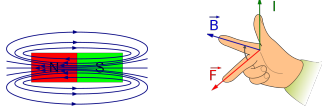


- Stromquellen → Leerlauf

4 Magnetostatik

- **Magnetfeld:** Feldlinien von N nach S (innen S → N) Magnetfelder sind immer geschlossen.



- **Mag. Flussdichte eines Leiters:** $\vec{B} = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{\rho}$, $[T] = [\frac{Vs}{m^2}]$
 ρ Abstand zum Leiter
- **Mag. Feldstärke eines Leiters:** $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} = \frac{1}{2\pi} \frac{I}{\rho} \vec{e}_\phi$, $[H] = \frac{A}{m}$
- **Lorenzkraft (1-180):** $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = \vec{I} \times \vec{B}$
- **F auf Ladung (1-183):** $\vec{F}_L = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ $\vec{F} = Q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Analogie: Elektrisch, Magnetisch (1-209)

Größe	Elektrisch	Magnetisch
Leitfähigkeit	κ	μ
Widerstand	$R = \frac{1}{\kappa A}$	$R_m = \frac{1}{\mu A}$
Spannung	$U_{12} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$	$V_{m12} = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{H} \cdot d\vec{s}$
Strom/Fluss	$I = \iint_A \vec{J} \cdot d\vec{A}$ $= \iint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$	$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$ $= \mu \iint_A \vec{H} \cdot d\vec{A}$
Ohm. Gesetz	$U = R \cdot I$	$V_m = R_m \cdot \Phi$
Maschengl.	$U_0 = \sum_{\text{Masche}} RI$	$\Theta = \sum_{\text{Masche}} R_m \Phi$
Knotengl.	$\sum_{\text{Knoten}} I = 0$	$\sum_{\text{Knoten}} \Phi = 0$

Feldgrößen	Elektrisch	Magnetisch
Intensität/Wirkung (Kraft)	\vec{E}	$\vec{B} = \mu \vec{H}$
Quantität/Ursache (Ladung)	$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$	\vec{H}

4.1 Oersted'sches Gesetz (Durchfl.satz) (1-187)

$$NI = \iint_A \vec{J} \cdot d\vec{A} = \Theta = \oint_{\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum_k H_k l_k$$

Θ Durchflutung, N Windungszahl
Prinzip gilt insbesondere für N = 1, sprich Einzel-Leiter

4.2 Verschiedene magnetische Komponenten

- ∞-langer Leiter (1-189):

$$H(\rho) = \vec{e}_\phi \frac{I}{2\pi} \left\{ \begin{array}{l} \rho/R^2 \quad \rho \leq R \\ 1/\rho \quad \rho \geq R \end{array} \right.$$

- **Toroidspule (1-190):**

$$NI = \Theta = \int_0^{2\pi} \vec{e}_\phi H_\phi \rho d\phi = 2\pi \rho H_\phi(\rho) \rightarrow \vec{H} = \frac{NI}{2\pi \rho} \vec{e}_\phi$$

- **Reluktanzmodell:** $H = \frac{NI}{l} \vec{e}_l \rightarrow B = \mu \frac{NI}{l} \vec{e}_l$

- **Spannung über Spule:** Wenn sich die Spule bewegt, gilt nach dem Induktionsgesetz: $U_L = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$. Dies vereinfacht sich zu: $U_L = l_L \cdot B \cdot v$ mit l_L : Leiterlänge im B-Feld, v: Geschwindigkeit mit der sich die Spule über den Kern bewegt.

4.3 Reluktanzmodell (1-206)

- **Magn. Spannung:** $V_m = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \Theta = NI$ $[\Theta] = A$
- **Magn. Strom:** $\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$, $[\Phi] = Vs = Wb$ (Weber)
- **Magn. Widerstand:** $R_m = \frac{l}{\mu A}$, $[R_m] = \frac{1}{H} = \frac{Vs}{A}$

- **Magnetische spezifische Leitfähigkeit:** μ

- **Magnetischer Leitwert:** $\Lambda_m = \frac{1}{R_m}$, $[\Lambda_m] = \frac{Vs}{A}$

- **Ohm'sches Gesetz:** $V_m = R_m \Phi$, $[V_m] = A$

4.4 Magnetische Polarisation (1-199)

Magnetische Polarisation: $\vec{J}_m = \mu_0 \mu_r \vec{H} - \mu_0 \vec{H}$
Magnetisierung: $\vec{M} = \mu_0 \vec{H} - \vec{H}$

- **Diamagnetismus:** Materialien, die das B-Feld schwächen, $\mu_r < 1$

- **Paramagnetismus:** Materialien, die das B-Feld leicht stärken, $\mu_r > 1$

Ferromagnetismus:

Neben die Hysteresekurve eines Ferrit Materials
Remanenz: oberer Schnittpunkt mit y-Achse, $\mu_r \gg 1$, μ_r nicht konstant

Dauermagnete: Ferromagnetische Stoffe im Remanenzstand.

4.5 Sprungstellen bei Materialübergängen (1-205)

- **Normalkomponenten:** $B_{n1} = B_{n2}$, $\frac{H_{t1}}{H_{t2}} = \frac{\tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_1)}$

- **Tangentialkomp.:** $H_{t1} = H_{t2}$, $\frac{B_{n1}}{B_{n2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\tan(\alpha_1)}{\tan(\alpha_2)}$

4.6 Induktivität (1-211)

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N^2}{R_m}, \quad [L] = \frac{Vs}{A} = H \text{ (Henry)}$$

- **A_L -Wert:** $L = N^2 A_L = N^2 \Lambda_m$, $A_L = \Lambda_m = \frac{1}{R_m} = [nH]$

- **Toroidspule:** $L = \frac{\Phi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = N^2 \frac{\mu H}{2\pi} \ln\left(\frac{r_{\text{außen}}}{r_{\text{innen}}}\right)$

- **Luftspalt:** $L = N^2 \frac{\mu_0 \mu_r A}{l_m} \approx N^2 \frac{\mu_0 A}{d}$ d Spaltgröße

- **Kraft Magnetfeld:** $F_A = \frac{B^2}{2\mu_0} A$

- **NBA-Formel:** $LI = NBA$

4.7 Induktion und Selbstinduktion (1-249)

- **Induktionsgesetz:** $u(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$

- **Selbstinduktion:** $u_L(t) = L \frac{dI}{dt}$ (vgl. $i_C = C \frac{dU_C}{dt}$)

- **Energie:** $W_m = W_L = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \Phi I = \iiint_V \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H} dV$

5 Allgemeines

5.1 Einheiten

	Einheit	Bedeutung
B	Vs/m^2	Magnetische Flussdichte
\vec{r}	Vs/m^2	Remanenz
C	$As/V = F$	Kapazität
D	As/m^2	Elektr. Flussdichte, el. Erregung
E	V/m	Elektrische Feldstärke
G	$1/\Omega = A/V$	Elektr. Leitwert
H	A/m	Magn. Feldstärke
H_c	A/m	Koerzitivfeldstärke
I	A	Gleichstrom
I_k	A	Kurzschlussstrom
i	A	Zeitabhängiger Strom
J	A/m^2	(räuml. vert.) Stromdichte
J	Vs/m^2	Magn. Polarisation
J	Vs/m	Magn. Dipolmoment
k		Koppelfaktor
L	Vs/A	Induktivität
M	A/m	Magnetisierung
m	Am^2	Magnetisches Moment
n		Windungszahl
P	$VA = W$	Leistung
pv	W/m^3	Verlustleistungsdichte
\vec{P}	As/m^2	Dielekt. Polarisation
\vec{p}	Asm	Elektr. Dipolmoment
Q	$As = C$	Ladung, Punktladung
R	$V/A = \Omega$	Ohmscher Widerstand
R_m	A/Vs	Magn. Widerstand
u	V	Gleichspannung
u	V	Zeitlich veränderliche Spannung
\vec{u}		Übersetzungsverhältnis
V_m	A	Magnetische Spannung
w	$VAs = J$	Energie
w	WAs/m^3	Energiedichte
Φ	Vs	Magnetischer Fluss
Λ_m	Vs/A	Magnetischer Leitwert
Θ	A	Durchflutung
Ψ	As	Elektr. Fluss
α	$1/K$	Temperaturkoeffizient
χ		Dielekt. & magn. Suszeptibilität
ϵ	As/Vm	Dielektrizitätskonstante
ϵ_r		Dielektrizitätszahl
φ		Phasenwinkel
Φ_e	V	Elektrostatistisches Potential
η		Wirkungsgrad
κ	A/Vm	Spezifische Leitfähigkeit
λ	As/m	Linienladungsdichte
μ	Vs/Am	Permeabilität
μ_r	m^2/Vs	Beweglichkeit der Ladungsträger
ρ	As/m^3	Raumladungsdichte
ρ_R	Vm/A	Spezifischer Widerstand
σ	As/m^2	Flächenladung
σ		Streugrad
ω	$1/s = 2\pi$	Kreisfrequenz

6 Super-Spezial-Extra-Formeln

- **Zentripetalkraft:** $F = m \frac{v^2}{r}$
- **spezifischer Widerstand von Kupfer:** $0.0178 \Omega mm^2/m$
- **Kugeloberfläche:** $A = 4\pi r^2$
- **Kugelvolumen:** $V = \frac{4}{3} \pi r^3$
- **Kreisfläche:** $A = r^2 \pi$
- **Kreisumfang:** $s = 2\pi r$

- **Verkleinerungsnamen:**

$$\begin{array}{l} piko \rightarrow 10^{-12} \\ nano \rightarrow 10^{-9} \\ mikro \rightarrow 10^{-6} \\ mili \rightarrow 10^{-3} \end{array}$$

- **Newtonsches Gravitationsgesetz:** $F_G = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$
- **Kinematik:** $v = at$, $s = \frac{1}{2} at^2$
- **Epsilon:** $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ Luft: $\epsilon_r = 1$