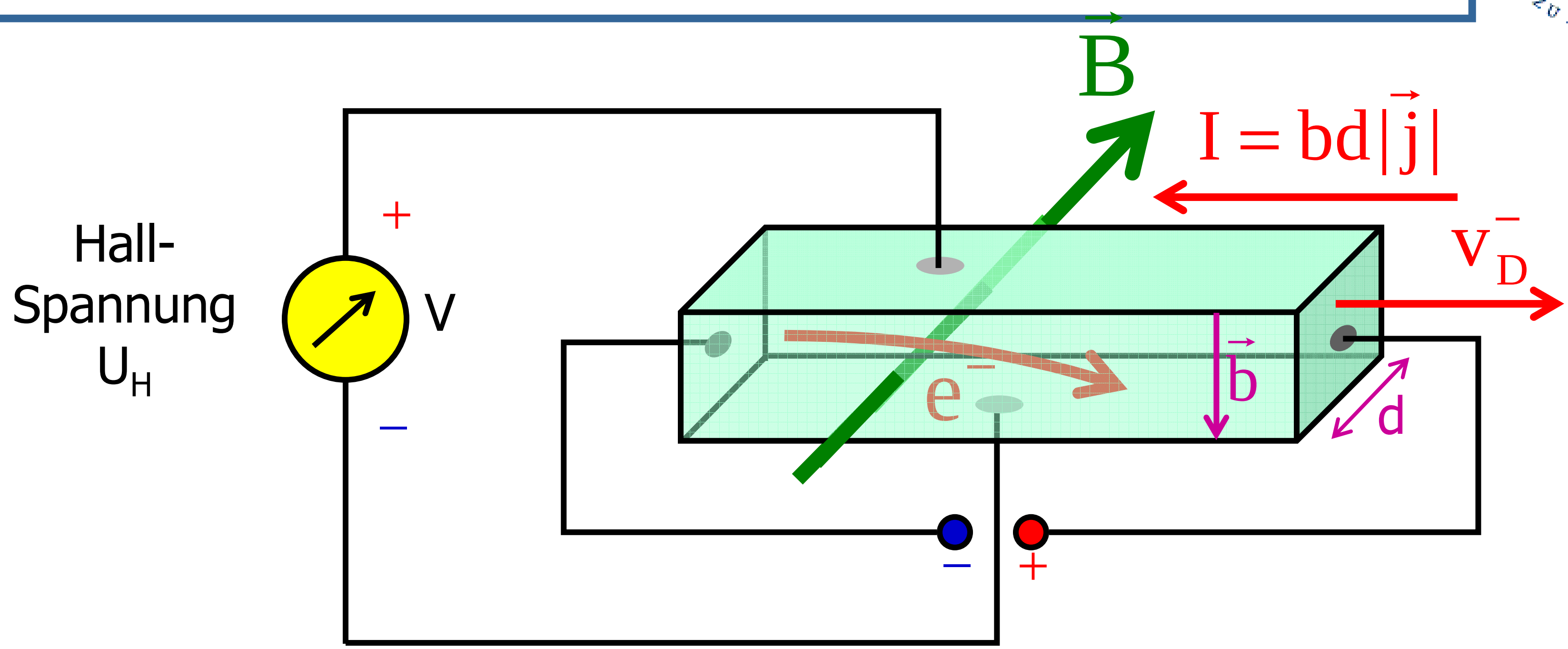
Der Hall-Effekt

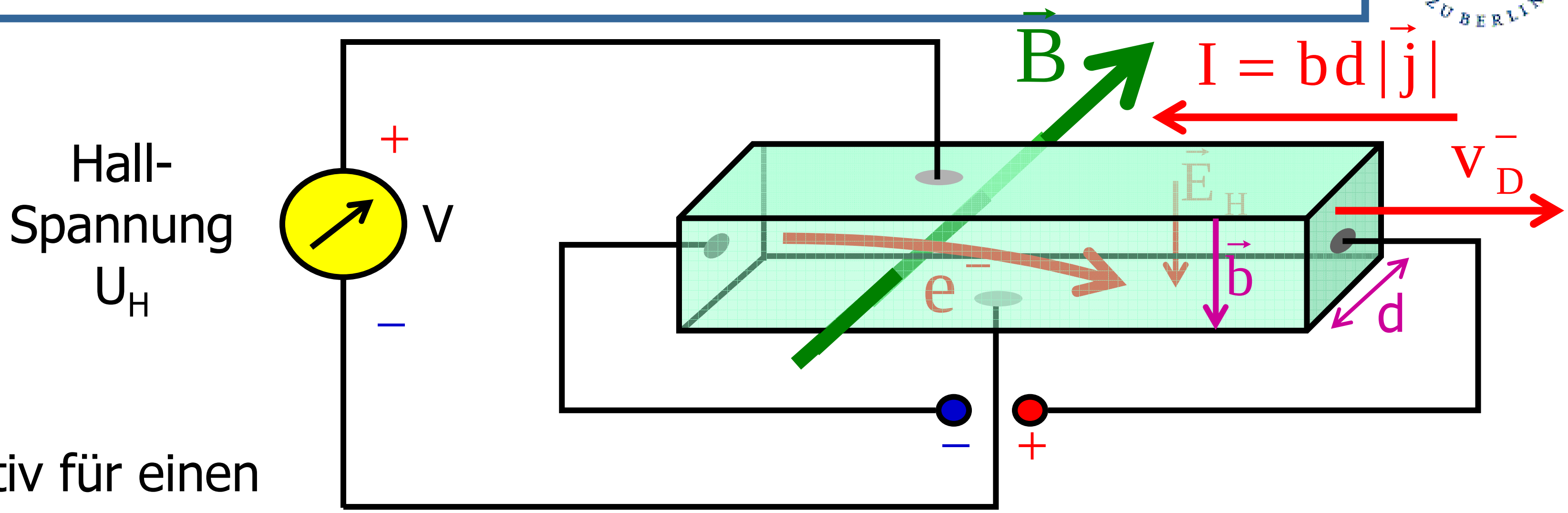


$$\vec{j} = n^+ e \vec{v}_D^+ - n^- e \vec{v}_D^-$$

Fehlstellenleitung
Löcher in p-dotierten Halbleitern

Elektronenleitung
Metalle oder Halbleiter

Hall-Konstante



Quantitativ für einen Ladungsträgertyp:

Magnetische Kraft pro Volumen: $nq\vec{v}_D \times \vec{B}$

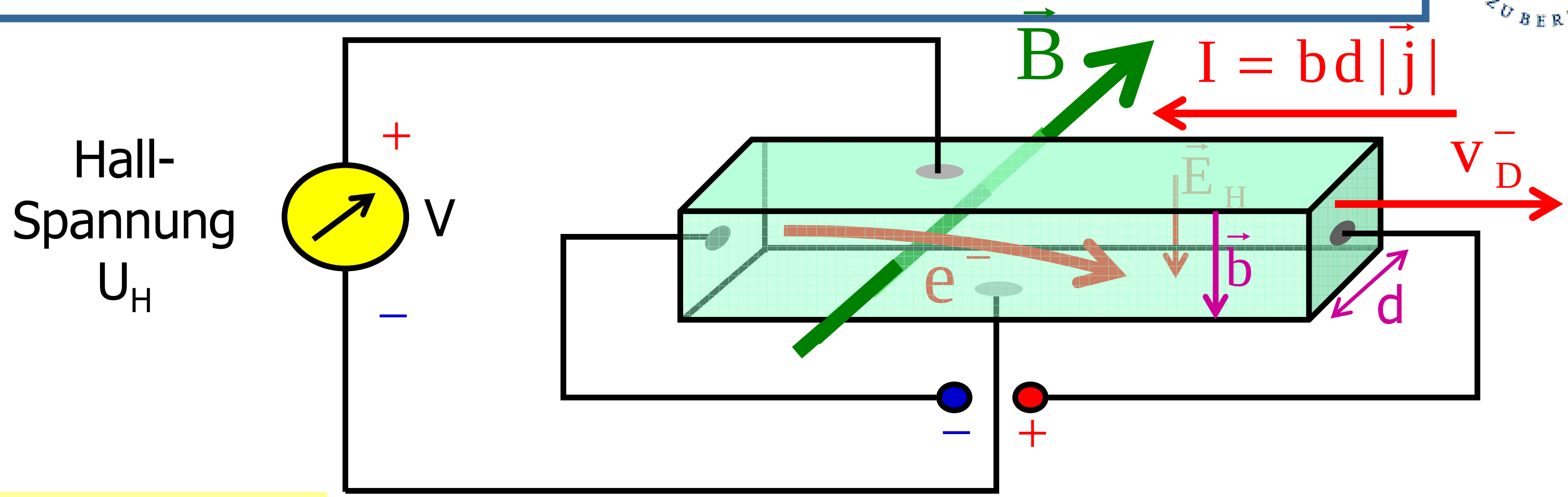
Elektrische Kraft pro Volumen: $nq\vec{E}_H$ ← Hall-Feldstärke

(durch Ladungsträgertrennung)

$$\Rightarrow \quad \vec{E}_H = -\vec{v}_D \times \vec{B} = -\frac{\vec{j}}{nq} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad U_H = \int \vec{E}_H d\vec{s} = \vec{b}\vec{E}_H = -\frac{(\vec{j} \times \vec{B}) \cdot \vec{b}}{nq} = -\frac{jBb}{nq}$$

$$j = \frac{I}{bd} \quad \Rightarrow \quad \boxed{U_H = R_H \frac{IB}{d}} \quad \text{mit} \quad \boxed{\text{Hall-Konstante} \quad R_H = -\frac{1}{nq}}$$

Hall-Effekt: Halbleiter



$$U_H = R_H \frac{I\,B}{d}$$ mit $$\text{Hall-Konstante} \quad R_H = -\frac{1}{nq}$$

Metalle, n-Halbleiter: $q \approx -e \quad \Rightarrow \quad U_H > 0$

p-Halbleiter: $q \approx +e \quad \Rightarrow \quad U_H < 0$

n(Halbleiter) << n(Metalle) $\Rightarrow$ Halbleiter-Hallsonden sehr sensitiv (B-Feld-Messung bis 10^{-6} T)

B groß, T klein, b klein $\Rightarrow$ quantisierte R_H (Quanten-Hall-Effekt) (Nobelpreis v. Klitzing, 1985)

3.4. Materie im Magnetfeld

Problem: Statische magnetische Felder in Materie

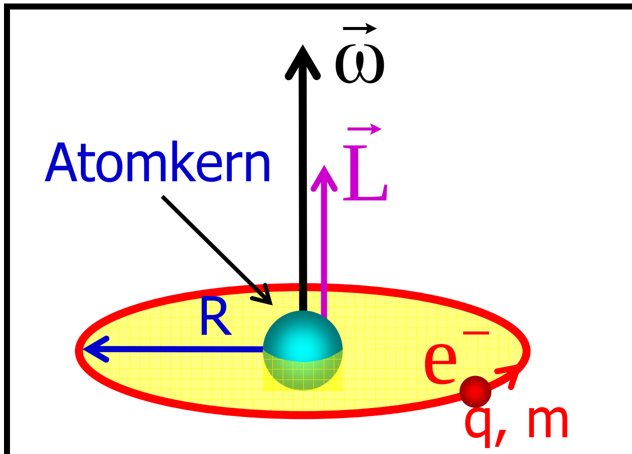
atomarer magnetischer Dipol:

$$\vec{p}_m = I \cdot \vec{a} = q\nu \cdot \pi R^2 \vec{e}_\omega = \tfrac{1}{2} q R^2 \vec{\omega}$$

$\nu = \omega/(2\pi)$

$$\vec{L} = m\left(\vec{R} \times \vec{v}\right) = mR^2 \vec{\omega}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\vec{p}_m = \frac{q}{2m} \cdot \vec{L}}$$



$$\vec{a} = \pi R^2 \vec{e}_\omega$$

Bohrsches Atommodell: $q = -e$; $m = m_e$; $L = l\,\hbar$, $l = 0,1,2,\ldots$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\left|\vec{p}_m\right| = \ell \cdot \frac{e\hbar}{2m_e} = \ell \cdot \mu_B}$$

Bohrsches Magneton

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9{,}2742 \cdot 10^{-24}\,\mathrm{Am}$$

Magnetisierung

Magnetisierung: Ausrichtung atomarer Momente $\vec{p}_m$

- i. von außen induzierte Ströme
- ii. permanent vorhanden: $l > 0$, Spins ungepaarter Elektronen

$$\vec{M} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{\Delta V} \vec{p}_{mi}$$

Freie Stromdichte: $\vec{j} \Rightarrow \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \vec{j}_m \right) = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \operatorname{rot} \vec{M}$

Def.: **Magnetische Erregung** $\boxed{\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}}$ (Materialgleichung)

Folgerung: $\boxed{\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j}}$ (Feldgleichung 1)

Quellenfreiheit: $\boxed{\operatorname{div} \vec{B} = 0}$ (Feldgleichung 2)

Magnetische Suszeptibilität

Lineare Näherung: $\vec{M} = \chi_m \cdot \vec{H}$ $\chi_m \approx \text{const.}$

magnetische Suszeptibiliät

$$\Rightarrow \quad \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M}\right) = \mu_0 \left(1 + \chi_m\right) \vec{H} \equiv \mu \mu_0 \vec{H} \quad \Rightarrow \quad \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \mu_0 \, \vec{j}$$

relative Permeabilität: $\mu \equiv \mu_r \equiv 1 + \chi_m$

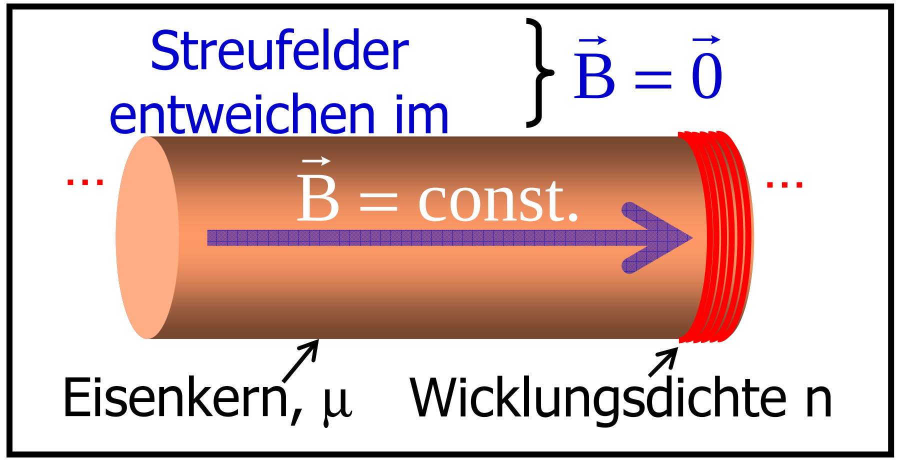
isotropes Medium $\Rightarrow$ μ = Zahl (Skalar)

anisotropes Medium $\Rightarrow$ μ = Tensor (2. Stufe)

Faustregel: **Für homogene isotrope Medien ersetze in allen Formeln für das Vakuum einfach μ_0 durch $\mu \cdot \mu_0$.**

Spule mit Eisenkern

$$B_0 = \mu\mu_0 n I_0$$



<u>Stoffklassen:</u>

1. Diamagnete: $\chi_m < 0$
2. Paramagnete: $\chi_m > 0$
3. Ferromagnete: $\chi_m > 0$

$$|\chi_m| \ll 1$$ (Diamagnete, Paramagnete)

$$|\chi_m| \gg 1$$ (Ferromagnete)

<u>Kraftwirkung:</u>