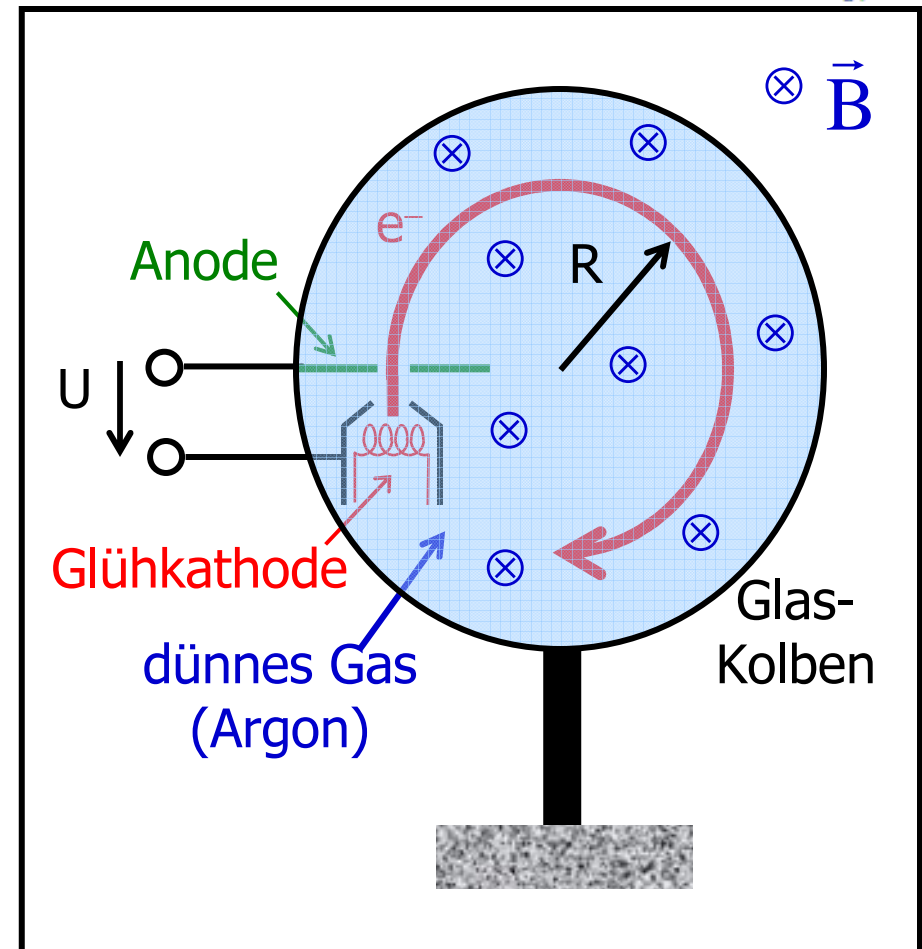
Fahdenstrahlrohr

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$\frac{mv^2}{R} = evB \Rightarrow R = \frac{mv}{eB}$$

$$\Rightarrow R = \frac{\sqrt{2U}}{B} \sqrt{\frac{m}{e}}$$

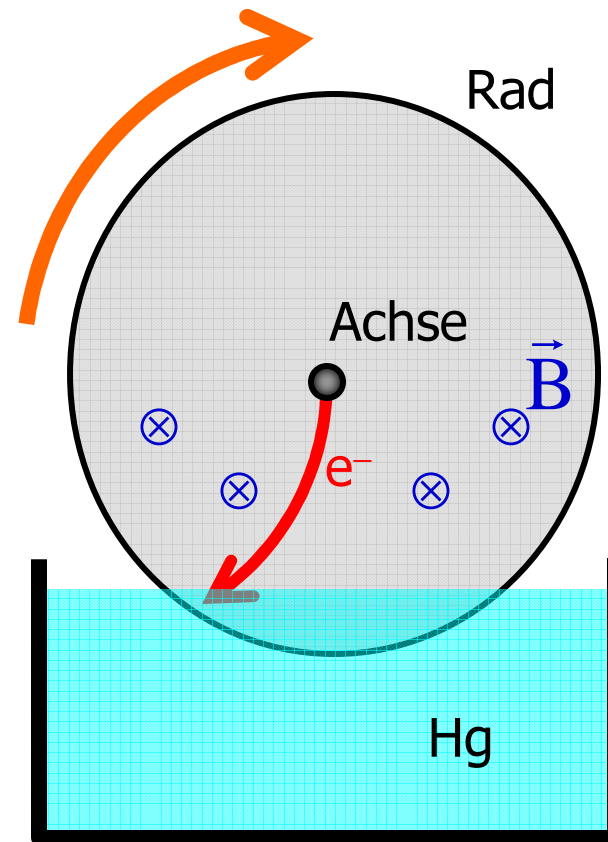
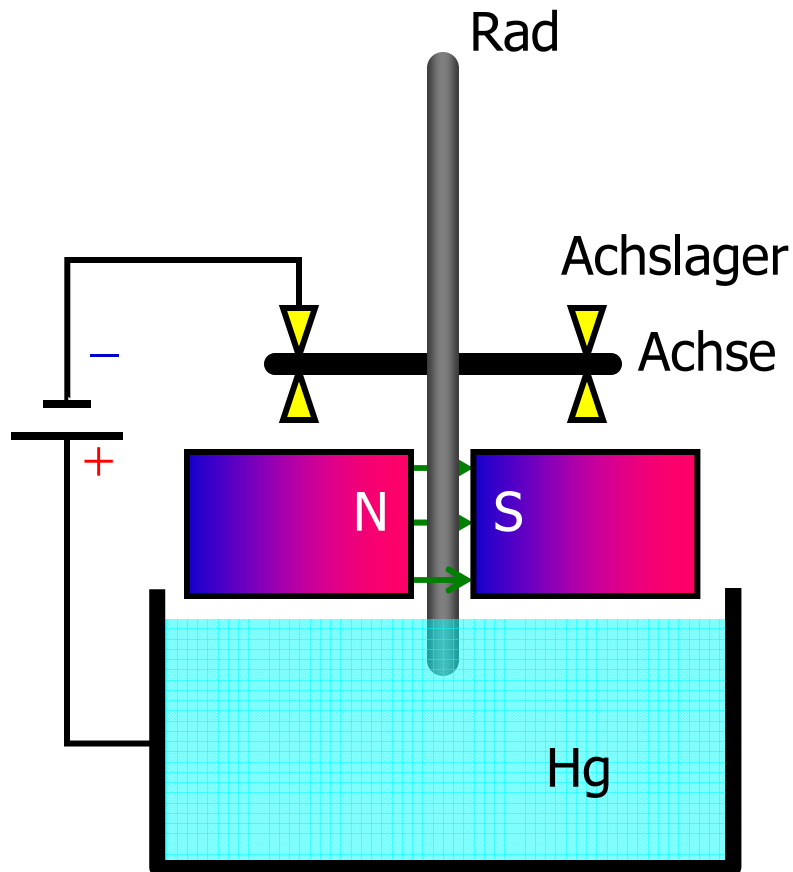
⇒ Messung von e/m



Alternative Methoden zur e/m -Messung:

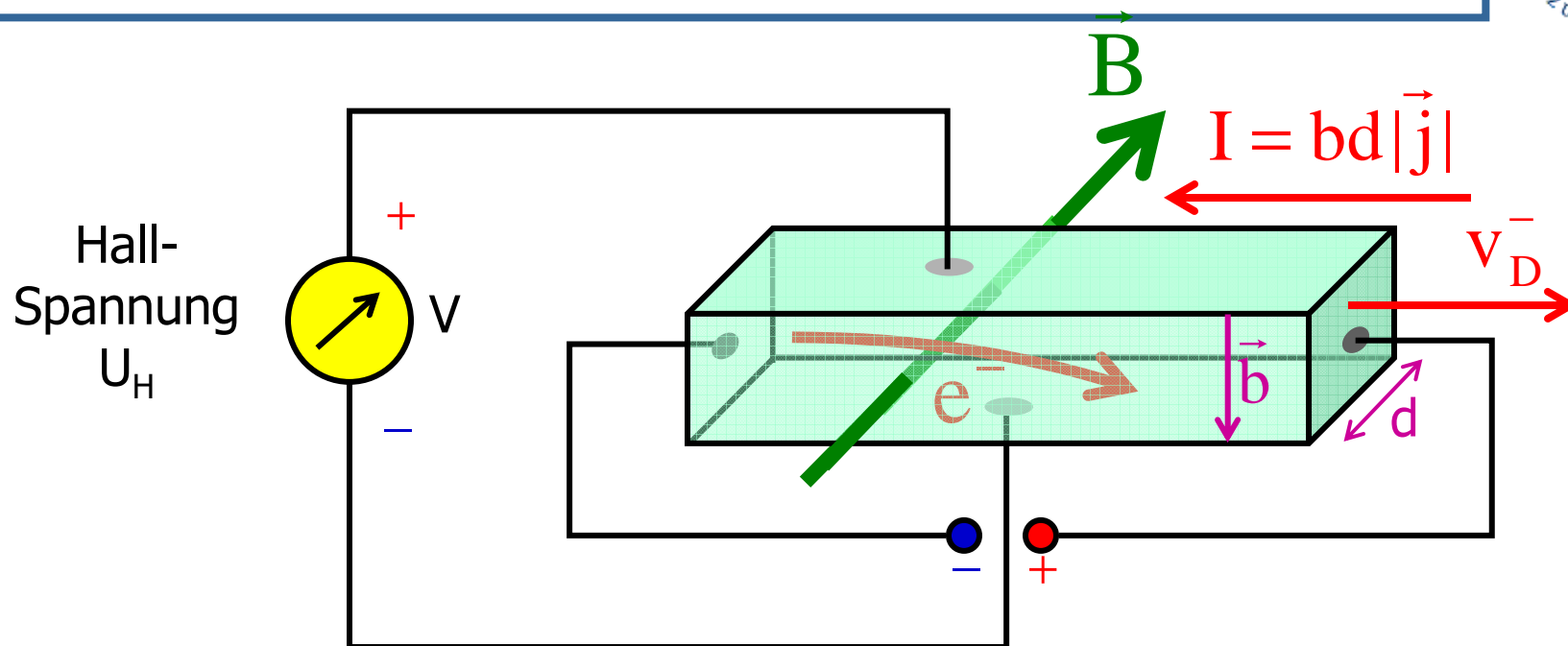
Kathodenstrahlröhre mit überlagerten E- und B-Feldern

Barlowsches Rad



Lorentzkraft auf Elektronen überträgt
sich durch Reibung der Elektronen im
Metall auf das Rad

Der Hall-Effekt



$$\vec{j} = n^+ e \vec{v}_D^+ - n^- e \vec{v}_D^-$$

Fehlstellenleitung
Löcher in p-dotierten Halbleitern

Elektronenleitung
Metalle oder Halbleiter