

Grundlagen der Elektrotechnik



Magnetische
Flussdichte

TH-Köln 2020

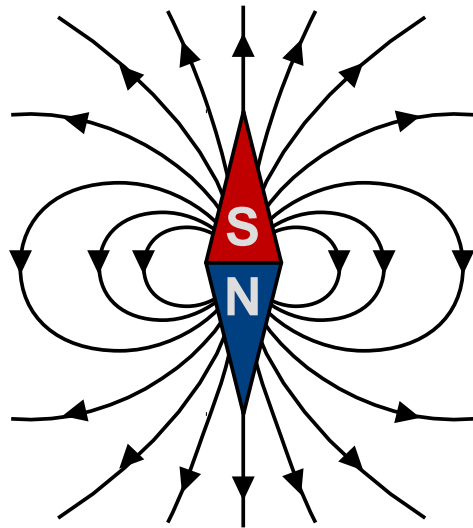
Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Magnetische Flussdichte

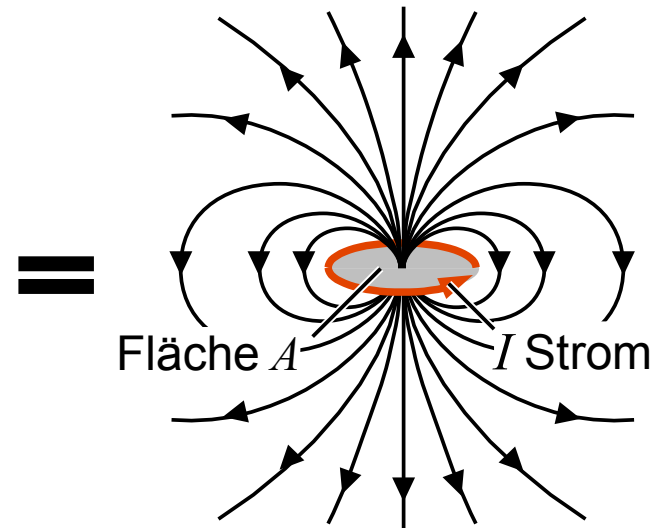
- Magnetischer Dipol
- Magnetfluss, Flussdichte
- Magnetischer Kreis
- Hysterese

Magnetischer Dipol

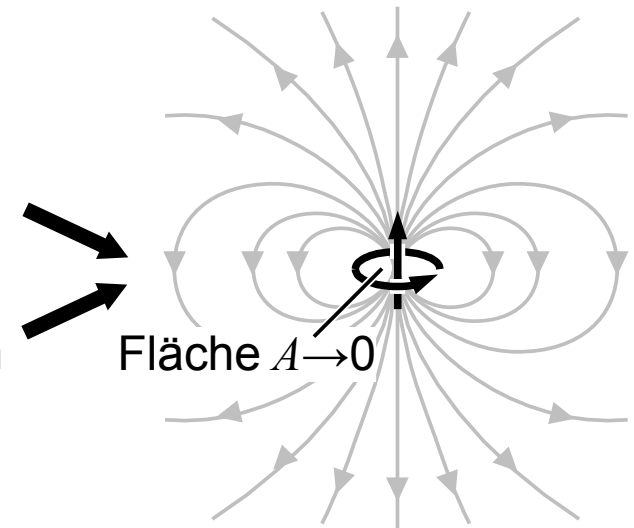
Dauermagnet



Stromschleife



Magnetischer Dipol:
Infiniit kleine Fläche dA



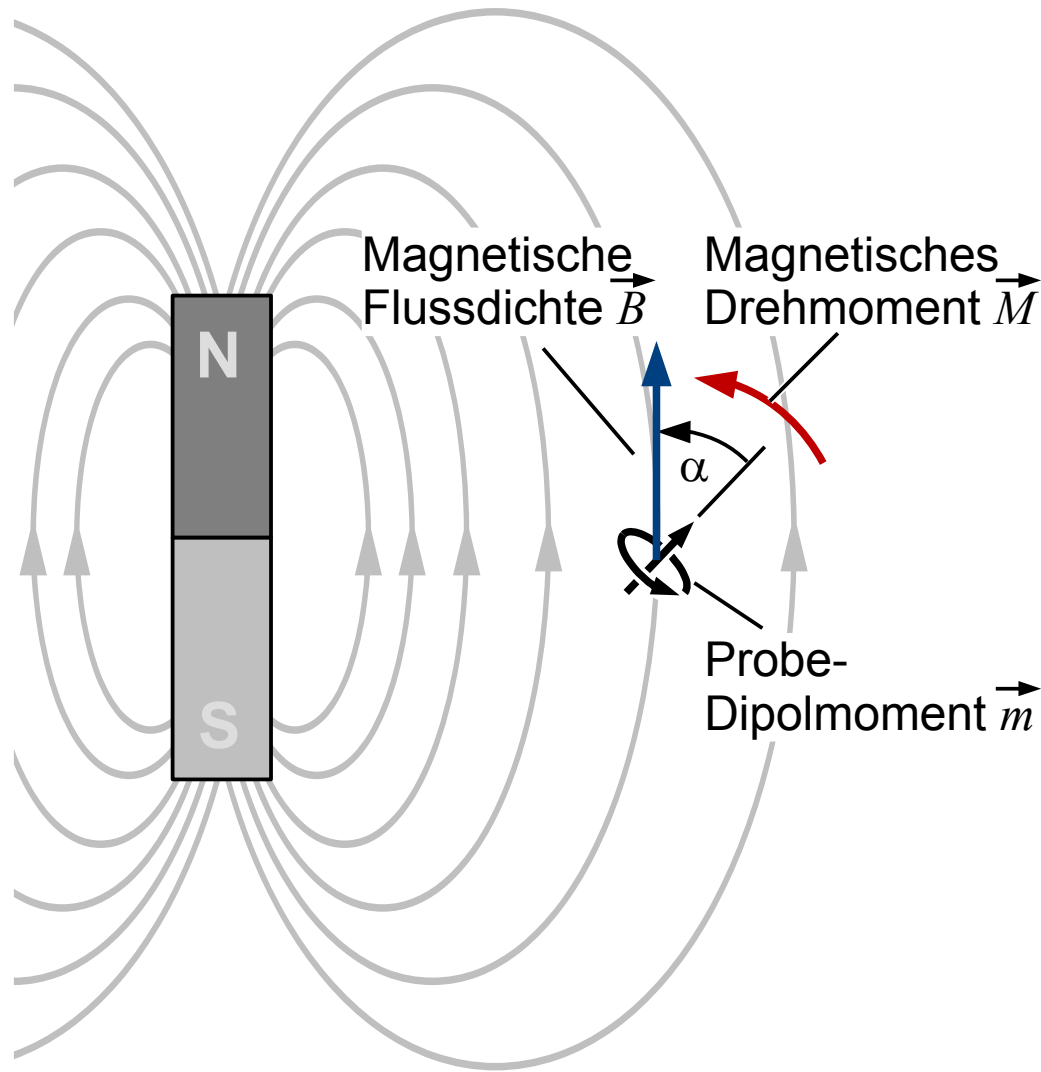
Charakterisiert durch

Magnetisches Dipolmoment m :

$$m = I \cdot A$$

Magnetische Flussdichte

Vermittlung der *Wirkung*



- Magnetischer Probe-Dipol m erfährt im Magnetfeld ein Drehmoment M

- Wirkung wird beschrieben durch **Magnetische Flussdichte B** :

$$M = \vec{m} \times \vec{B}$$

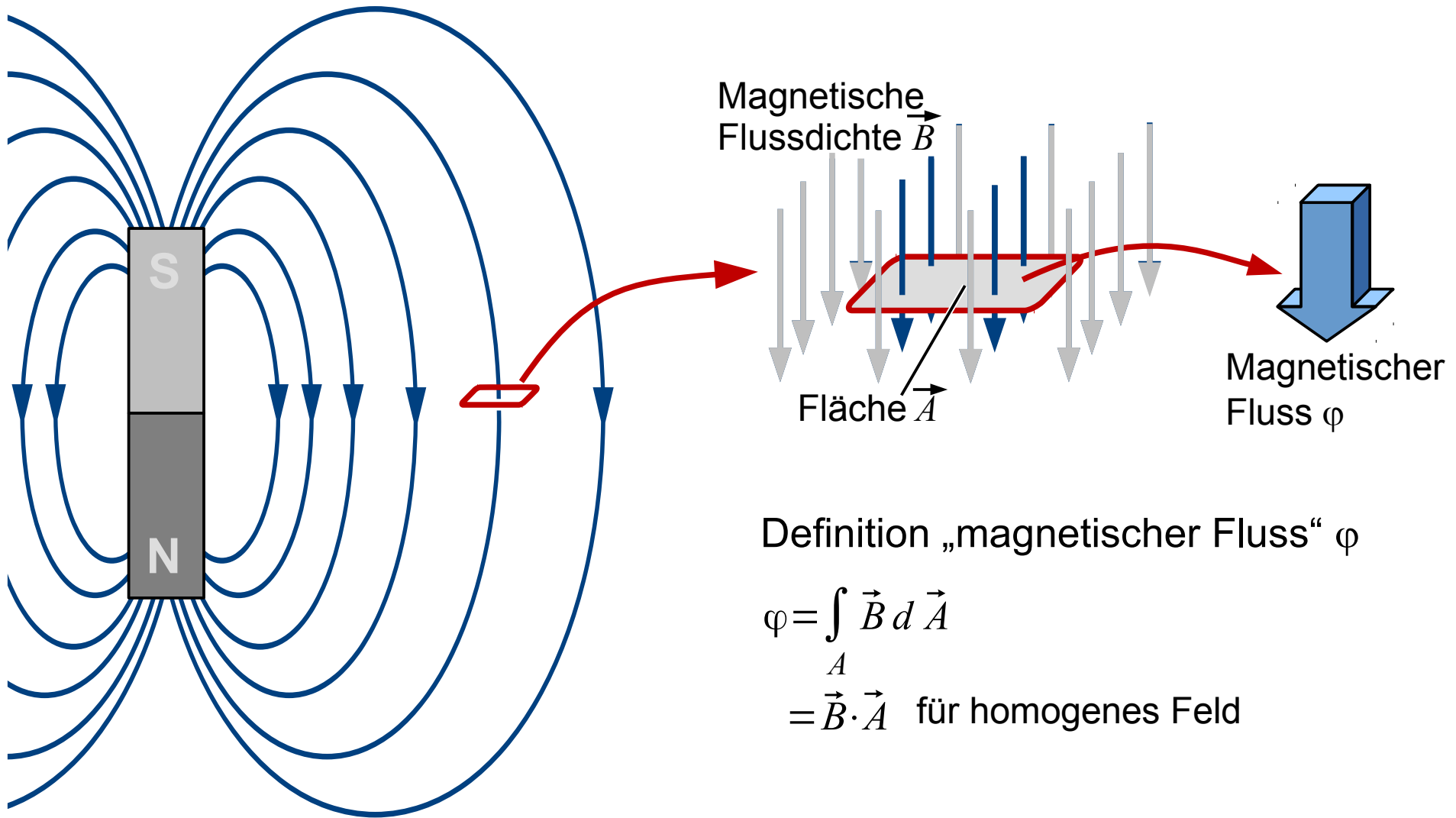
$$M = m \cdot B \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Einheit: } [B] = \text{T (=Tesla)} \\ = \text{Vs/m}^2$$

Beispiele für magnetische Flussdichten:

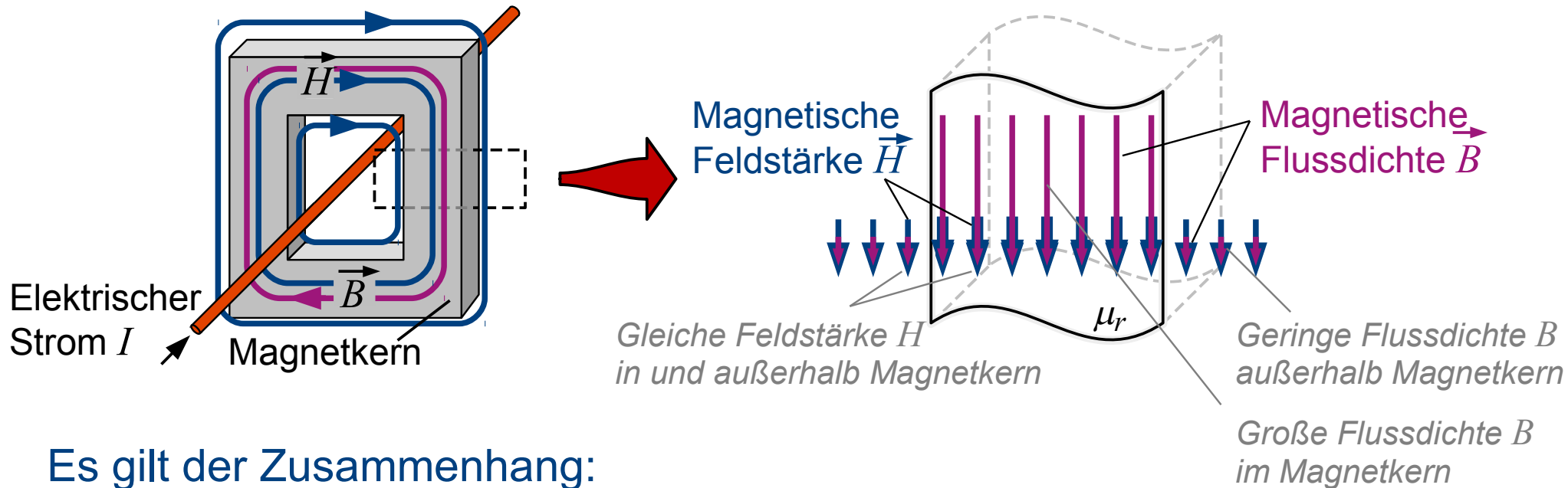
- 1..3T : Magnet-Resonanz-Tomograph (MRT)
- 0.2...0.5T: Sättigungsflussdichte in Magnetkernen
- 100 μ T: Limit für Flussdichte bei 50 Hz in der Öffentlichkeit
- ca. 48 μ T: Erdmagnetfeld (in unseren Breiten)

Magnetischer Fluss



Magnetisches Feld und Flussdichte

Magnetisch leitendes Material leitet die „Wirkung“ des Magnetfeldes



Es gilt der Zusammenhang:

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

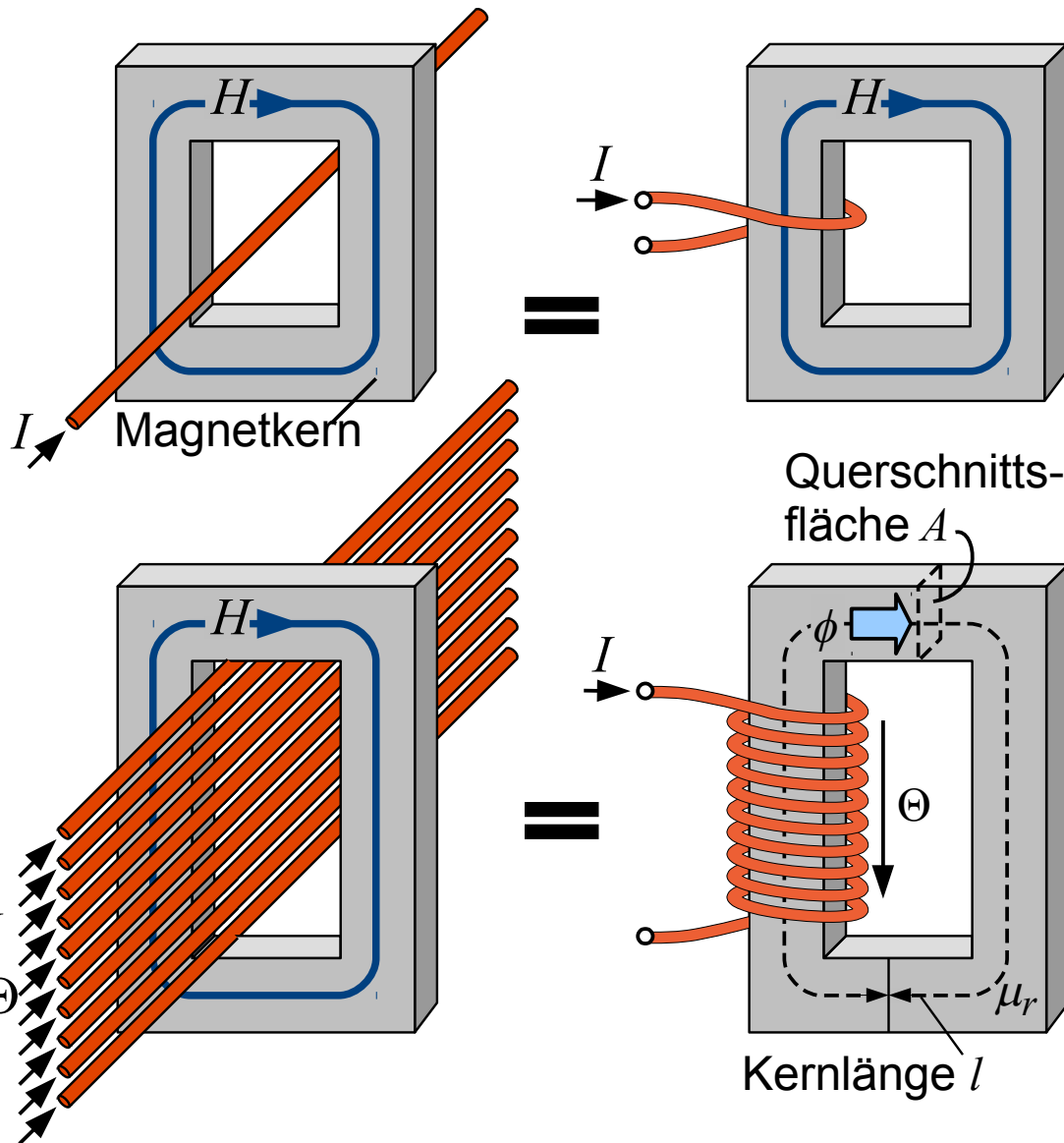
μ_0 = Magnetische Feldkonstante
= $4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am

μ_r = Magnetische Permeabilität
= 1 für Vakuum, Luft
> 1 für magnetische Werkstoffe

Beispiele für magnetische Permeabilität μ_r :

≈ 100 :	Silizium-Eisen für Trafos und Maschinen
100...5000	Ferrite für Spulenkerne
10 000...	Nanokristalline Eisenlegierungen

Magnetischer Kreis



$$\Theta = H \cdot l$$

$$\Phi = B \cdot A$$

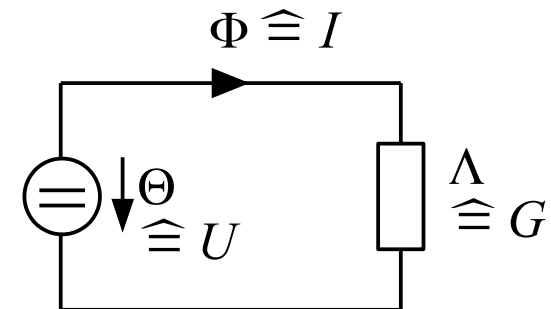
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises:

$$\Phi = \Lambda \cdot \Theta$$

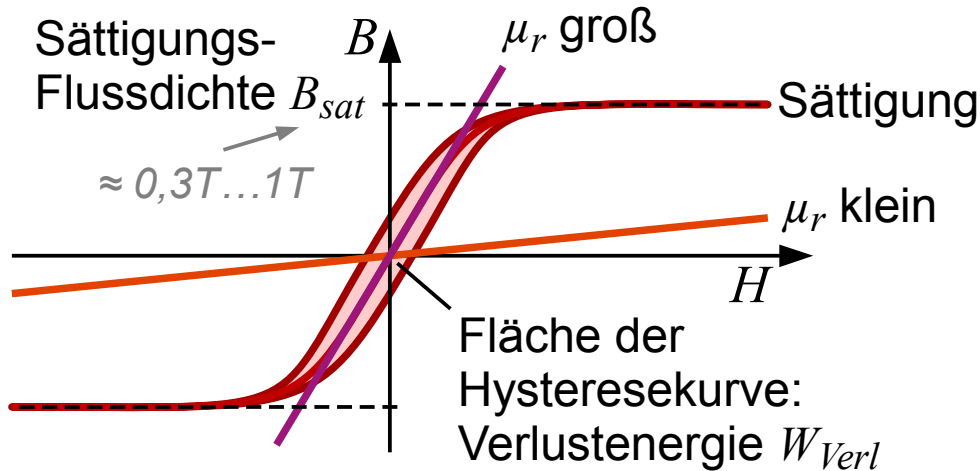
mit magnetischem Leitwert:

$$\Lambda = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l}$$



Materialkennlinien

Weichmagnetisch:



■ Anwendungen:

- Leiten von Magnetfluss
- Induktivitäten, Trafos

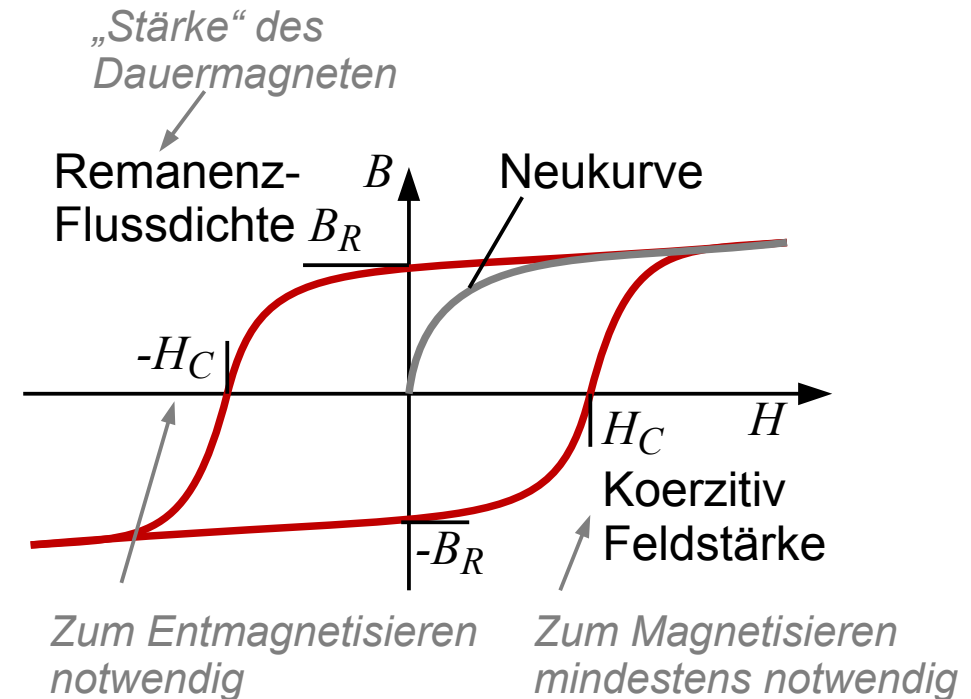
■ Ideal:

- Großes μ_r
- Linear
- Keine Hysterese

■ Real:

- $\mu_r = 10 \dots 10000$
- Sättigung
- Hysterese-Verluste

Hartmagnetisch:



■ Anwendungen:

- Dauermagnete

■ Ideal:

- Großes B_R, H_C
- Große Hysterese
- Konst. Flussdichte

■ Materialien:

- Eisen, Stahl
- Am stärksten: NeFeB (Neodym-Eisen-Bohr)

Kontakt

Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Professur Elektrische Netze

Institut für Elektrische Energietechnik,
Fakultät für Informations-, Medien- und
Elektrotechnik (F07)

Technische Hochschule Köln

Betzdorferstraße 2, Raum ZO 9-19

50679 Köln, Deutschland

Tel. +49 221 8275 2020

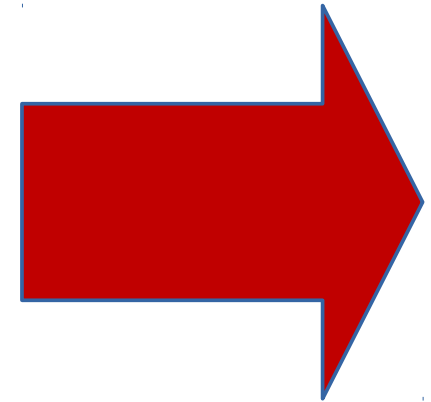
eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de

<https://www.th-koeln.de/>

[personen/eberhard.waffenschmidt/](https://www.th-koeln.de/personen/eberhard.waffenschmidt/)



Anhang



Weichmagnetische Materialien

- Eisen, $\mu_r = 10..1000$
- Eisenlegierungen
 - Silizium-Eisen: Für Trafos und Maschinen
Geringe Hystereseverluste
 $\mu_r = \text{ca. } 100$
- Nickel, Cobalt
- Ferrite = Eisenoxidlegierungen
 - Für Spulenkerne
 - Keine Wirbelstromverluste
 - Sehr schlecht elektrisch leitend
 - $\mu_r = 100...5000$
- Mu-Metalle und nanokristalline Eisenlegierungen
 - Als dünne Bänder (ca. 50 μm dünn)
 - $\mu_r = 10000$ und mehr