

# Grundlagen der Elektrotechnik



Magnetische  
Flussdichte

TH-Köln 2020

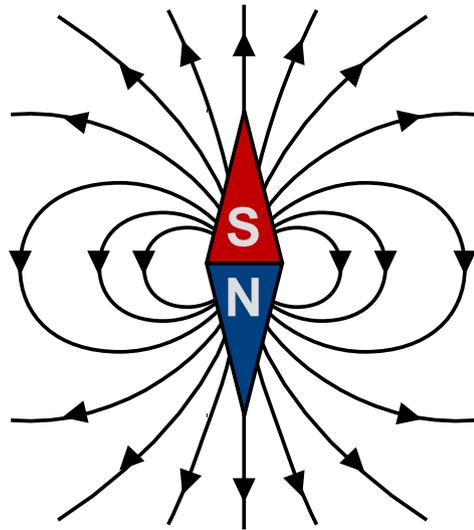
Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

# Magnetische Flussdichte

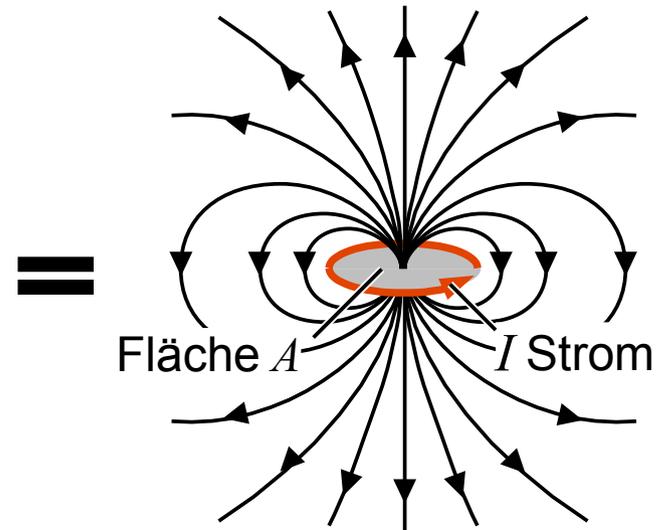
- Magnetischer Dipol
- Magnetfluss, Flussdichte
- Magnetischer Kreis
- Hysterese

# Magnetischer Dipol

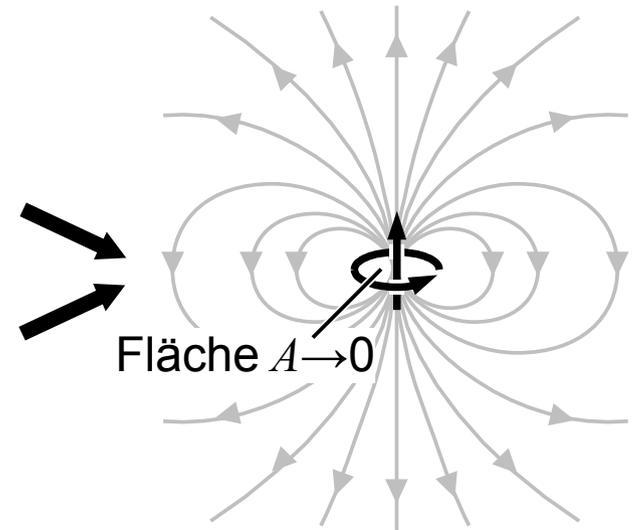
Dauermagnet



Stromschleife



Magnetischer Dipol:  
Infiniit kleine Fläche  $dA$



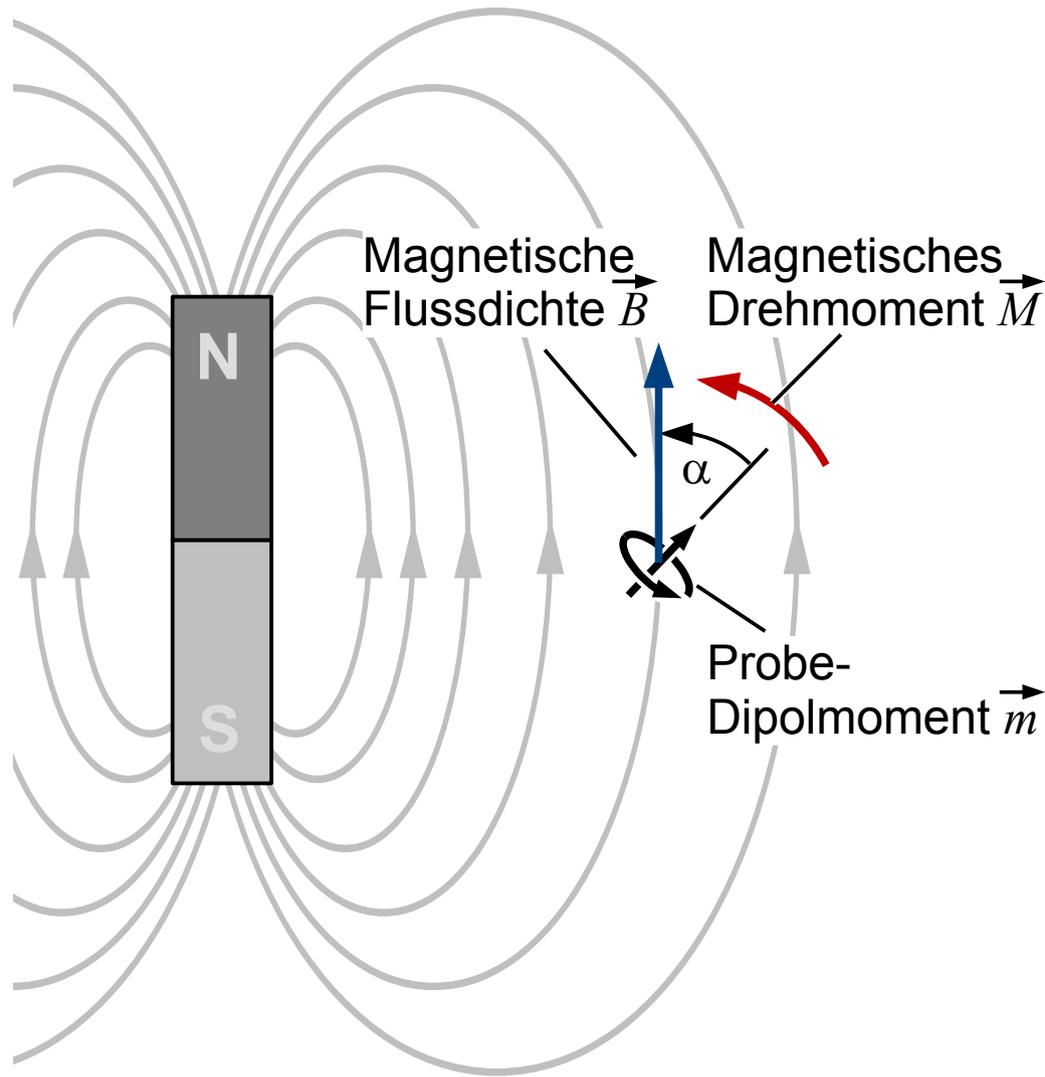
*Charakterisiert durch*

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  $B$** :

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

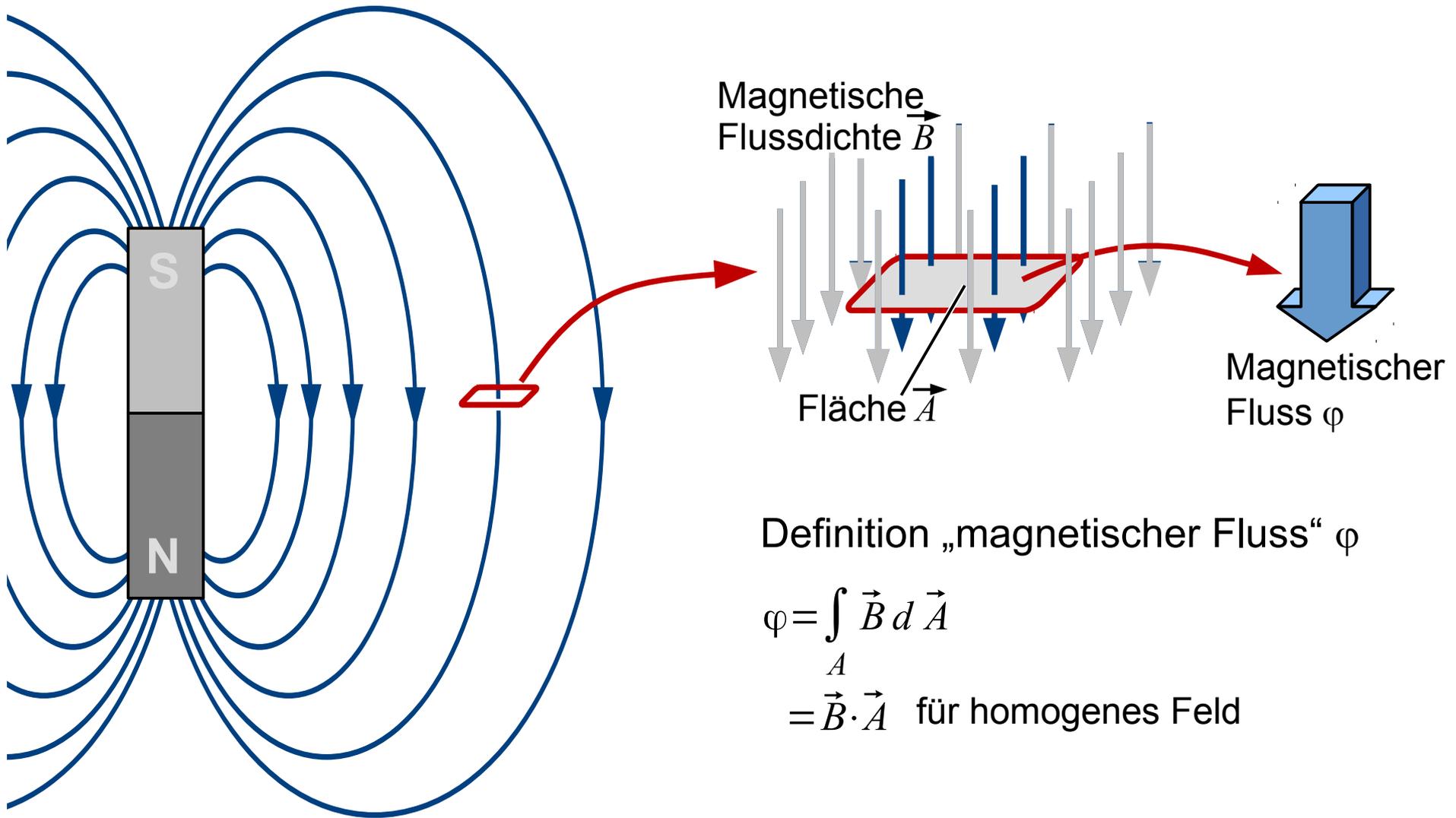
$$M = m \cdot B \cdot \sin \alpha$$

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

### Beispiele für magnetische Flussdichten:

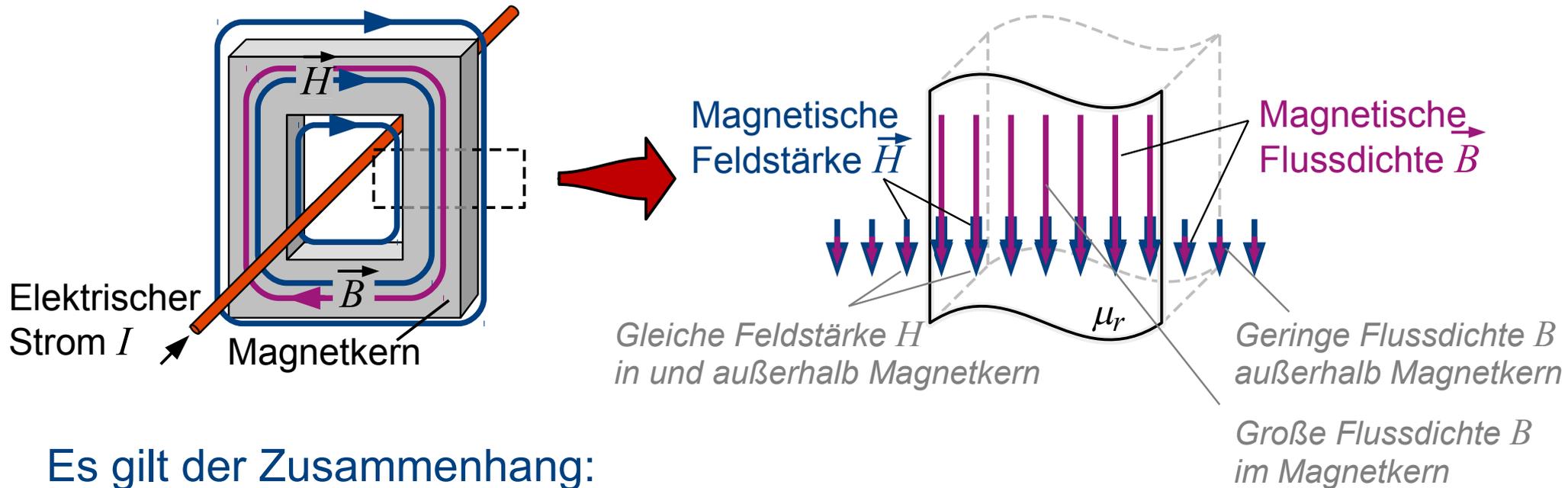
- 1..3T : Magnet-Resonanz-Tomograph (MRT)
- 0.2...0.5T: Sättigungsflussdichte in Magnetkernen
- 100 $\mu$ T: Limit für Flussdichte bei 50 Hz in der Öffentlichkeit
- ca. 48 $\mu$ T: Erdmagnetfeld (in unseren Breiten)

# Magnetischer Fluss



# Magnetisches Feld und Flussdichte

Magnetisch leitendes Material leitet die „Wirkung“ des Magnetfeldes



Es gilt der Zusammenhang:

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

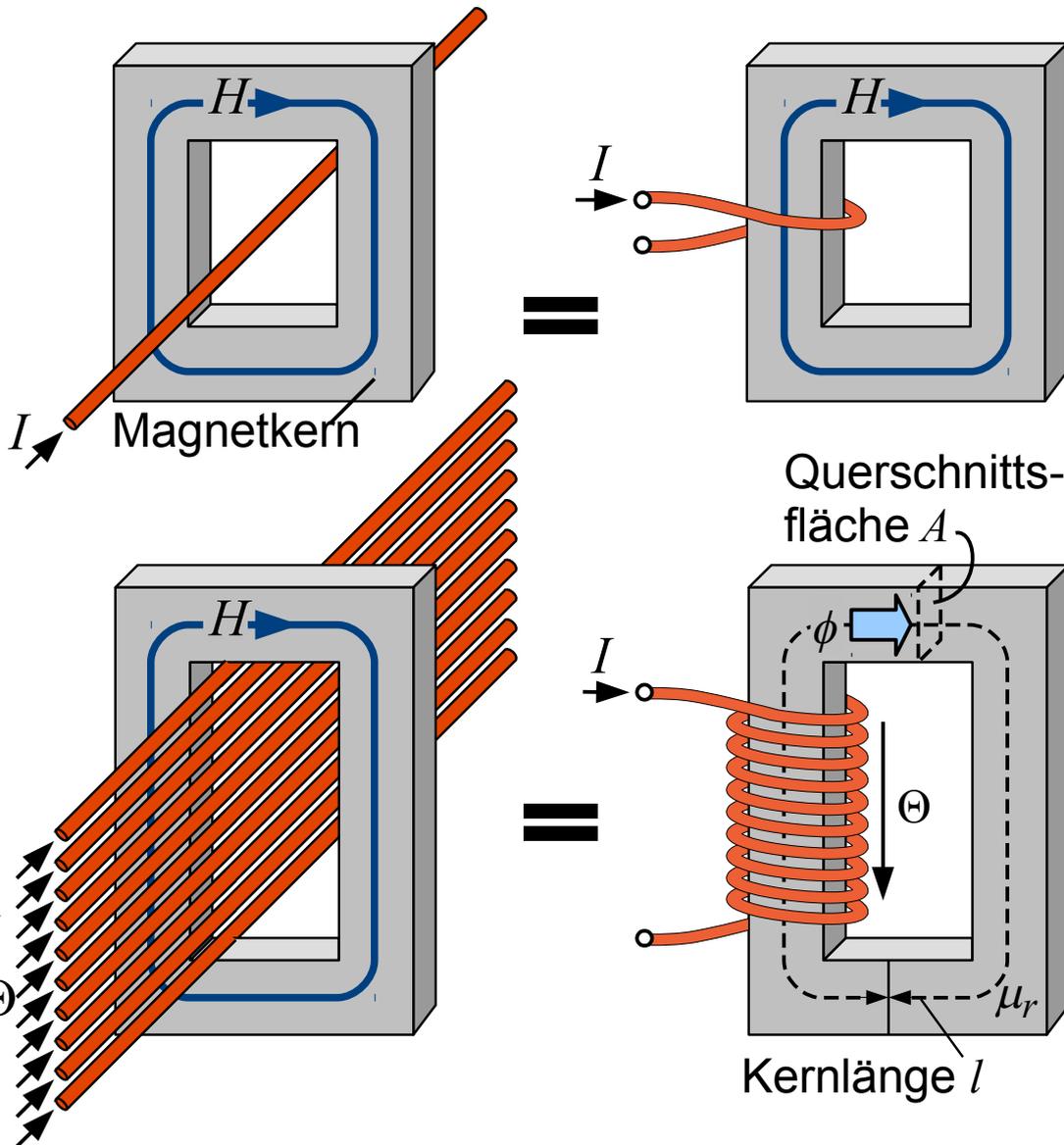
$\mu_0$  = Magnetische Feldkonstante  
=  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Vs/Am

$\mu_r$  = Magnetische Permeabilität  
= 1 für Vakuum, Luft  
> 1 für magnetische Werkstoffe

Beispiele für magnetische Permeabilität  $\mu_r$ :

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

# Magnetischer Kreis



$$\Theta = H \cdot l$$

$$\Phi = B \cdot A$$

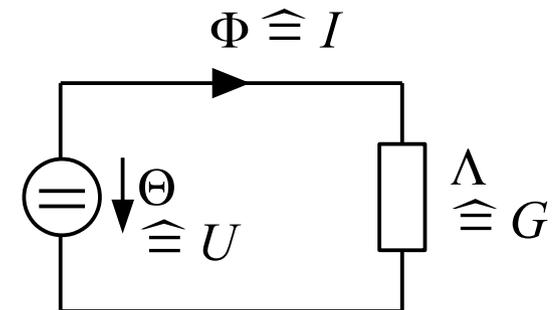
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises:

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

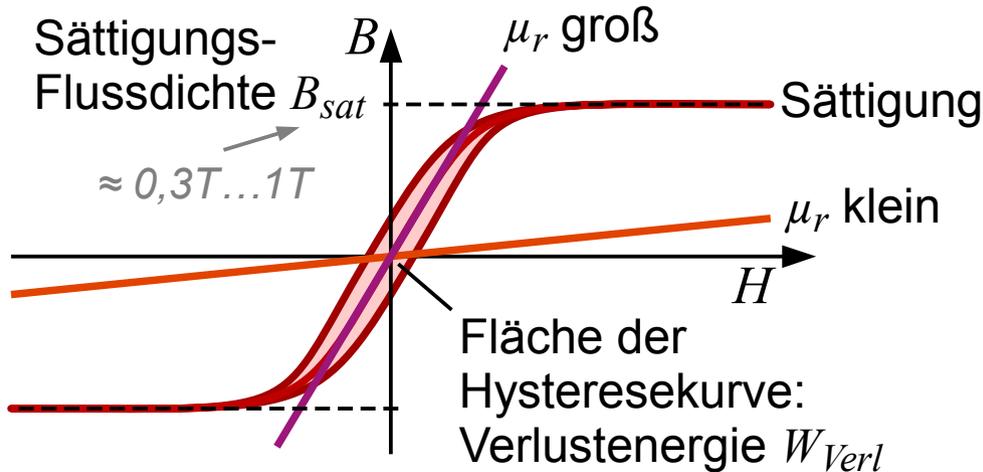
mit magnetischem Leitwert:

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



# Materialkennlinien

## Weichmagnetisch:



### ■ Anwendungen:

- Leiten von Magnetfluss
- Induktivitäten, Trafos

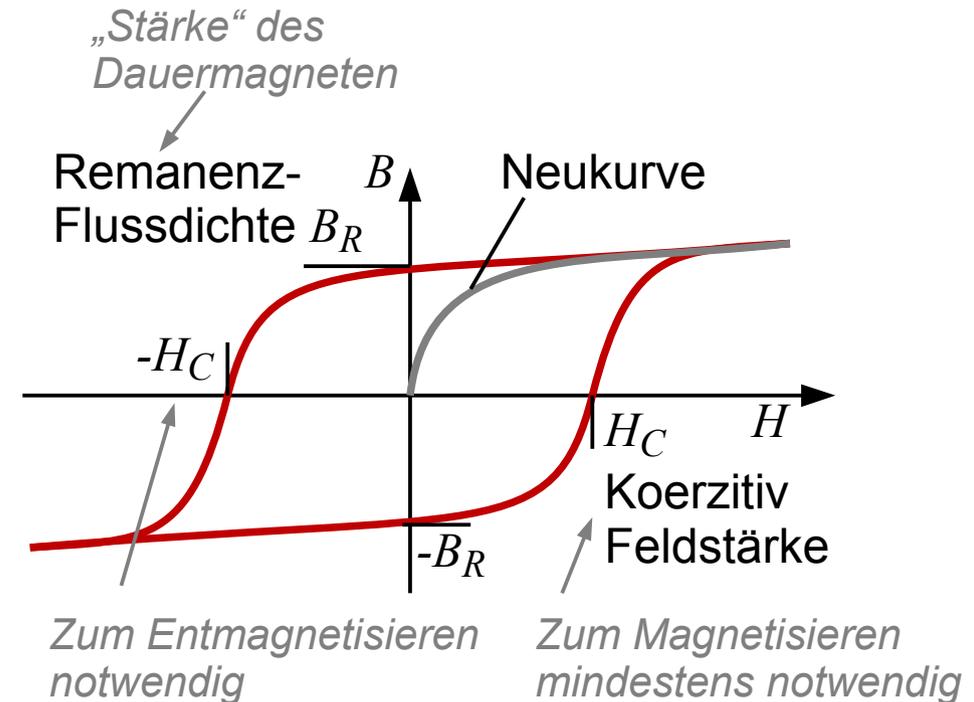
### ■ Ideal:

- Großes  $\mu_r$
- 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

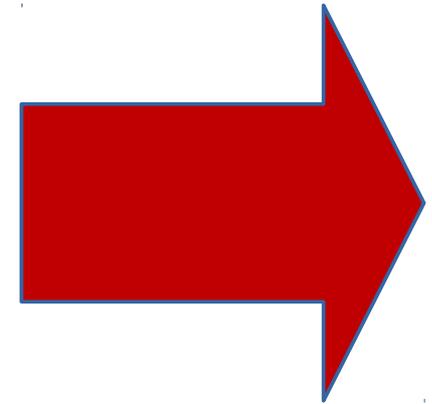
**[eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de](mailto:eberhard.waffenschmidt@th-koeln.de)**

<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 $\mu\text{m}$  dünn)
  - $\mu_r = 10000$  und mehr