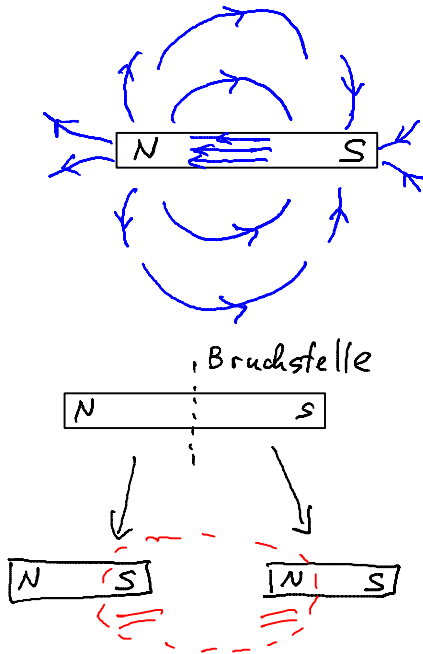




Permanentmagnet

N, S - magnetische Pole
 N - magnetische Nordpol
 S - —•— Südpol

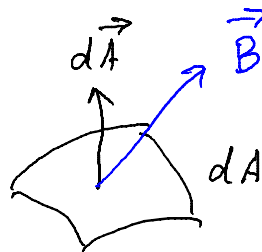
Feldlinien immer geschlossen sind!

$\vec{B}$ - magnetische Feldstärke
 (magnetische Kraftdichte)

$$[B] = 1 \text{ Tesla} = 1 \text{ T} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

magnetische Kraftfluss

$$\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$



ähnlich z. elektrische
 Kraftfluss

$$\Phi_{el} = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Supraleiter. Magnet $\sim 20 \text{ T}$

hybride Magnet: bis $\sim 35 \text{ T}$

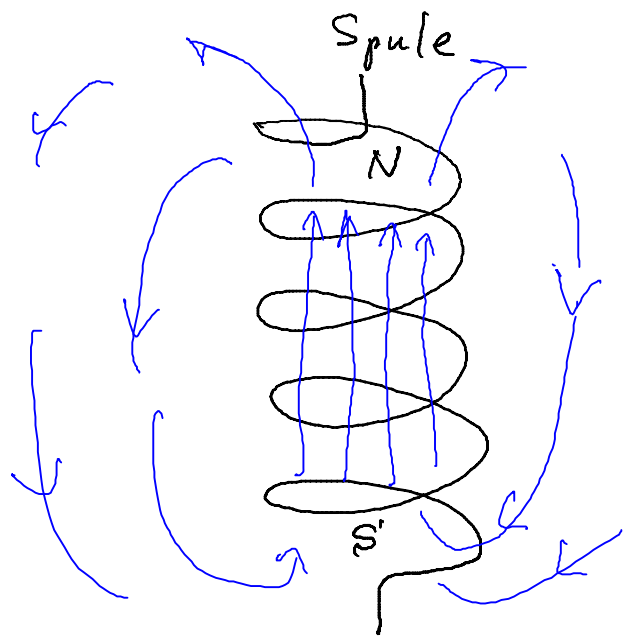
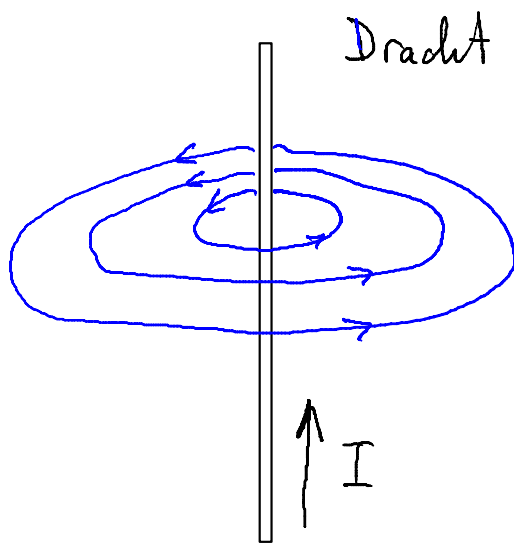
$$10^{-3} \text{ T} = 1 \text{ mT}$$

$$10^{-6} \text{ T} = 1 \mu\text{T}$$

$$1 \text{ Gauss} \equiv 1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$$

Erdmagnetfeld : $\sim 0.5 \text{ G}$

Magnetfelder stationärer Ströme

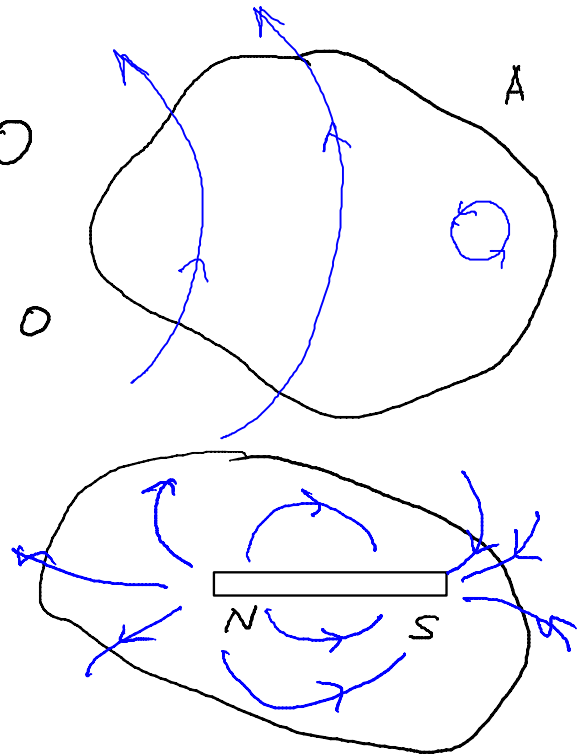


$$\Phi_m = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int \operatorname{div} \vec{B} dV = 0$$

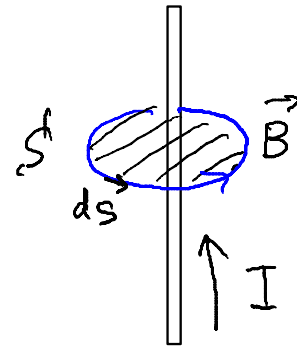
$$\boxed{\operatorname{div} \vec{B} = 0}$$

z.B. $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \neq 0$



Ampèresche Gesetz

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$



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

magnetische Induktionskonstante

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

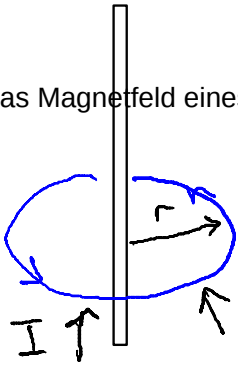
aus Stokeschen Satz

$$\mu_0 \int \vec{j} \cdot d\vec{A} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int \operatorname{rot} \vec{B} d\vec{A}$$

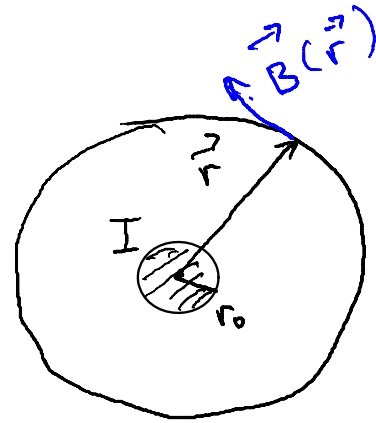
$$\boxed{\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}}$$

! für Elektrisches Feld $\operatorname{rot} \vec{E} = 0$!

Das Magnetfeld eines geraden Stromleiters



$$|\vec{B}(\vec{r})| = \text{const}$$



mit Polar Koordinaten

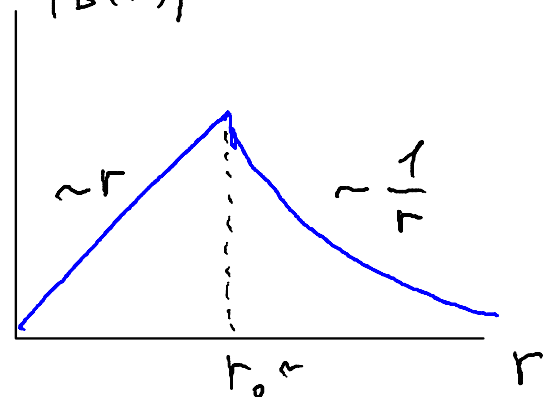
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_0^{2\pi} r B d\varphi = 2\pi r B(r) = \mu_0 I$$

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

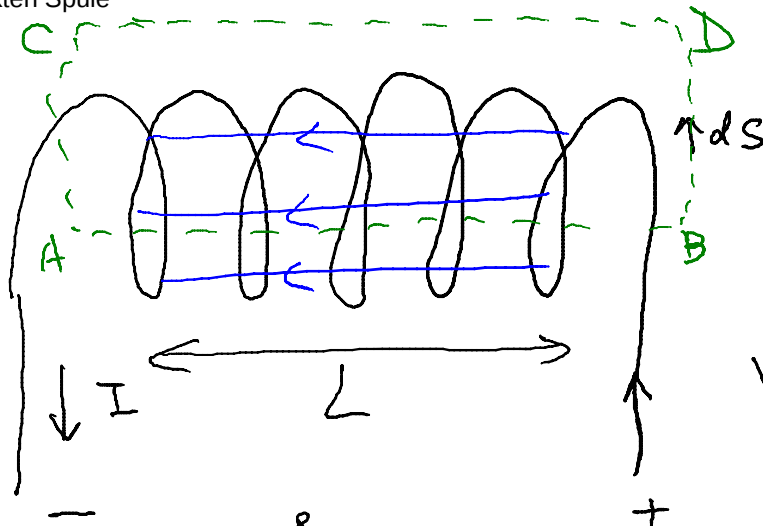
Für $r < r_0 \Rightarrow I' = \pi r^2 j$

$$2\pi r B(r) = \mu_0 \pi r^2 j$$

$$B'(r) \Big|_{r < r_0} = \frac{1}{2} \mu_0 j r = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0^2} r$$



Magnetfeld im Inneren
einer lang gestreckten Spule



N_0
Windungen

$$n = \frac{N_0}{L}$$

$$\oint_{ABDC} \vec{B} \cdot d\vec{s} \approx \int_A^B \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \cdot L = N_0 \cdot N_0 I$$

$$B = \mu_0 n I$$

ist homogen, unabhängig vom Ort

Das Vektorpotential

z.B. elektrostatische potential $\phi(\vec{r})$

$$\vec{E}(\vec{r}) = - \text{grad } \phi(\vec{r})$$

$$\boxed{\vec{B} = \text{rot } \vec{A}}$$

$\vec{A}$ ist Vektorpotential

$$\text{div } \vec{B} = 0 = \nabla \cdot (\nabla \times \vec{A}) = 0$$

$$\vec{A}' = \vec{A} + \text{grad } f$$

$\uparrow$ beliebige skalare Ortsfunktion $f(\vec{r})$

$$\text{rot grad } f = 0$$

Zu satsbedingung (Eichbedingung $\equiv$ Calibration gauge)

Coulomb-Eichung

$$\boxed{\text{div } \vec{A} = 0}$$

def: $\text{rot } \vec{A} = \vec{B}$; zus. $\text{div } \vec{A} = 0$

Das magnetische Feld einer beliebigen Stromverteilung

$$\vec{j}(\vec{r}) \longrightarrow \vec{A}(\vec{r})$$

$$\text{rot } \vec{A} = \vec{B} \longrightarrow \nabla \times \vec{A} = \vec{B}$$

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$

$$\downarrow$$

$$\text{grad } \underbrace{\frac{\text{div } \vec{A}}{0}} - \underbrace{\text{div grad } \vec{A}}_{\Delta \vec{A}}$$

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{j}$$

in Komponenten

$$\Delta A_i = -\mu_0 j_i$$

$$i = x, y, z$$

$$\vec{A}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}_2) dV_2}{r_{12}}$$

$$r_{12} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$$

