

3.2.2.2 a.) Magnetfeld

- Elektr. Strom \Rightarrow **Kraft auf bewegte Ladungen**
- „**Magnetfeld**“
- „**magnetische Induktion**“, magn. Flussdichte: \vec{B} [$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$]
(magn. Feldstärke, magn. Erregung: \vec{H})

... aus relativistischer Kraftberechnung bzw. Experiment

- langer stromdurchfl. Draht:

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

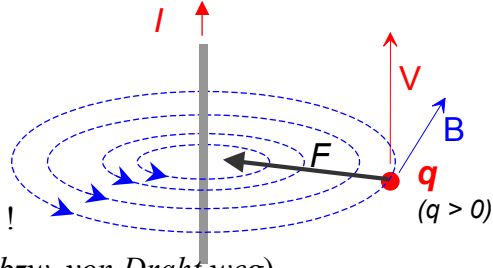
- Richtung von \vec{B} :

- Kraft ergibt sich aus \vec{v} u. \vec{B} !

- Kraft $\perp \vec{v}$, zum Draht hin (bzw. von Draht weg)

$$\Rightarrow \vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) ; \vec{B}: \text{tangential,}$$

kreisf. Feldlinien um den Draht herum



Magnetfeld -Berechnung

- langer, gerader stromdurchfl. Draht: $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

$$\text{Bsp.: } 1000 \text{ A, } r = 5 \text{ cm; } B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000}{2\pi \cdot 0.05} \frac{\text{Vs} \cdot \text{A}}{\text{Am} \cdot \text{m}} = 0.004 \text{ T}$$

zum Vergleich:

- Erdmagnetfeld (am Äquator) $\approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
- Kernspintomograph (supral. Spule) 1.5 T

Durchflutungsgesetz (vergl. E-Feld, Gauß'scher Satz!)

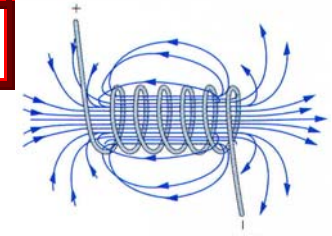
- Draht, Zylindersymmetrie: $B(r) \cdot 2\pi r = \mu_0 I$

- allg.: geschlossene Kurve, eingeschlossener Strom I

Magnetfeld integriert über geschl Kurve: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$

Magnetfeld -Berechnung

im Vakuum/Luft bzw. in Materialien mit $\mu_r = 1$



E-Feld

B-Feld

Feld einer „elementaren Quelle“ :

Punktladung

kurzes stromdurchfl. Element

Superposition

(Feld infinitesimaler Quellen überlagern)

Integral über Ladungsvertlg.

Biot-Savart'sches Gesetz

Ausnutzung der Symmetrie:

Gauß'scher Satz

Durchflutungsgesetz

Potentialdarstellung des Feldes, Lsg. der Poissongl.

Elektr. Potential: $\Delta\varphi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$

„Vektorpotential“ $\Delta\vec{A} = -\mu_0 \vec{J}$

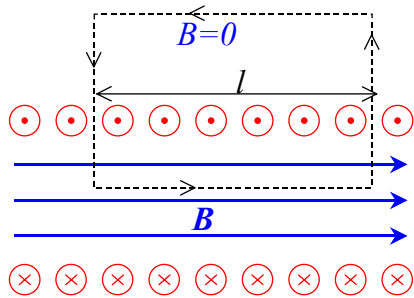
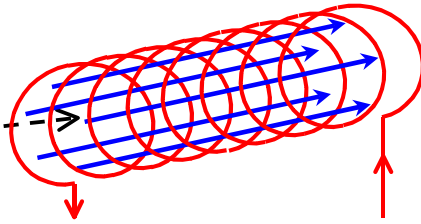
Magnetfeld - Berechnung

1. Amperesches Durchflutungsgesetz: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$

➤ **Lange Zylinderspule** (N Windungen pro Länge l)
außen: $B \approx 0$

innen:

homogenes Feld B

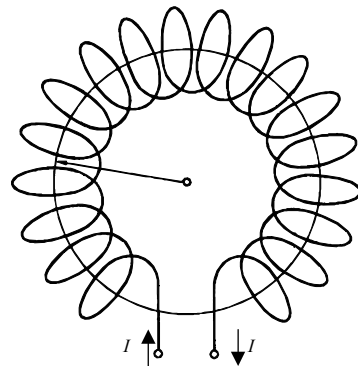


$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \underbrace{B \cdot l}_{\text{innen}} + \underbrace{0 + 0 + 0}_{\text{links/rechts/außen}} = \mu_0 N \cdot I \Rightarrow B = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot I$$

➤ **Ringspule** (N Windungen)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B(r) \cdot 2\pi r = \mu_0 N \cdot I$$

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



Magnetfeld - Berechnung

2. Biot-Savart'sches Gesetz

Vergleich mit E-Feld :

Linienquelle – 2d-Feldverteilg. $\sim \frac{1}{2\pi r}$	punktf. Quelle – 3d-Feldverteilg. $\sim \frac{1}{4\pi r^2}$
E-Feld „Linienladung“ $\lambda = \frac{Q}{l}$ $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{\lambda}{2\pi r}$	E-Feld „Ladungselement“ dQ $d\vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{dQ}{4\pi \vec{r} ^2} \cdot \vec{e}_r$ Richtung: radial , $\vec{E} \parallel \vec{e}_r$
B-Feld langer Draht $B(r) = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$	B-Feld Strom in Elem. $d\vec{s}$ $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \vec{e}_r}{ \vec{r} ^2}$ Richtung: tangential , $\vec{B} \perp \vec{e}_r$ (und: $\vec{B} \perp$ Drahtrichtung, $\vec{B} \perp d\vec{s}$)

Biot-Savart'sches Gesetz:

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{|\vec{r}|^2} \sin \varphi ds \Rightarrow \vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I(d\vec{s} \times \vec{e}_r)}{|\vec{r}|^2}$$