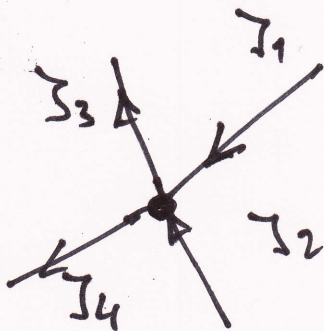


18.4. Die Kirchhoffschen Regeln

- Kontinuitätsgleichung (Erhaltung der Ladung)
- $\vec{E}$ -Feld ist verknüpft mit Potentialdifferenzen (U)

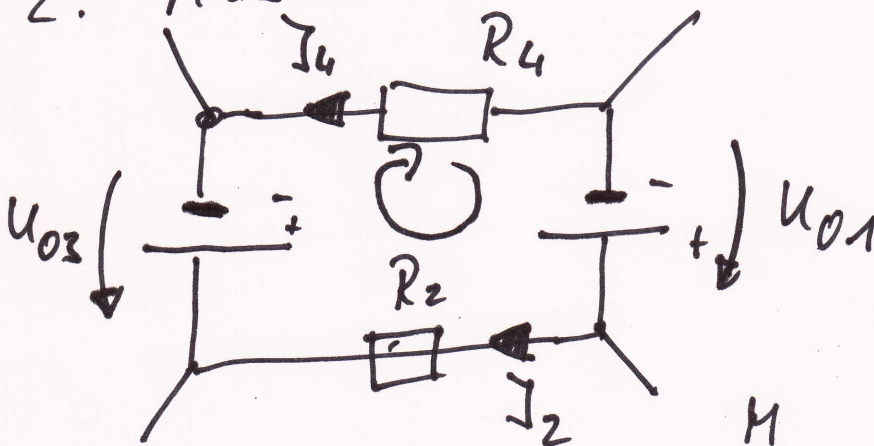
1. Knotensatz



$$\sum_{k=1}^N I_k = 0$$

$$(I_1 + I_2) - (I_3 + I_4) = 0$$

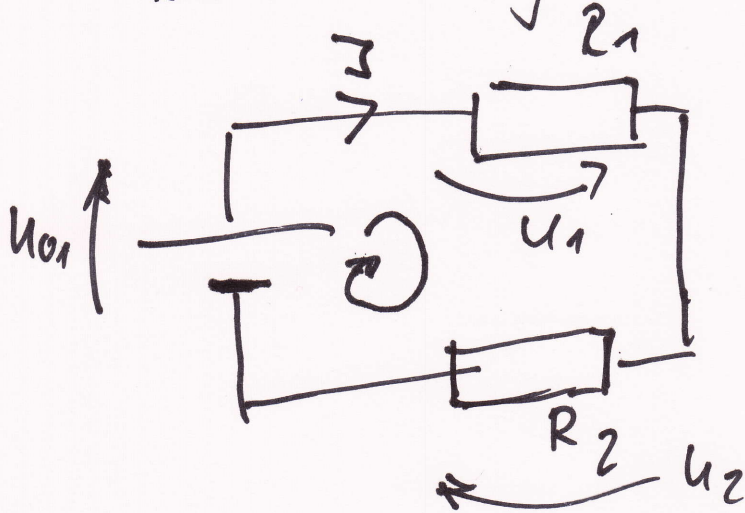
2. Maschensatz



$$\sum_{i=1}^N U_{0i} = \sum_{k=1}^M R_k I_k$$

$$U_{01} - U_{03} = I_2 R_2 - I_4 \cdot R_4$$

- Reihenschaltung von Widerständen



$$U_{01} = U_1 + U_2$$

$$= I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

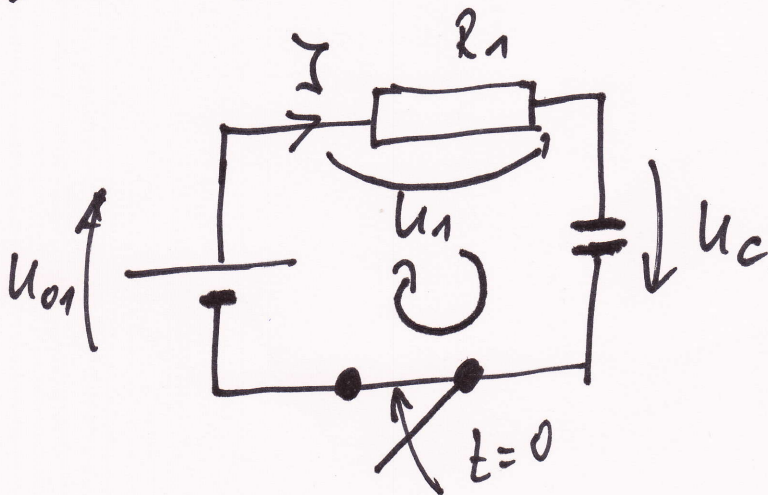
$$U_{01} = I (R_1 + R_2)$$

für Reihenschaltung: $I_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^N I_i$

- für Parallelschaltung

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

• Laden eines Kondensators



$$U_C(t) = ?$$

$$I(t) = ?$$

$$U_C = \frac{Q}{C}$$

$$U_{01} = I \cdot R_1 + U_C$$

$$U_{01} = I \cdot R_1 + \frac{Q}{C} \quad | \cdot \frac{d}{dt}$$

$$0 = \frac{dI}{dt} \cdot R_1 + \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{C}$$

$$\frac{dQ}{dt} = I$$

$$0 = \frac{dI}{dt} \cdot R_1 + I \cdot \frac{1}{C}$$

$$\frac{dI}{dt} \cdot R_1 = -I \cdot \frac{1}{C}$$

Trennung der Variablen:

$$\frac{dI}{I} = - \frac{1}{R_1 \cdot C} \cdot dt$$

$$\tau = R_1 \cdot C$$

$$\int_{I_0}^{I(t)} \frac{dI}{I} = \int_{t=0}^t -\frac{1}{\tau} dt$$

$$\ln I \Big|_{I_0}^{I(t)} = -\frac{t}{\tau}$$

$$\ln \left(\frac{I(t)}{I_0} \right) = -\frac{t}{\tau}$$

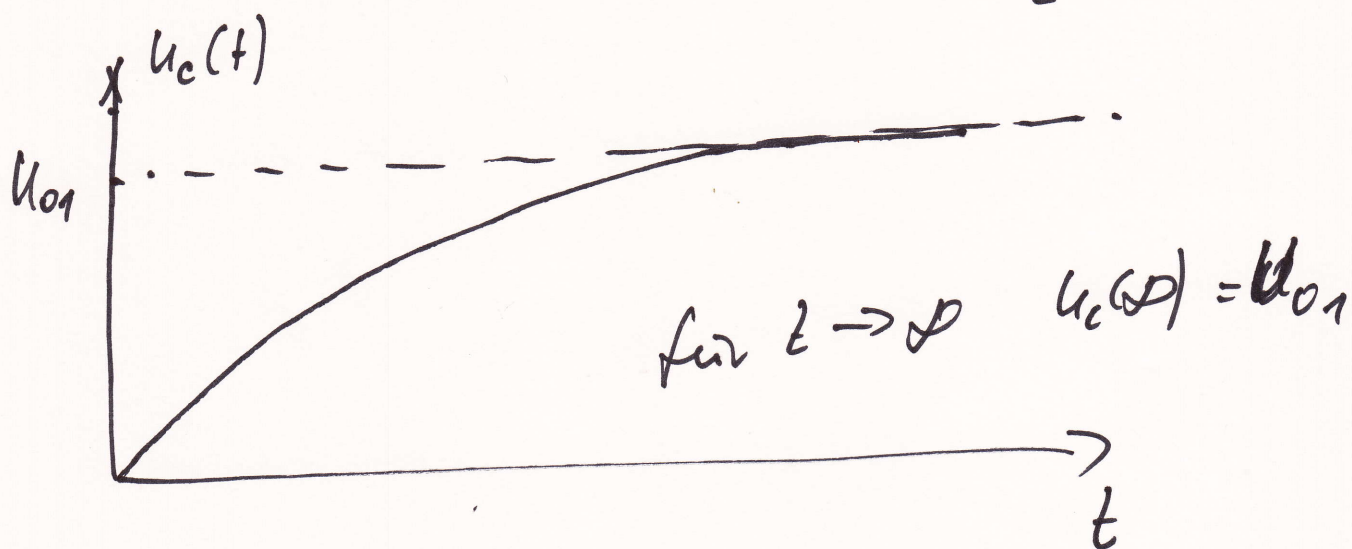
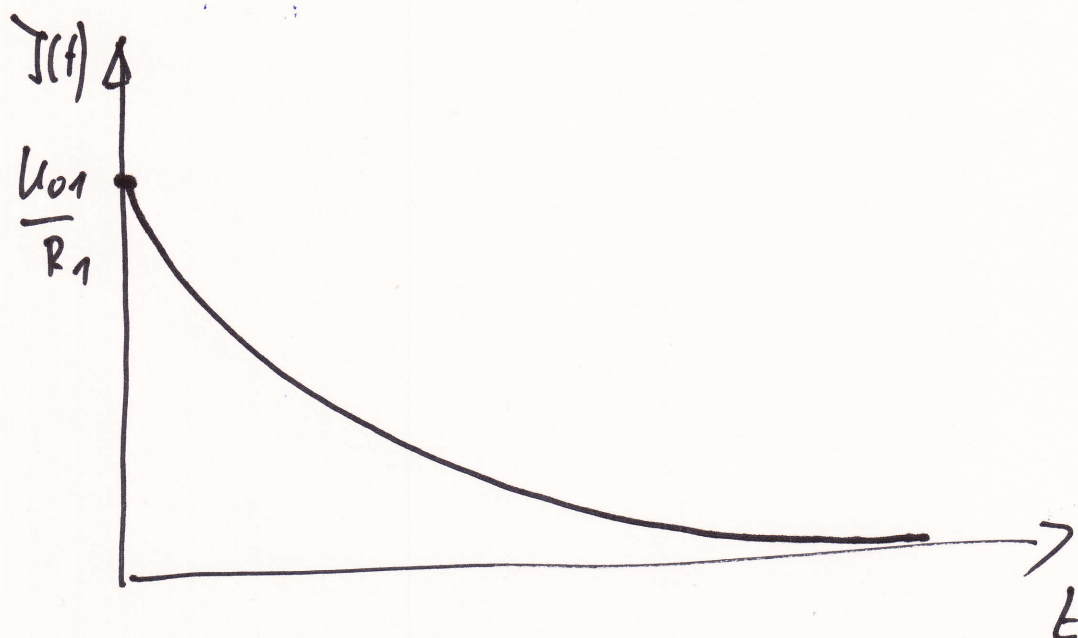
$$\frac{I(t)}{I_0} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

$$I(t) = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

• für $t=0 \Rightarrow U_C = 0$

$$I_0 = \frac{U_{01}}{R_1} \Rightarrow U_C = U_{01} - I \cdot R_1$$

• $U_C(t) = U_{01} \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right] \right)$



19. Das magnetische Feld der Dipole und Gleichströme

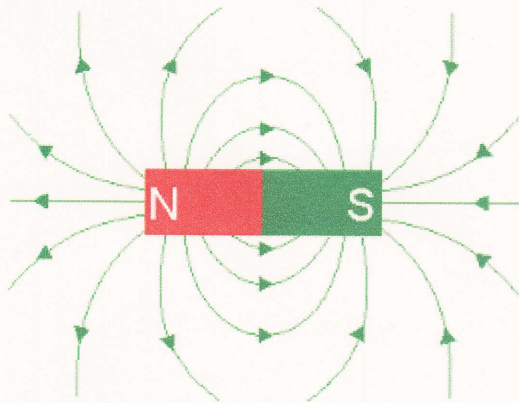
19.1. Permanentmagnete, magnetische Dipole

- griechisches Altertum
 - bestimmte Materialien ziehen Eisen an
 - Landschaft „Magnissia“
 - Permanentmagnete
 - Ausrichtung im Magnetfeld der Erde (Kraftwirkung)

- Verlauf der magnetischen Feldlinien

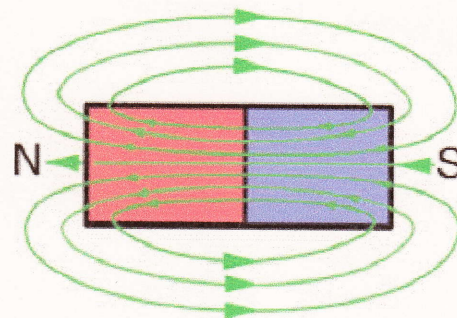
außerhalb des Materials

von Nord nach Süd



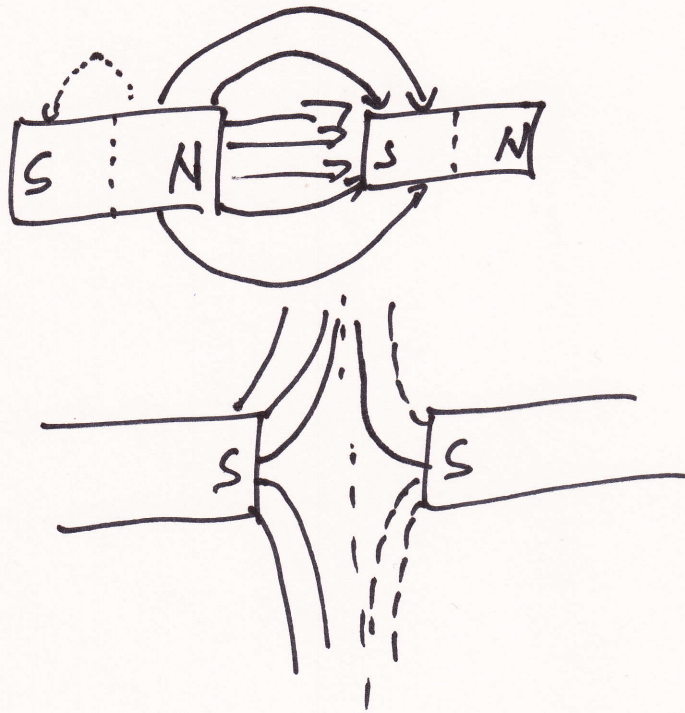
innerhalb des Materials

von Süd nach Nord



- die magnetischen Feldlinien enden nie, sie sind in sich geschlossen
- es gibt keine magnetischen Ladungen (Monopole)
 - immer magnetische Dipole
 - Nord- und Südpol treten immer paarweise auf

• Feldlinienverlauf



- magnetische Feldstärke
(Tangente an eine Feldlinie)

$$\vec{H}$$

$$[H] = 1 \frac{A}{m}$$

- magnetische Flussdichte

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

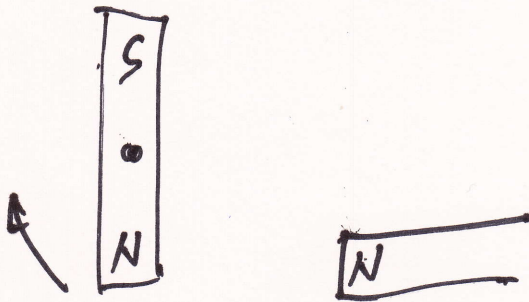
$$[B] = 1 \frac{Vs}{m^2} = 1 T$$

↑
Tesla

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

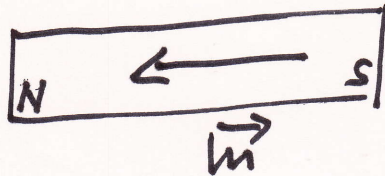
↑ magnetische Feldkonstante

- Kraftwirkung



$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- magnetisches Moment $\vec{m}$

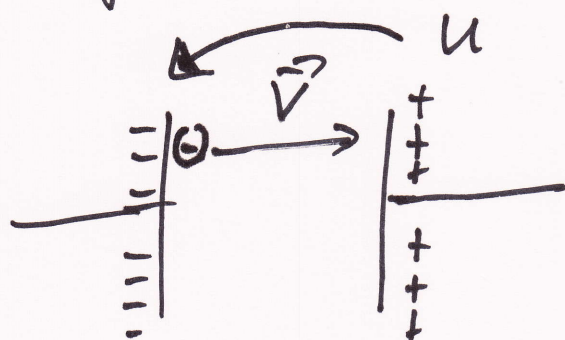


Drehmoment auf eine Magnetnadel

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

19.2. Kräfte des Magnetfeldes auf elektrische Ladungen

- Vergleich zum elektrostatischen Feld



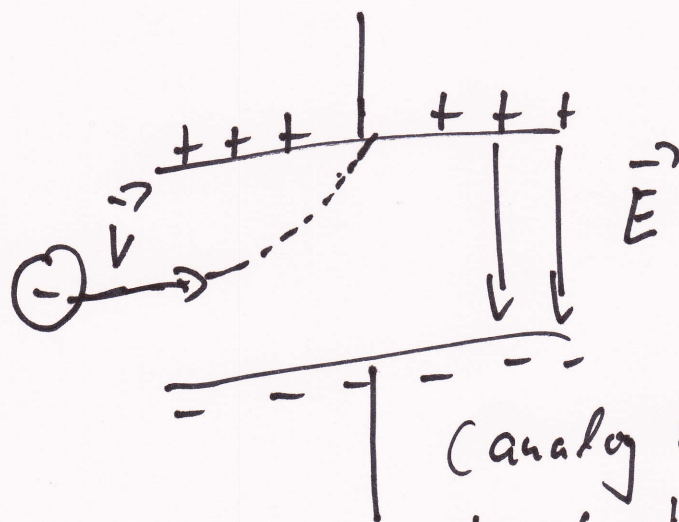
Bewegung parallel
zu den Feldlinien

Elektron durchläuft eine Potentialdifferenz

$$U \Rightarrow \Delta \text{Pot. Energie} = \Delta \text{kin. Energie}$$

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

- Bewegung quer zum elektrischen Feld



(analog zum horizontalen
Wurf, Wurfparabel)

- im Magnetfeld erfahren bewegte Ladungen eine Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = Q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

↑
Geschwindigkeit

$\vec{F}_L$ steht senkrecht auf der Ebene, die $\vec{v}$ und $\vec{B}$ aufspannen

$$|\vec{F}_L| = Q |\vec{v}| |\vec{B}| \cdot \sin \varphi(\vec{v}, \vec{B})$$

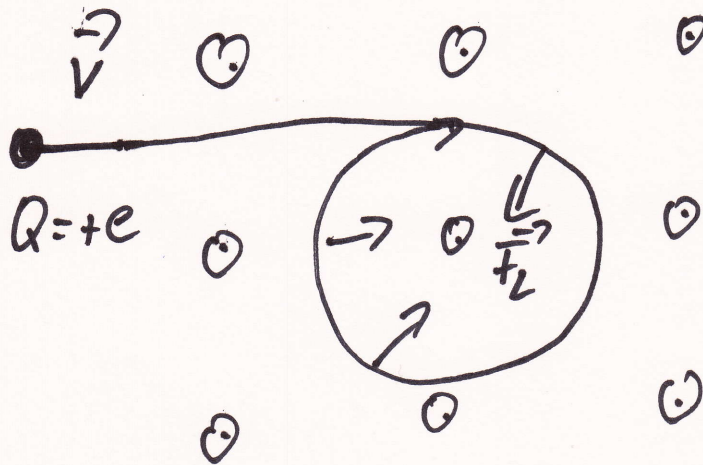
- Spezialfälle : a) $\vec{v} \parallel \vec{B}$

$$|\vec{F}_L| = 0$$

b.) $\vec{v} \perp \vec{B}$

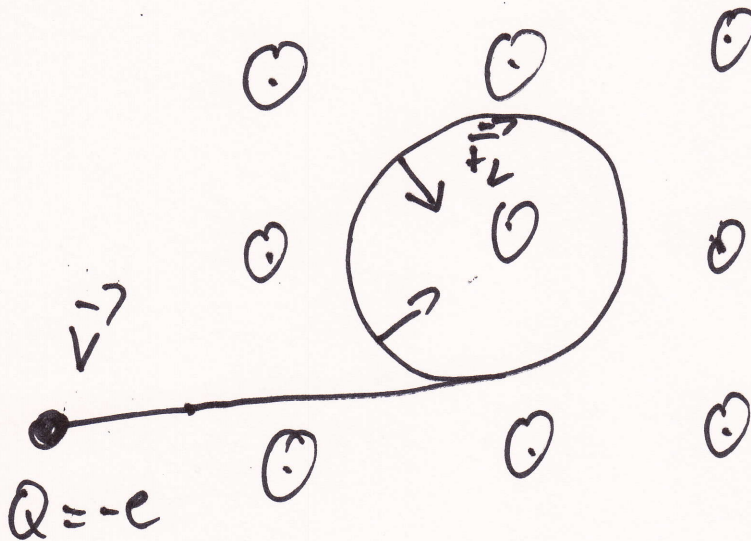
$|\vec{F}_L|$ wird maximal

- positive Ladungen



$\vec{B}$ zeigt
aus dem
Blatt heraus

- negative Ladungen



- Fadenstrahlrohr zur Bestimmung
der spezifischen Ladung des Elektrons

$$\frac{e}{m_e} \quad \leftarrow \quad \text{Elementarladung}$$

$$\quad \quad \quad \leftarrow \quad \text{Masse des Elektrons}$$

→ Einschleßen von Elektronen mit der
Geschwindigkeit $\vec{v}$ in ein konstantes
Magnetfeld $\vec{B}$, $\vec{v} \perp \vec{B}$

$$- \quad eU = \frac{m_e}{2} v^2$$

$$v_e^2 = \frac{2eU}{m_e}$$

(nach Durchlaufen
einer Beschleunigungs-
spannung

- im Magnetfeld $\rightarrow$ Lorentzkraft
 $\rightarrow$ Elektronen werden auf eine
Kreisbahn gezwungen.

$$|\text{Lorentzkraft}| = |\text{Radialkraft}|$$

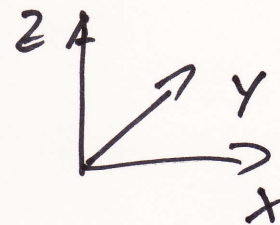
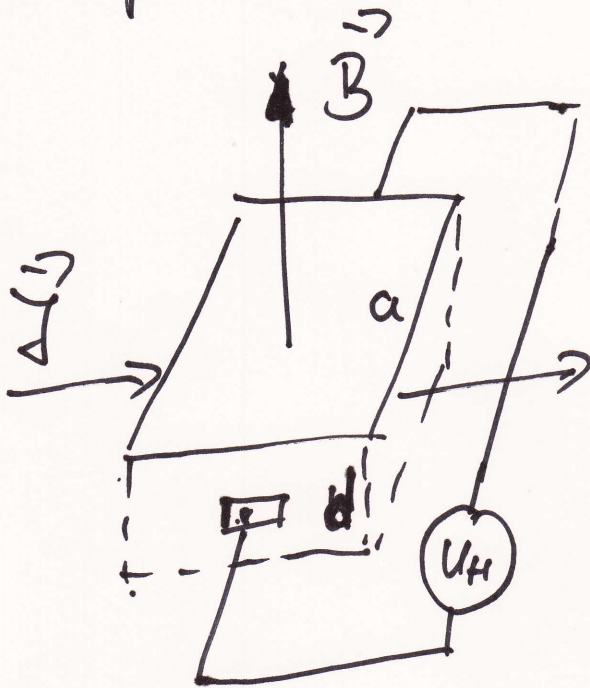
$$e \cdot v_e \cdot B = m_e \cdot \frac{v_e^2}{R}$$

R - Radius der
Kreisbahn

$$\boxed{\frac{e}{m_e} = \frac{2u}{R^2 \cdot B^2}}$$

u und B werden vorgegeben
 R wird gemessen

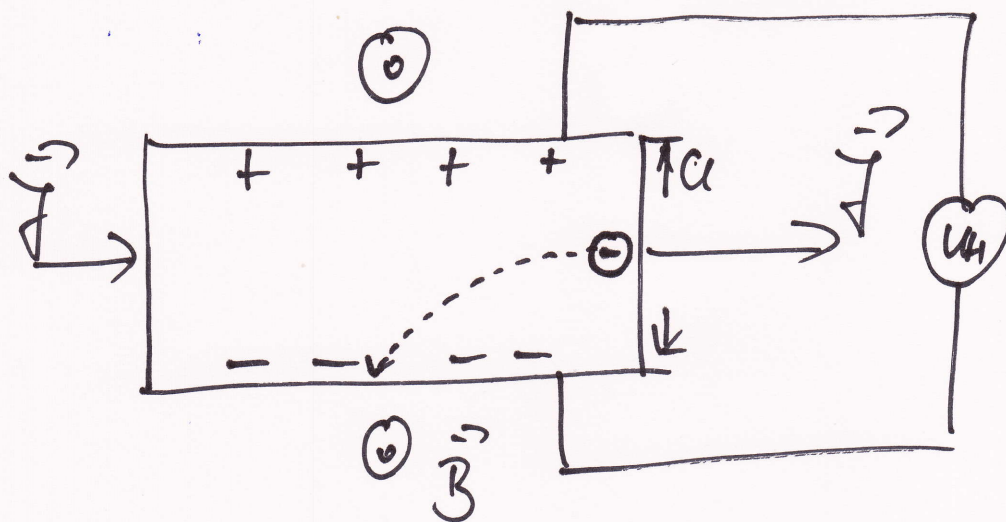
- Anwendung der Kraftwirkung im Halleffekt (klassisch)



$$\vec{B} = (0, 0, B_z)$$

- Auf treten einer Querspannung = Hallspannung
 U_H senkrecht zu $\vec{B}$ und $\vec{J}$

$$\vec{J} = \underbrace{\rho_{ee}(\vec{r})}_{\substack{\text{Teilchen} \\ \text{Volumen}}} \cdot \vec{V} = \frac{n \cdot q}{4} \cdot \vec{V}$$



⇒ Hallspannung und Hall-Feldstärke

$$E_y = \frac{U_H}{a}$$

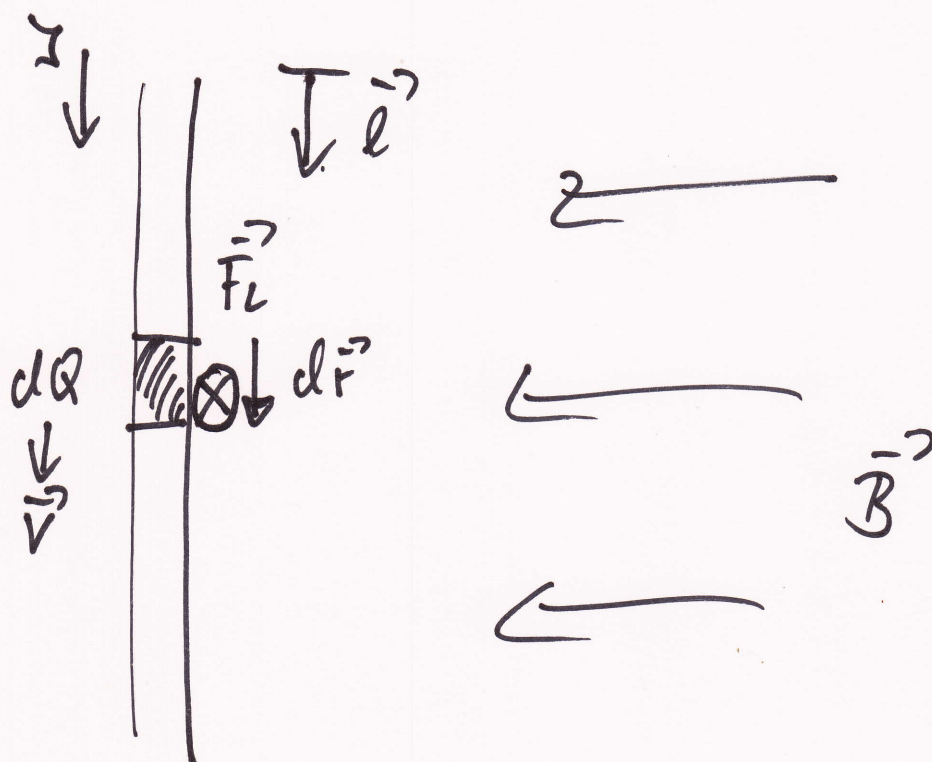
- es baut sich ein Querfeld auf
- im stationären Fall

$$q(\vec{E}_H + \vec{v} \times \vec{B}) = 0$$

$$U_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot e \cdot d}$$

$$\text{Hallwiderstand: } R_H = \frac{U_H}{I} = \frac{B}{n \cdot e \cdot d}$$

19.3. Kräfte des Magnetfeldes auf stromdurchflossene Leiter



$$d\vec{F}_L = dQ \cdot [\vec{v} \times \vec{B}] \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$= \frac{dQ}{dt} \cdot [d\vec{r} + \vec{B}]$$

$$d\vec{F}_L = I [d\vec{r} + \vec{B}]$$

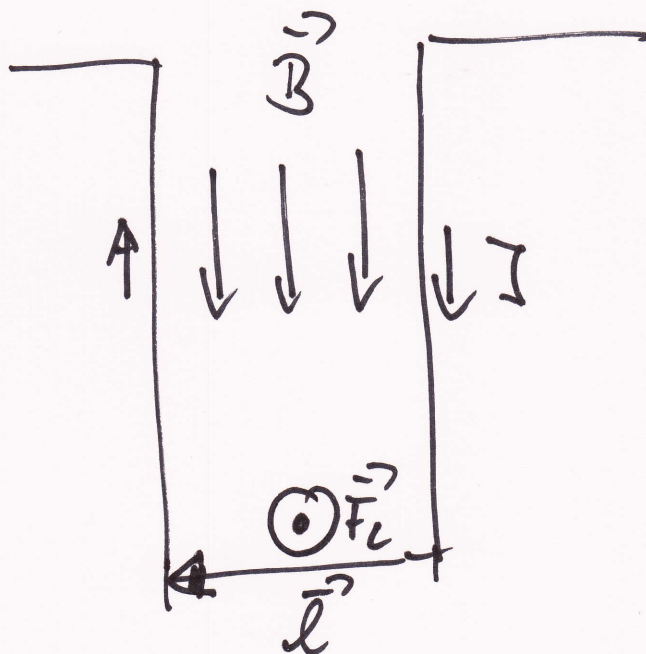
die gesamte Kraft auf den Leiter

$$\int_0^{\vec{l}} d\vec{F}_L = \int_0^{\vec{l}} I [d\vec{r} \times \vec{B}]$$

$$\vec{F}_{L, \text{gesamt}} = I \cdot [\vec{l} \times \vec{B}]$$

$\vec{l}$ in Richtung von I

• Lorentz - Schalter



Lorentz-Schaukel

