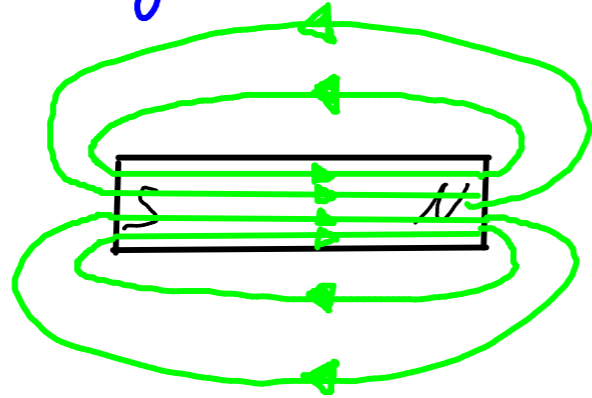


# Magnetische Felder

beschreibbar wie elektrische Felder, aber

□ keine magnetischen Ladungen, nur Dipole



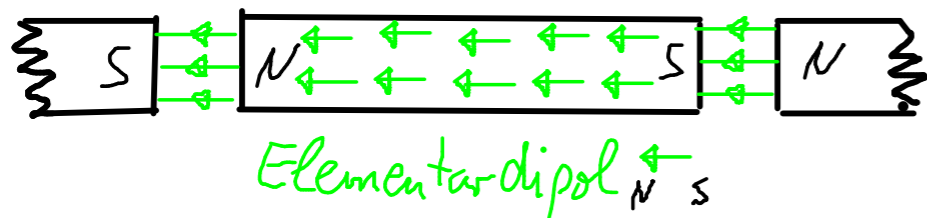
⇒ keine magnetischen Monopole  
Magnetfeldlinien immer geschlossen  
Nord- und Südpol treten immer gemeinsam auf

□ magnetische Flussdichte  $\vec{B}$ , Einheit Tesla,  $1\text{T} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$   
veraltet: Gauss,  $1\text{Gauss} = 10^{-4}\text{T}$

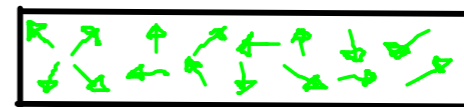
□ Magnetfeld  $\vec{H}$  Einheit:  $\frac{\text{A}}{\text{m}}$ ,  $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$  im Vakuum  
mit  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

# magnetische Felder in Materie

mit äußerem  $\vec{B}$ -Feld



ohne äußeres  $B$ -Feld



## □ Paramagnetismus

Materie enthält permanente Elementardipole, die sich im äußeren  $\vec{B}$ -Feld ausrichten  
 → Verstärkung des äußeren  $\vec{B}$ -Feldes

## □ Ferromagnetismus

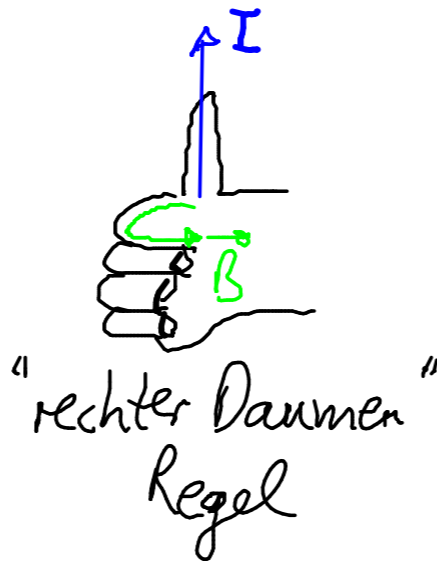
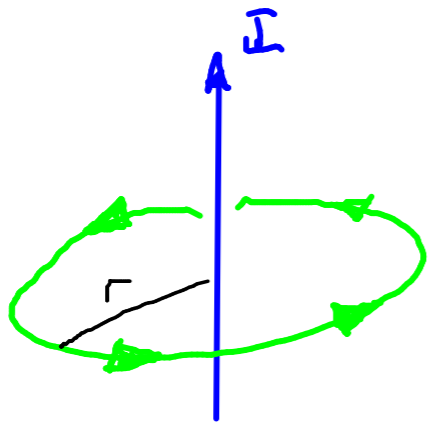
Zusätzlich zu Paramagnetismus sind Elementardipole untereinander stark gekoppelt  
 → Dipole richten sich in großen Bereichen parallel aus (Weißsche Bezirke)  
 → parallele Ausrichtung (der Weißschen Bezirke) bleibt erhalten: Permanentmagnet  
 Bei hohen Temperaturen (Curie-Temperatur) verschwindet Ferromagnetismus

## □ Diamagnetismus

falls keine Elementardipole vorliegen → externes  $\vec{B}$ -Feld wird abgeschwächt  
 alle Materialien / Stoffe sind diamagnetisch!

# ► Erzeugung von Magnetfeldern

## stromdurchflossener Leiter

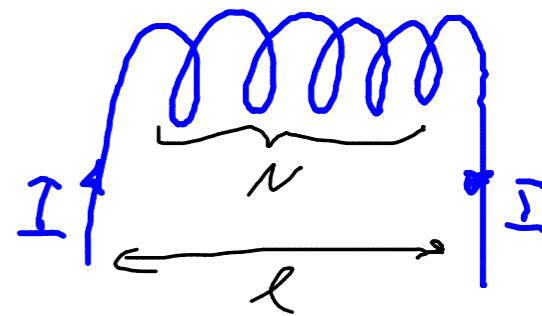


$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$$

$r$ : Abstand vom Leiter

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

## Spule



$$|\vec{B}| = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot I$$

$N$ : Windungszahl  
 $l$ : Länge der Spule

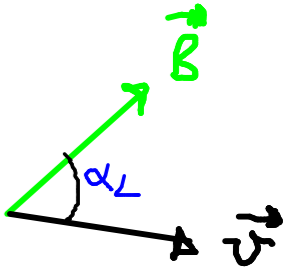
magnet. Feldkonstante

## ► Kraft auf bewegte Ladungen

Lorentzkraft:

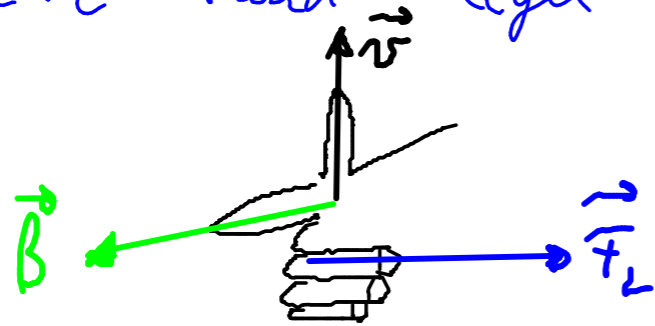
$$\vec{F}_L = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}_L| = Q \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin \alpha_L$$



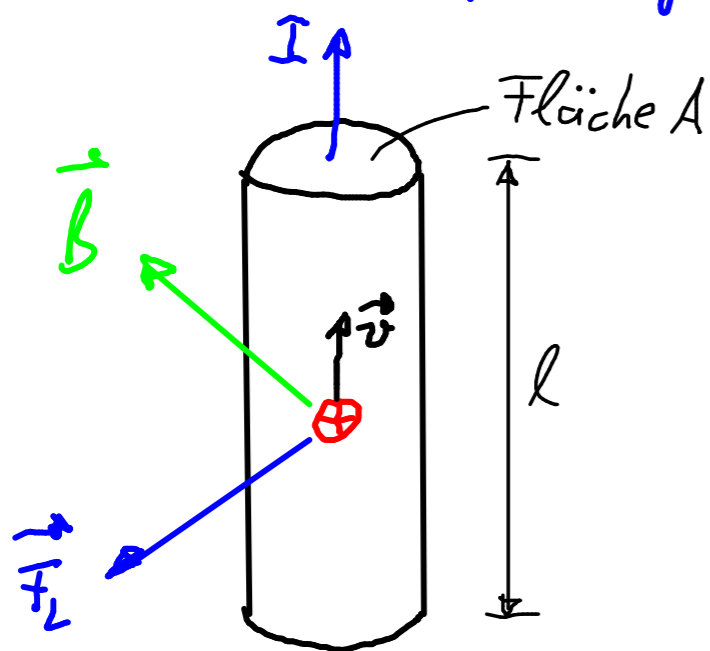
$\vec{v}$ : Geschwindigkeit der Ladungsträger

"Rechte-Hand"-Regel gibt Richtung der Kraft  $\vec{F}_L$  an



Spezialfall:  $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow \vec{F}_L \perp \vec{v} \rightarrow$  Kreisbahn um  $\vec{B}$ -Feldlinien

# Kraft auf stromdurchflossenen Leiter



auf Einzelladung ( $\vec{v} \perp \vec{B}$ ):  $F_L = Q \cdot v \cdot B$

auf Gesamtladung:  $F = B \cdot I \cdot l$

mit  $I = \frac{n \cdot Q}{V} \cdot A \cdot v$

$\frac{n}{V}$ : Ladungsträgerdichte

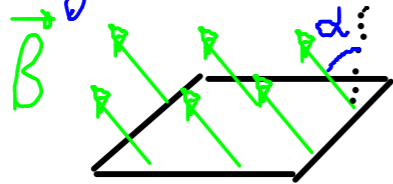
NB: Definition der Basiseinheit Ampère:

1 A erzeugt Kraft von  $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  pro Leiterlänge zwischen zwei parallelen Leitern im Abstand 1 m

## • Induktion

Die "Anzahl magnetischer Feldlinien durch eine Fläche A" ist der

▶ magnetische Fluss  $\phi$



$$\phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \alpha$$

Änderung des magnetischen Flusses mit der Zeit führt zu

▶ Induktionsspannung

$$U_{\text{ind}} = - \frac{d\phi}{dt} = - \dot{\phi} = |\dot{\vec{B}}| \cdot A + |\vec{B}| \cdot \dot{A}$$

Faradaysches Induktionsgesetz

Negatives Vorzeichen des Induktionsgesetzes folgt aus

■ Lenzsche Regel: Das magnetische Feld eines induzierten Stroms wirkt der Änderung des äußeren magnetischen Feldes entgegen



## Selbstinduktion

Stromänderung in der Spule führt zu Induktionsspannung:  
Selbstinduktion

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot A \cdot \frac{d|\vec{B}|}{dt} = \underbrace{-N \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \frac{N}{l}}_{L} \cdot \frac{dI}{dt}$$

$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot I$

mit Induktivität einer Spule:

$$L = \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

Einheit Henry,  $1\text{H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$

$$\rightarrow U_{\text{ind}} = -L \cdot \dot{I} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\rightarrow \text{Energie in einer Spule: } E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$