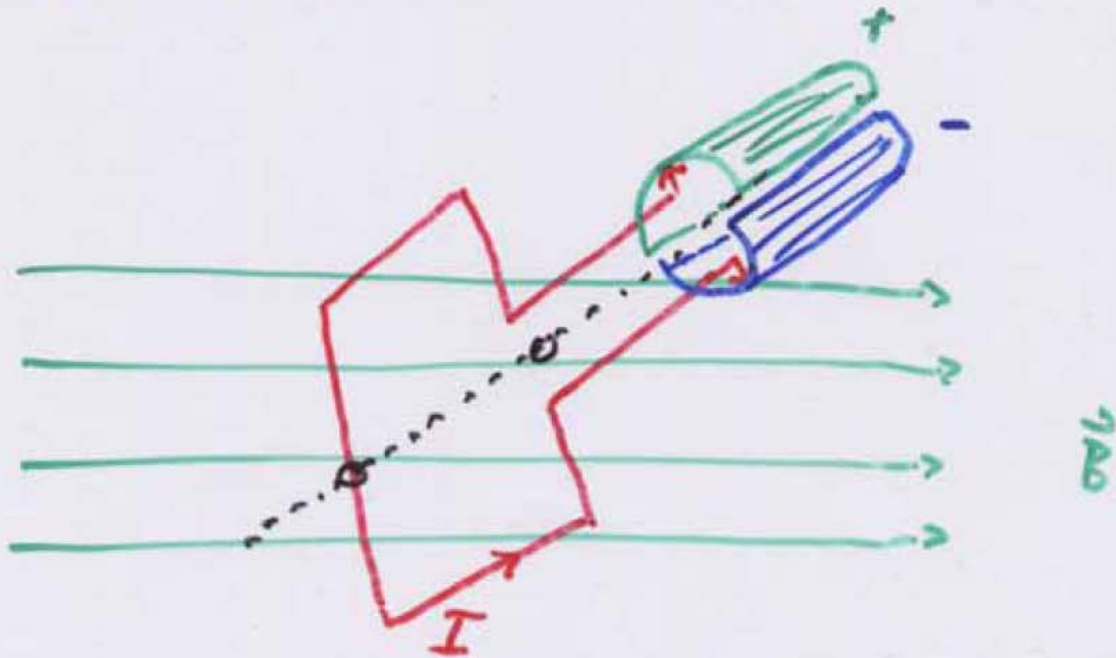


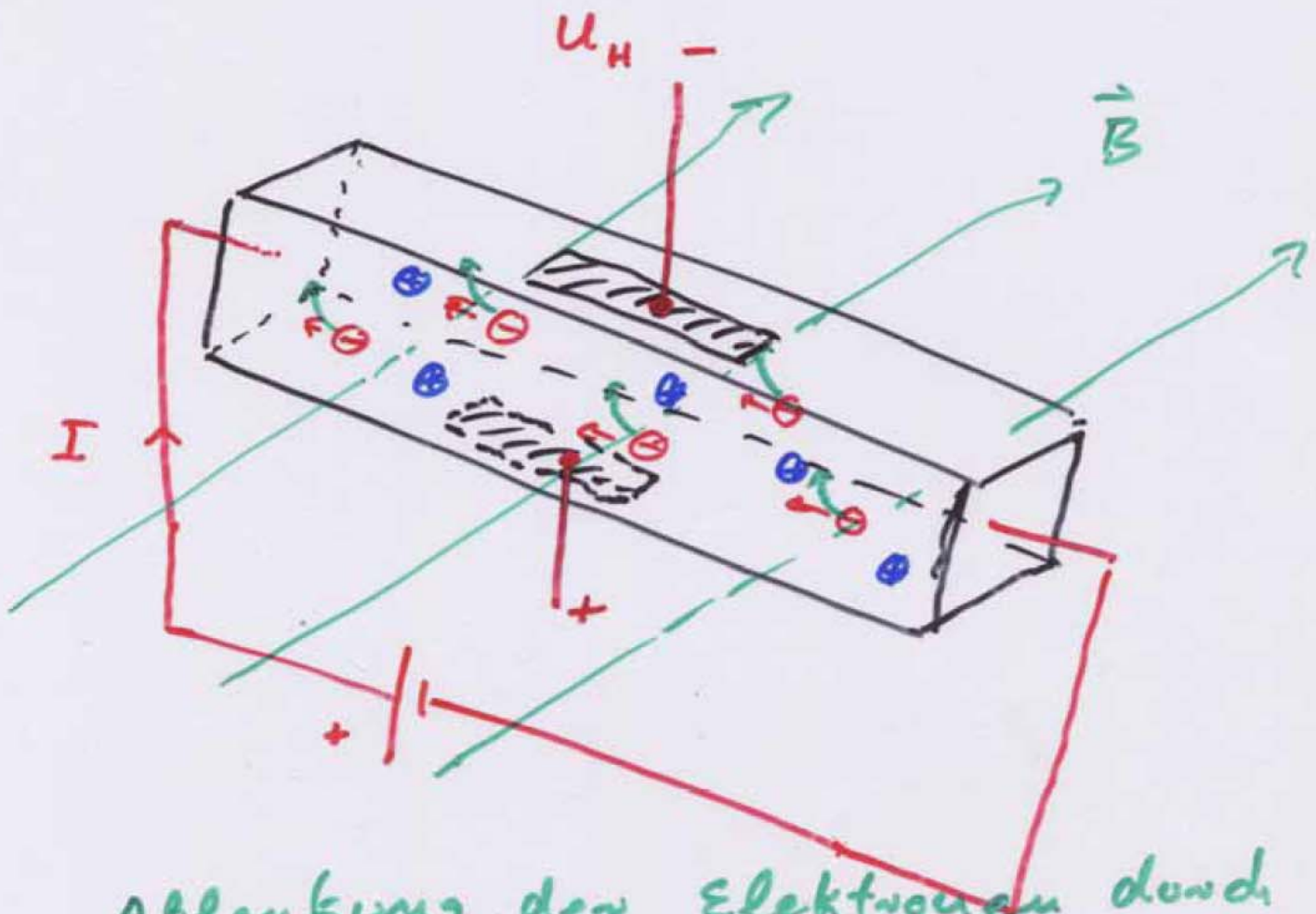
b) Elektromotor



Schleifkontakt so angeordnet, dass Strom nach $\frac{1}{2}$ Drehung Richtung ändert
 \Rightarrow Drehmoment wirkt immer in dieselbe Richtung.

4.1.3 Hall - Effekt

Trennung von Ladungen verschiedener Polarität im stromdurchflossenen Material im Magnetfeld.



Ablenkung der Elektronen durch $\vec{v}_D \times \vec{B}$ nach oben, Positive Ladungen bleiben fest $\Rightarrow U_H$

$$U_H = b \cdot v_D \cdot B \quad \text{Hallspannung}$$

Ladungstrennung so lange, bis es ein Gleichgewicht gibt:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{e^-} &= -e \vec{v}_D \times \vec{B} \\ \vec{F}_{ion} &= +e \cdot \vec{E} \end{aligned} \quad \curvearrowright$$

Messungen:

i) Magnetfelder:
$$B = \frac{U_H}{v_D \cdot b}$$

ii) Ladungsträgerdichte:

$$I = \underbrace{n \cdot q}_{\substack{\text{Ladung} \\ \text{Volumen}}} \cdot \underbrace{v_D \cdot A}_{\substack{\text{Volumen} \\ \text{zeit}}}$$

$$n = \frac{I}{A \cdot v_D \cdot e} = \frac{I}{b \cdot d \cdot v_D \cdot e}$$

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

iii) Materialeigenschaften

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

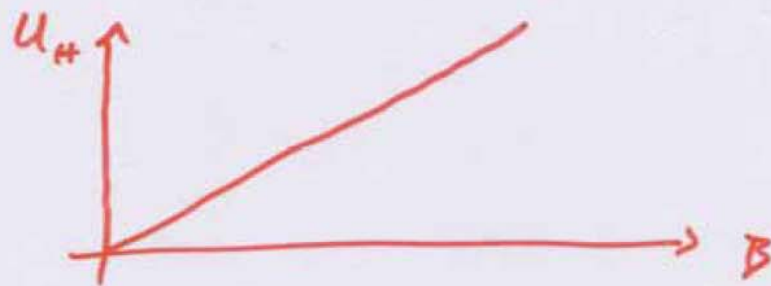
↑
Hallkonstante

$$R_H = \frac{U_H}{I} = A_H \cdot \frac{B}{d}$$

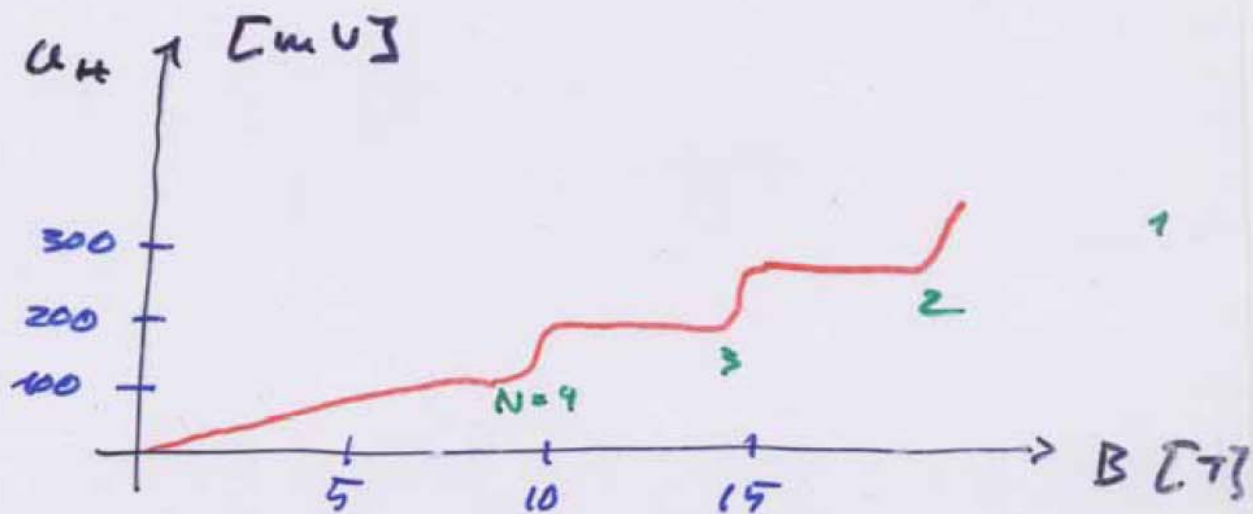
Hall - Widerstand

(v) Sonderfall: Quanten-Hall-Effekt

Erwarte $U_H \propto B$



Bei sehr tiefen Temperaturen im Halbleiter



Spannung wächst in Sprüngen

$$R_H = \frac{U_H}{I} = \frac{R_K}{N}, \quad N = 1, 2, \dots$$

$$= \frac{h}{e^2} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}$$

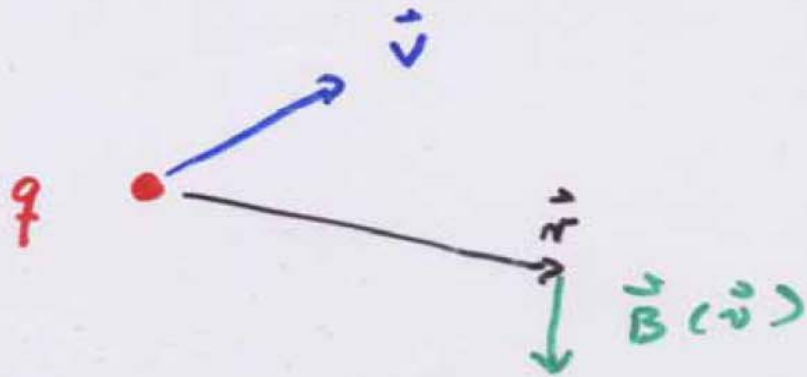
$$= \underline{\underline{25815 \Omega}}$$

R_H = v. Klitzing - Konstante

4.1.4 Magnetfeld von bewegten Ladungen

$$\vec{B} = \frac{1}{c^2} \vec{v} \times \vec{E}$$

Für Punktladung:



$$\begin{aligned}\vec{B} &= \frac{1}{c^2} \vec{v} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \cdot \vec{e}_r \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \cdot \frac{q \cdot \vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3}\end{aligned}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$$

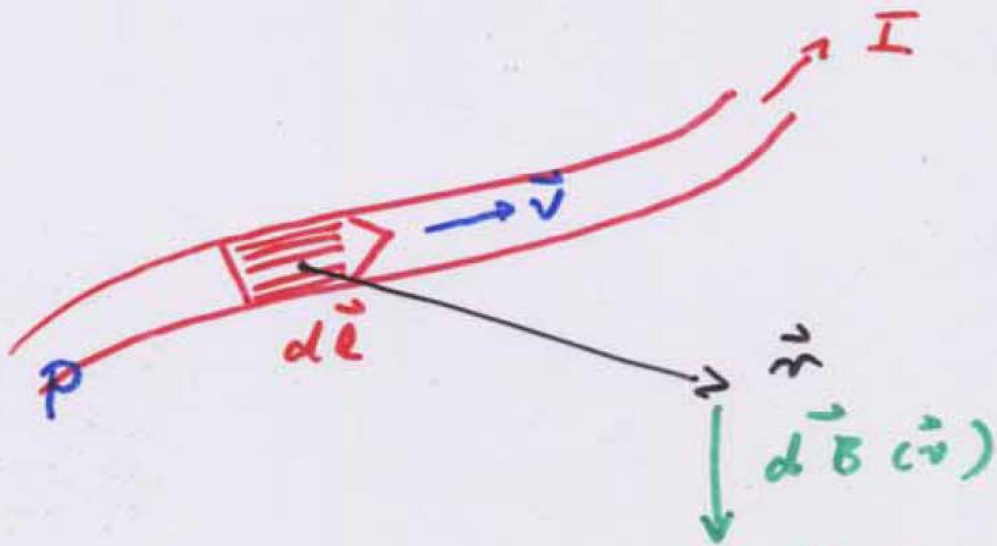
Magnet.
Feldkonstante

$$\underline{\mu_0 \cdot \epsilon_0 = c^{-2}}$$

4.1.5 Das Gesetz von Biot und Savart

mit $q \cdot \vec{v} = I \cdot d\vec{l}$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$



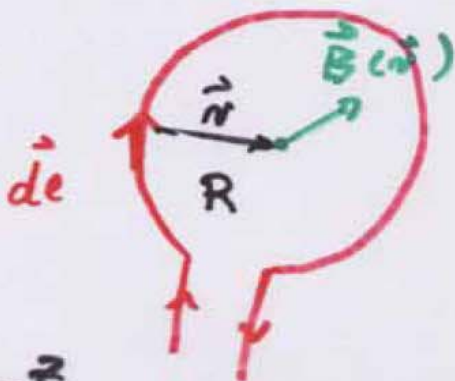
$$\vec{B}(\vec{r}) = \int_P \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Biot-Savart

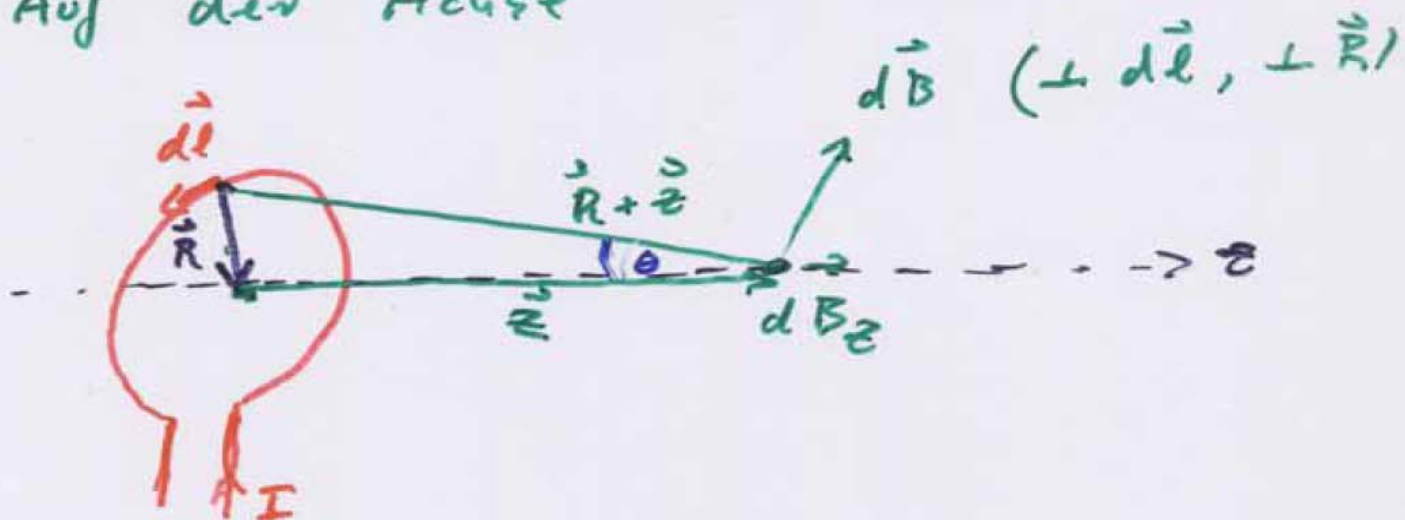
Beispiel: 1. Magnetfeld einer Leiterschleife

a) Im Zentrum:

$$\begin{aligned} \vec{B}_3 &= \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} dl \\ &= \mu_0 \cdot \frac{I}{2R} \end{aligned}$$



b) Auf der Achse



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I d\vec{l} \times \frac{\vec{R}}{R^3}$$

$$\vec{B}(\vec{R}) = \mu_0 \frac{I}{2R} \vec{e}_z$$

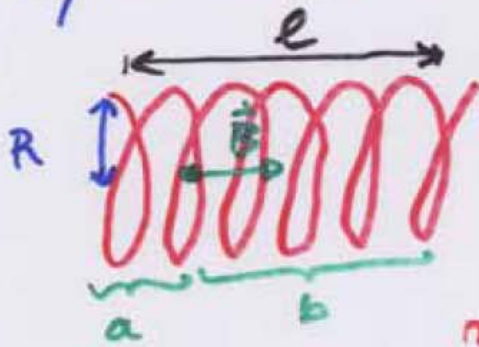
$$d\vec{B}(\vec{R} + \vec{z}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \times (\vec{R} + \vec{z})}{|\vec{R} + \vec{z}|^3}$$

$$dB_z = dB \cdot \sin\theta$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dl}{|\vec{R} + \vec{z}|^2} \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + z^2}}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl R}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

2. Zylinder-spule



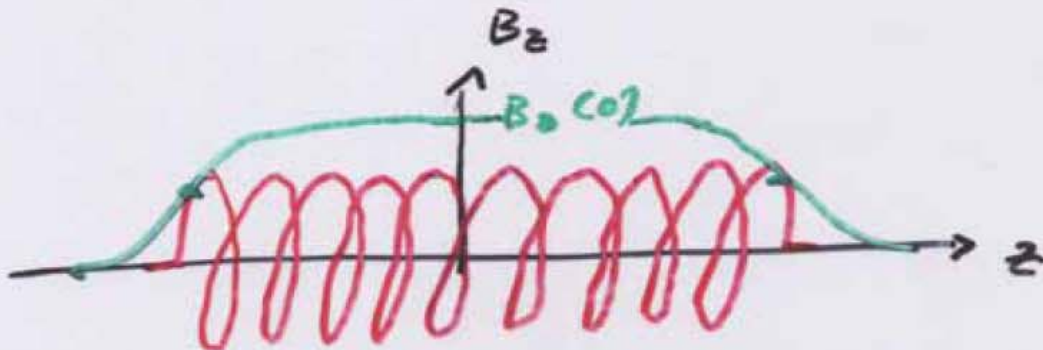
$$n = \frac{N}{l}$$

$$B_z = \frac{1}{2} \mu_0 n \cdot I \left(\frac{b}{\sqrt{b^2 + R^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}} \right)$$

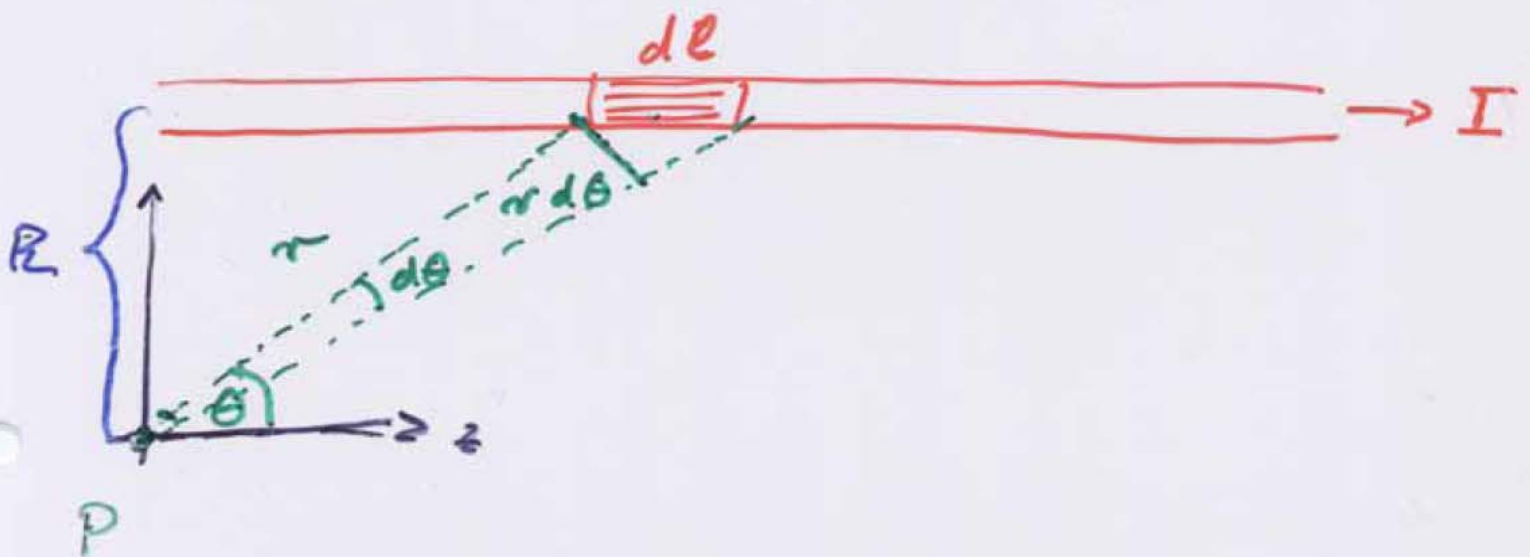
Sonderfall: sehr lange Spule ($l \gg R$)

$$\begin{aligned} \text{a) } B_z(z=0) &= \frac{1}{2} \mu_0 \cdot n \cdot I \left(\frac{b}{b} + \frac{a}{a} \right) \\ &= \mu_0 \cdot I \cdot n = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{l} \end{aligned}$$

$$\text{b) } B_z(z = -\frac{l}{2}) = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{l} = \frac{1}{2} B_z(z=0)$$



3. Unendlich langer gerader Leiter



$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{dl \sin \theta}{r^2}$$

$$\sin \theta = \frac{R}{r}$$

$$\Rightarrow dl = \frac{r^2}{R} d\theta$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{\sin \theta d\theta}{R}$$

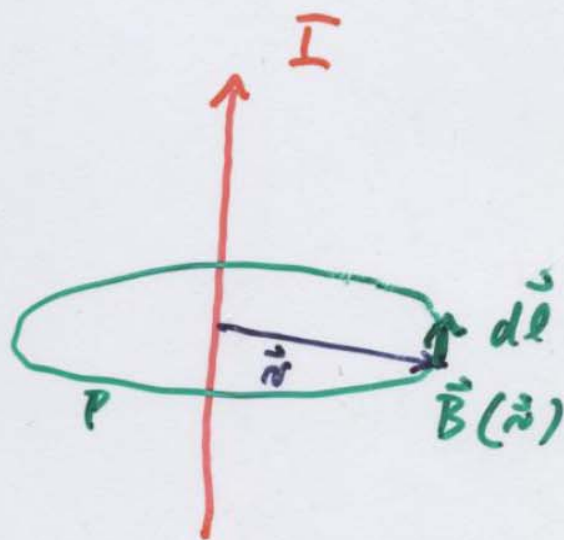
$$B = \int_0^{\pi} \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cdot \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

4.1.5 Das Ampèresche Gesetz

Basiert auf Beobachtungen (~ 1820)

$$\oint_P \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \cdot I$$

↑
"Quelle"



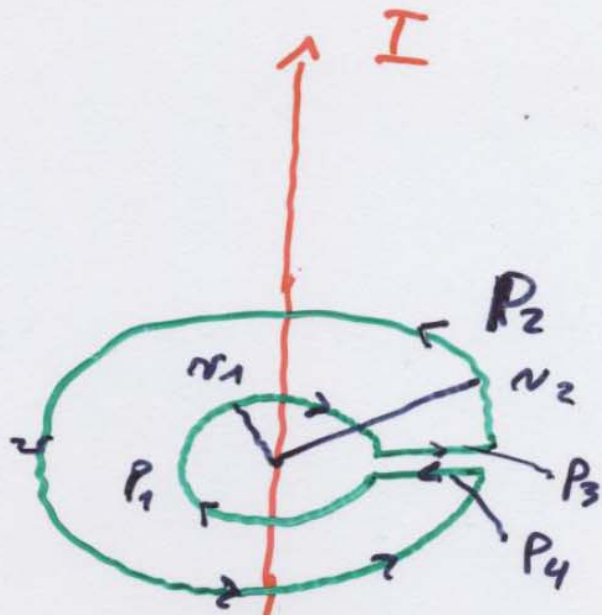
$$\left\{ \oint_0 \vec{E} d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \right\}$$

Bs: ∞ langer Draht: $\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{e}_\phi$

$$\oint_P \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \oint_P dl = \mu_0 I$$

Pfad geschlossen
um Leiter

Falls P Strom
nicht umschließt



$$\oint_P \vec{B} d\vec{l}$$

$$= \int_{P_1} \vec{B}(r_1) d\vec{l} + \int_{P_2} \vec{B}(r_2) d\vec{l}$$

$$+ \underbrace{\int_{P_3} \vec{B} d\vec{l} + \int_{P_4} \vec{B} d\vec{l}}_0$$

$$= B(r_1) \cdot 2\pi r_1 - B(r_2) \cdot 2\pi r_2$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} 2\pi r_1 - \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} 2\pi r_2$$

$$= 0$$