

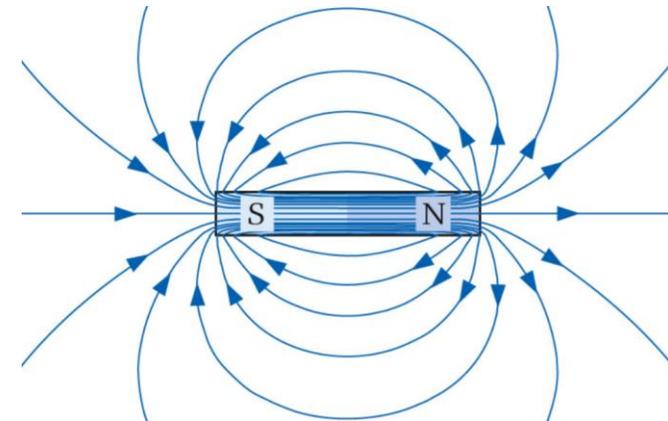
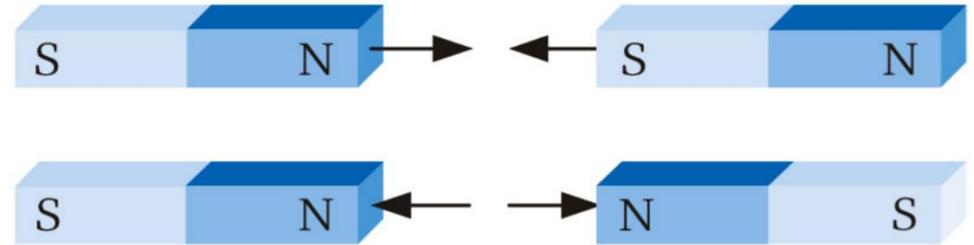


# Elektrotechnik 1

## Übung 5 – Magnetismus1

# Theorie: Magnetismus

- Die Orientierung entscheidet über Anziehung oder Abstossung
- Es gibt **nur Dipole und keine Monopole**, daher sind Feldlinien immer geschlossen
- Die Feldlinien verlaufen aussen vom Nord- zum Südpol und im Körper vom Süd- zum Nordpol



# Theorie: Grundlagen Magnetismus

## Diamagnetismus

- Materialien, die das B-Feld schwächen,  $\mu_r < 1$ , (zB Wasser, Blei, Graphit)

## Paramagnetismus

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

## Ferromagnetismus

- Materialien, die das B-Feld stark verstärken,  $\mu_r \gg 1$

# Theorie: Ferromagnetismus

- Hysteresekurve = Beziehung zwischen magnetischer Feldstärke  $\vec{H}$  und magnetischer Flussdichte  $\vec{B}$



Magnetisierung durch ext. Feld



Entmagnetisierung bis Remanenzflussdichte  $B_r$

Die Koerzitivfeldstärke  $H_c$  wird benötigt, um die Magnetisierung des Materials wieder aufzuheben

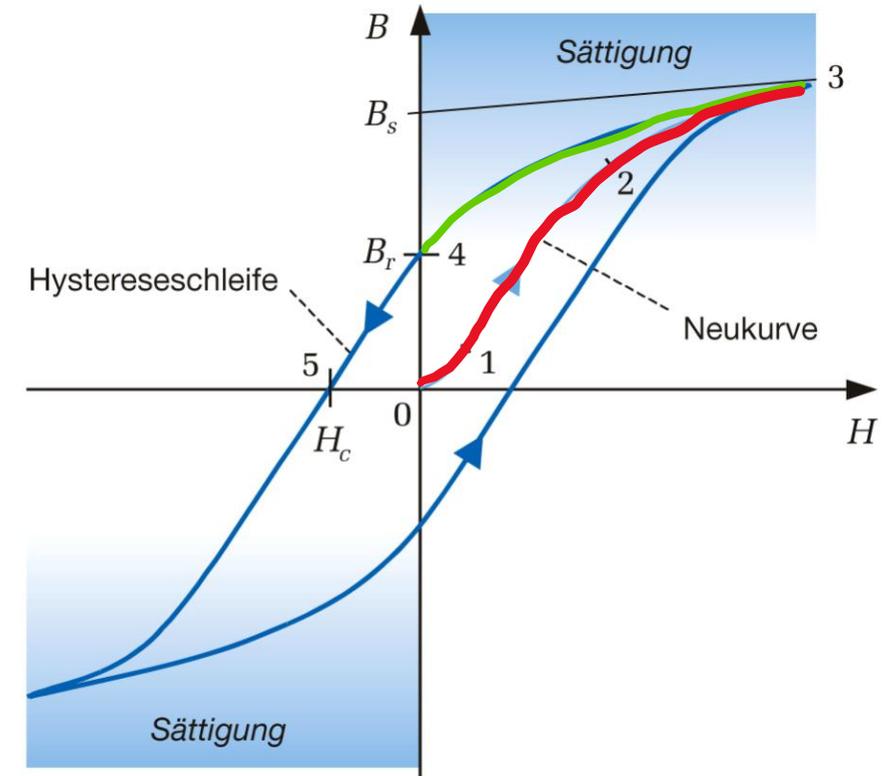


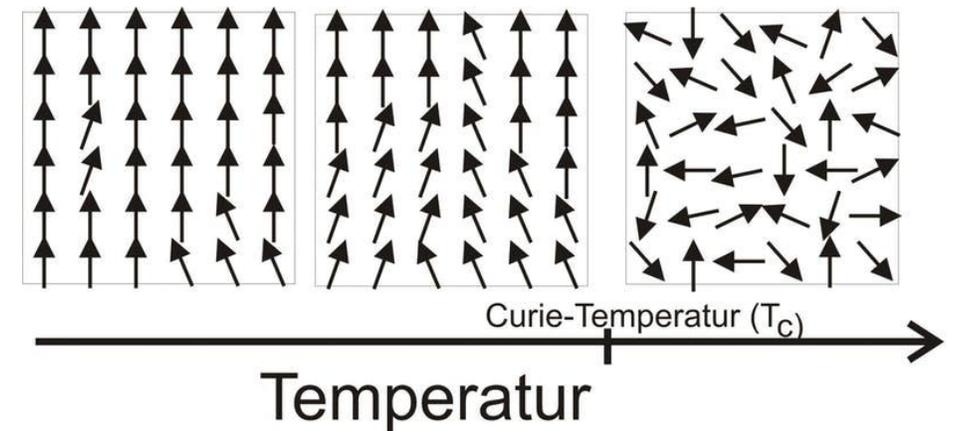
Abbildung 5.21: Magnetisierungskurve eines ferromagnetischen Materials



# Theorie: Ferromagnetismus

- Ferromagnetische Eigenschaften sind **temperaturabhängig**
- Verschwinden der ferromagnetischen Eigenschaften oberhalb der Curie-Temperatur (nach Marie Curie, 1867-1934)

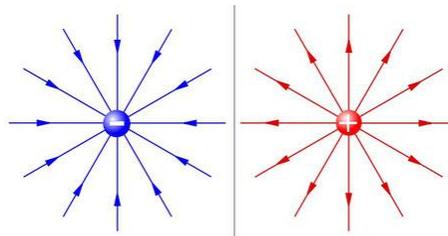
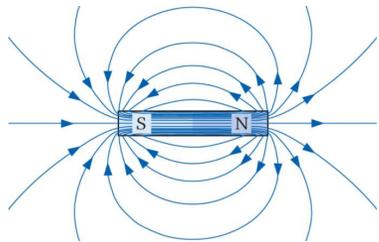
Beispiel Eisen: 768 Grad Celsius



# Theorie: Magnetisches Feld

## Vergleich Felder

	Magnetisches-Feld	Elektrisches-Feld
Ursprung:	Dipole	Ladungen
Wirkung:	Magn. Feld	Elektrostat. Feld
Feldlinien:	Geschlossen	offen
Feldstärke:	$\vec{H}$	$\vec{E}$
Dichte:	$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$ (Feldstärke)	$\vec{j} = \kappa \vec{E}$ (Stromdichte)



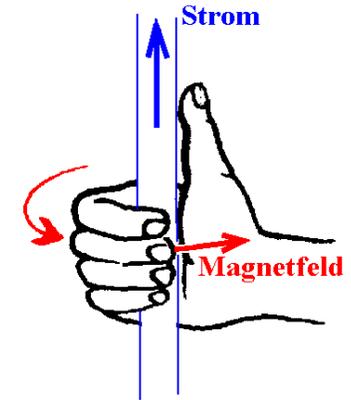
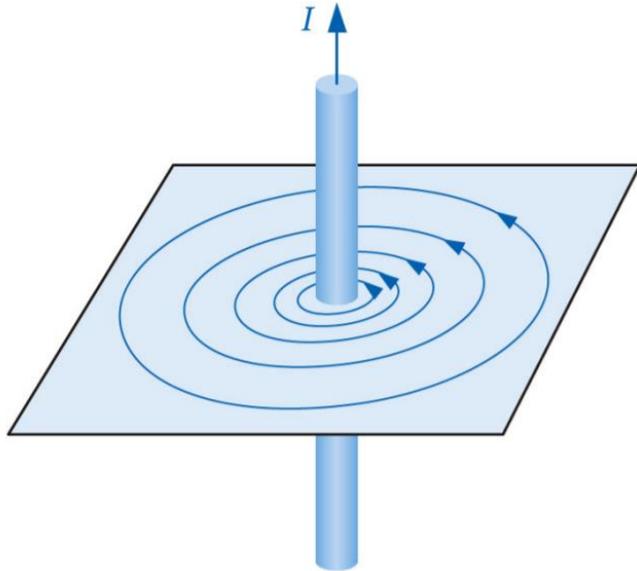
$$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$$

Diese Formel gilt nur wenn gewisse Bedingungen erfüllt sind.

$\vec{B}$  : magn. Flussdichte [T]  
 $\vec{H}$  : magn. Feldstärke [A/s]  
 $\mu_0$  : magn. Feldkonstante  
 $\mu_r$  : Permeabilitätszahl

# Theorie: Magnetfeld eines Stromdurchflossenen Leiters

Ein Stromdurchflossener Leiter erzeugt ein magnetisches Feld, in Form von Kreisen um den Leiter herum



1. Rechte-Hand-Regel



Strom fließt in  
Blattebene



Strom fließt aus  
Blattebene heraus



# Theorie: Feldgrößen an Grenzflächen

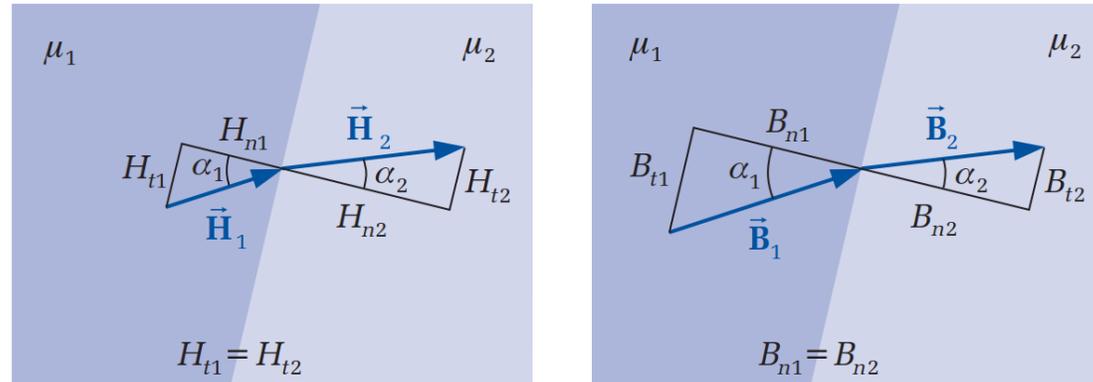


Abbildung 5.25: Zum Brechungsgesetz

## Normalkomponente

B-Feld:

$$B_{n1} = B_{n2}$$

(stetig)

H-Feld:

$$\mu_1 H_{n1} = \mu_2 H_{n2}$$

## Tangentialkomponente

B-Feld:

$$\frac{B_{t1}}{B_{t2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

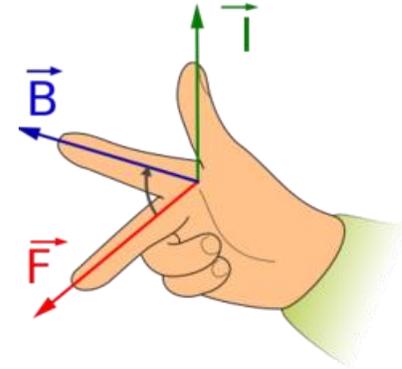
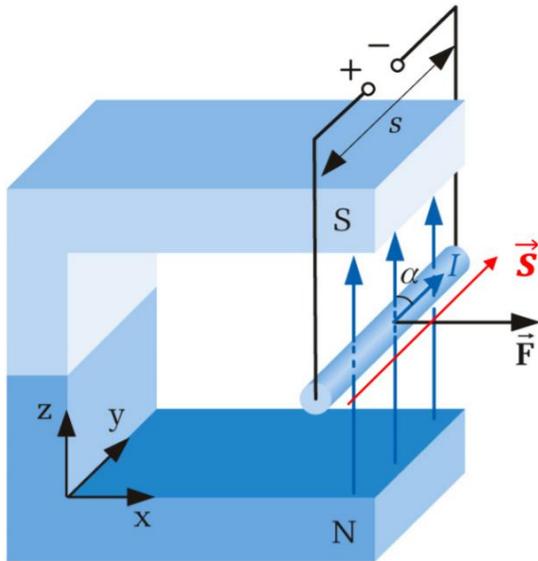
H-Feld:

$$H_{t1} = H_{t2}$$

(stetig)

# Theorie: Lorentzkraft

Befindet sich ein bewegtes geladenes Teilchen (z.B. Elektron) in einem Magnetfeld, so wirkt auf dieses Teilchen eine Kraft die wir als Lorentzkraft bezeichnen. Die selbe Kraft wirkt auch auf stromdurchflossene Leiter



2. Rechte-Hand-Regel

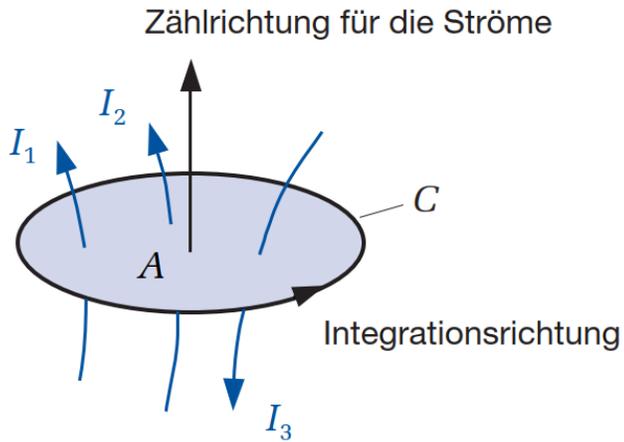
$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

Für Teilchen

$$F = I (\vec{l} \times \vec{B})$$

Für Stromdurchflossenen Leiter  
 $\vec{l}$ : Länge des Leiters

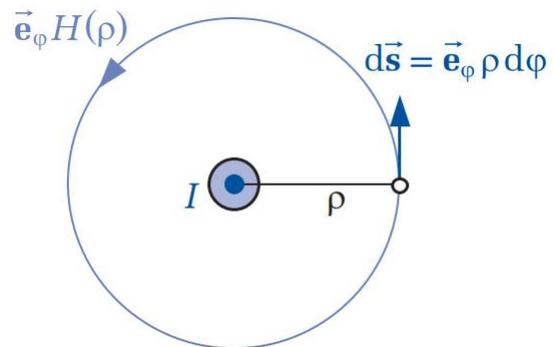
# Theorie: Durchflutungsgesetz (Gesetz von Oersted)



$$\iint_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = \oint_{\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \Theta$$

$\Theta =$  Durchflutung

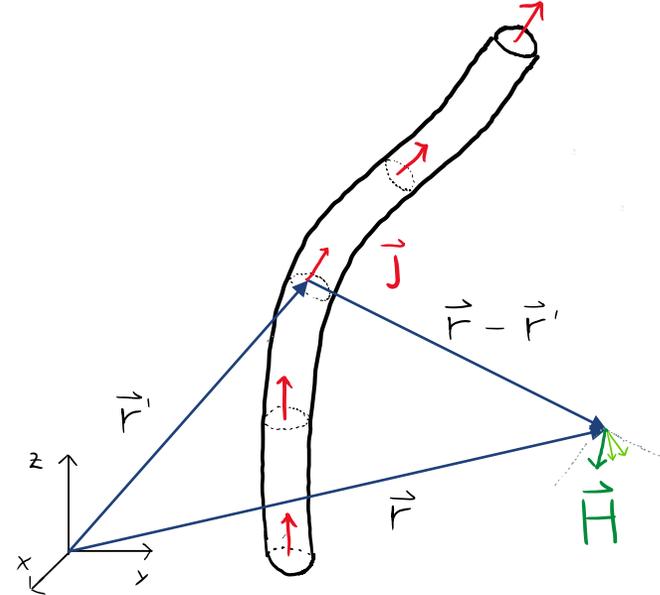
$$\Theta = NI = \sum_k I_k$$



# Theorie: Gesetz Biot-Savart

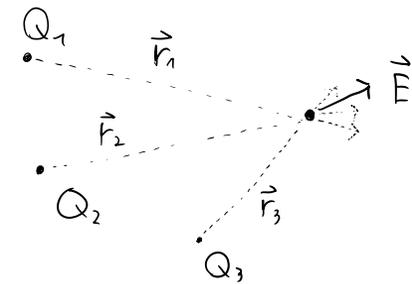
$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \mathbf{J}(\mathbf{r}') \times \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} dV'$$

Es stellt einen Zusammenhang zwischen der magnetischen Feldstärke  $\mathbf{H}$  und der elektrischen Stromdichte  $\mathbf{J}$  her.



$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \sum_{i=1}^n Q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3}$$

Überlagerung von  
verschiedenen Punktquellen



# Beispiel: H-Feld eines Leiters

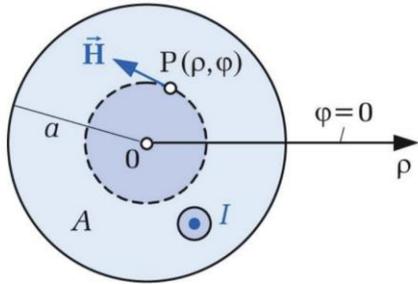


Abbildung 5.10: Magnetische Feldstärke bei kreisförmigem Drahtquerschnitt

Geg.: Stromdichte

$$\vec{j} = \begin{cases} \frac{I}{\pi a^2} \vec{e}_z, & \rho \leq a \\ \vec{0}, & \rho > a \end{cases}$$

Ges.: Magnetische Feldstärke  $\vec{H}$



# Tipps Serie 6

1. Arbeitet mit Vektoren, Lorentzkraft
2. Biot-Savart
3. Übungsslides und Zusammenfassung (Formel für H-Feld eines Leiters) und bei komplexen geometrien Superposition/Biot-Savart

