

GET it digital

Modul 6: Magnetische Größen

Stand: 22. Oktober 2025



Weiternutzung als OER ausdrücklich erlaubt: Dieses Werk und dessen Inhalte sind lizenziert unter CC BY 4.0. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. Nennung gemäß TULLU-Regel bitte wie folgt: „GET it digital Modul 6: Magnetische Größen“ von R. Wegener, G. Lisicki, J. Kirschner Lizenz: CC BY 4.0.

Der Lizenzvertrag ist hier abrufbar:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

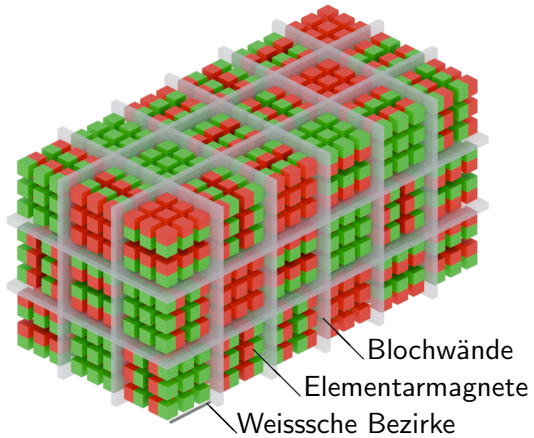
Das Werk ist online verfügbar unter:

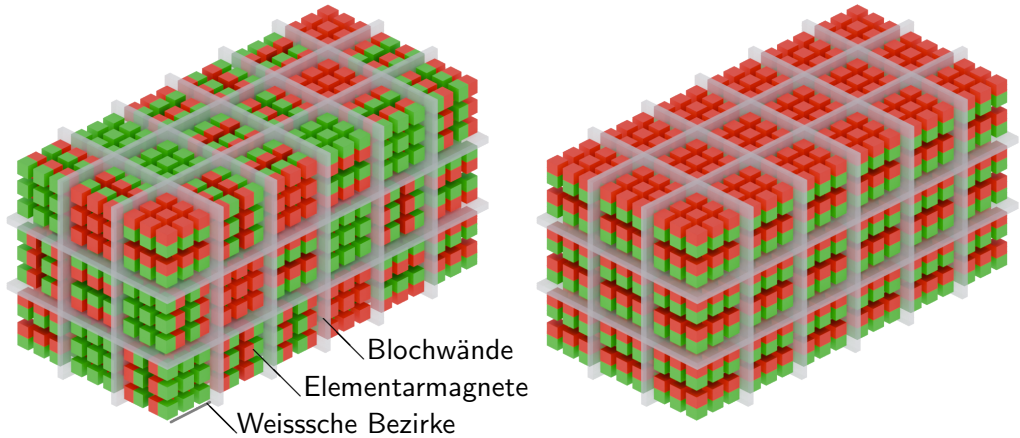
<https://getitdigital.uni-wuppertal.de/module/modul-6-magnetische-groessen>

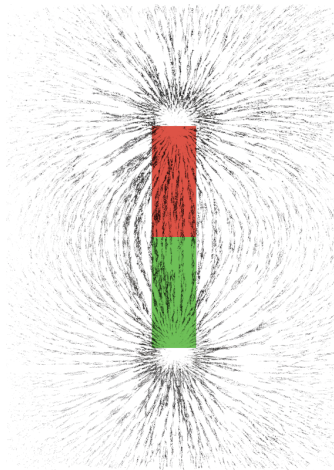
Lernziele: Magnetische Größen

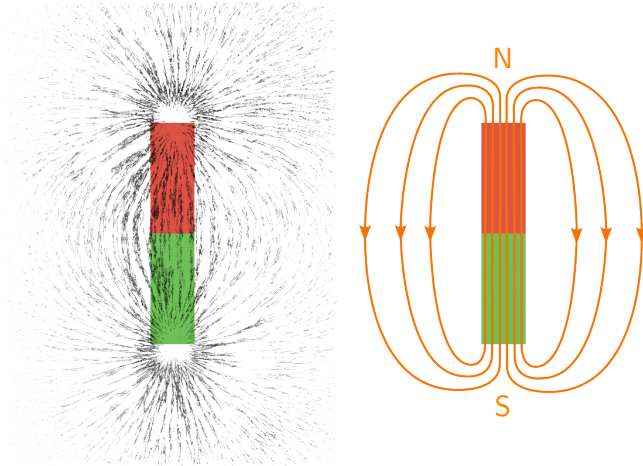
Die Studierenden

- ▶ kennen die grundlegenden magnetischen Größen im magnetischen Kreis.
- ▶ verstehen physikalischen Wirkprinzipien hinter den einzelnen magnetischen Größen.
- ▶ können die Wechselwirkungen der magnetischen Größen zueinander beschreiben.
- ▶ können die einzelnen Größen im magnetischen Kreis berechnen.

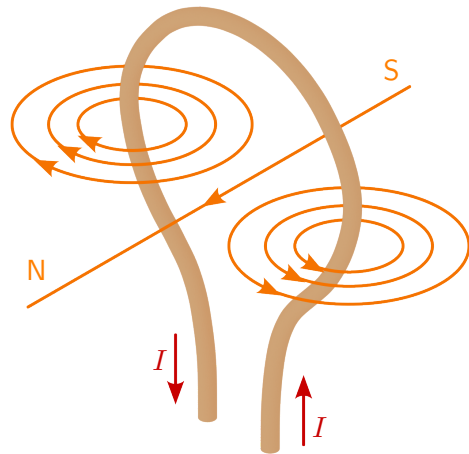
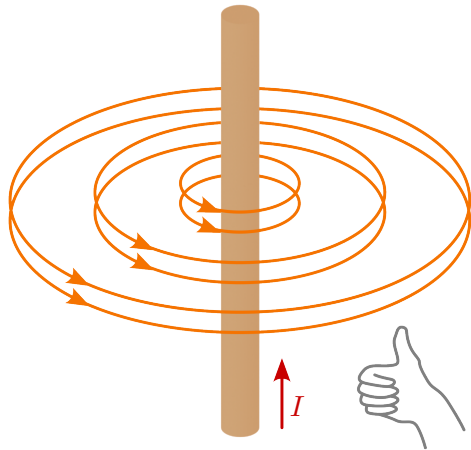




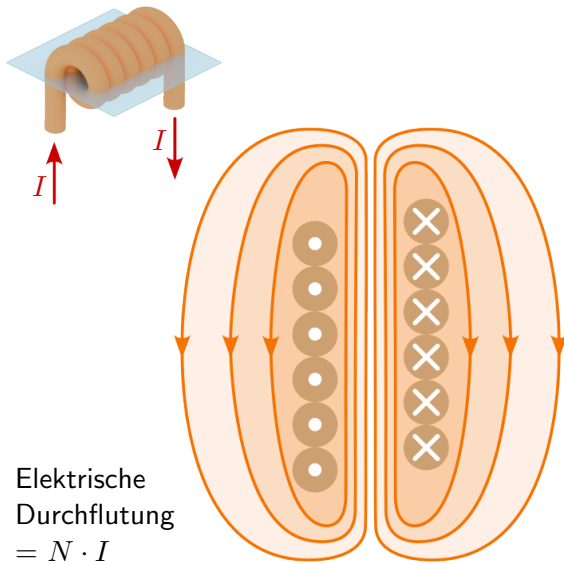




- ▶ Magnetische Feldlinien sind immer geschlossen (Quellenfrei).
- ▶ Außerhalb des Magneten verlaufen sie vom Nord- zum Südpol.
- ▶ Sie treten immer senkrecht aus der Magnetoberfläche aus bzw. ein.



Magnetische Durchflutung



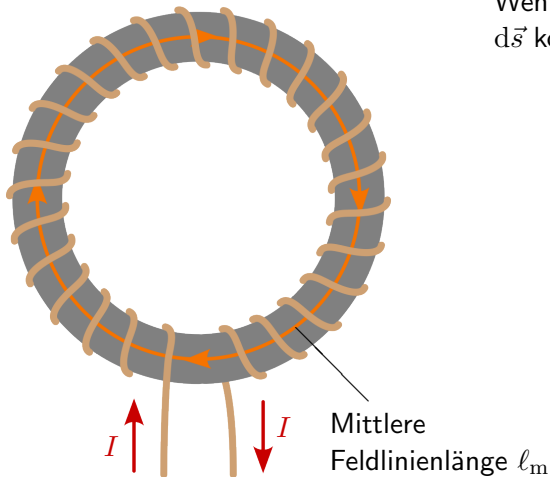
Durchflutung oder magnetische Spannung Θ (Theta) = Gesamtstrom einer durchfluteten Fläche

$$\Theta = \sum_n I_n = N \cdot I \quad (\text{vereinfacht})$$

$$\Theta = \iint_A \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (\text{allgemein})$$

$$\Theta = \oint_s \vec{H} \cdot d\vec{s} \quad [\text{A}]$$

H ist die magnetische Feldstärke
 s ist der Rand der Fläche A



Wenn $\vec{H}$ über dem Integrationsweg $d\vec{s}$ konstant ist:

$$\oint_s \vec{H} \cdot d\vec{s} = |\vec{H}| \cdot \ell_m$$

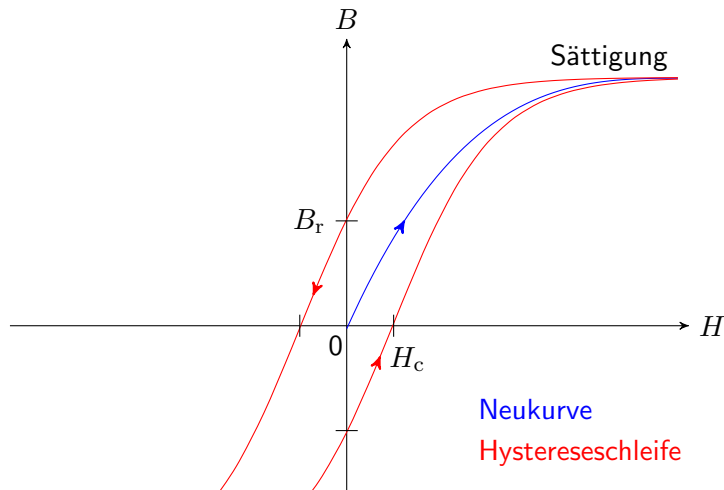
$$|\vec{H}| = \frac{\Theta}{\ell_m} \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

Eine Ringspule mit 1000 Windungen und einer mittleren Feldlinienlänge von 50 cm wird von einer Stromstärke von 100 mA durchflossen. Wie groß ist die magnetische Feldstärke?

$$\Theta = H \cdot \ell_m = N \cdot I$$
$$H = \frac{N \cdot I}{\ell_m} = \frac{1000 \cdot 0,1 \text{ A}}{0,5 \text{ m}} = 200 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Ein gerader Leiter wird mit einem Strom von $I = 50 \text{ A}$ durchflossen. Wie groß ist die magnetische Feldstärke in einem Abstand von $r = 20 \text{ cm}$?

$$H = \frac{N \cdot I}{\ell_m} = \frac{1 \cdot 50 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,2 \text{ m}} = 39,79 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$



Magnetische Flussdichte:

$$\vec{B} \quad [\text{T}]$$

Permeabilität:

$$\mu \quad [1]$$

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

Magnetischer Fluss:

$$\Phi \quad [\text{Wb}]$$

$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\vec{B} = \frac{\Phi}{\vec{A}}$$

Hartmagnetisch:

$$H_c > 10 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

z. B. Permanentmagnete

Im Inneren einer dicht gewickelten Ringspule soll die magnetische Feldstärke $H = 100 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ erzeugt werden. Die Spule hat einen mittleren Radius von 5 cm.

1. Berechnen Sie die erforderliche Stromstärke I wenn die Spule mit $N = 200$ Wicklungen versehen ist.

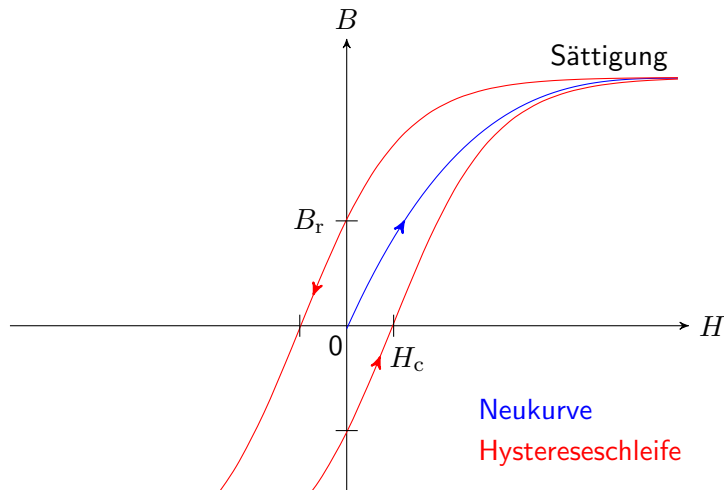
$$\Theta = H \cdot \ell_m = N \cdot I$$

$$I = \frac{H \cdot \ell_m}{N} = \frac{100 \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{200} = 157,08 \text{ mA}$$

2. Wie groß wird die Flussdichte B im Falle einer Luftspule ($\mu_r = 1$) oder einer eisengefüllten Spule ($\mu_r = 2000$ im Arbeitspunkt)?

$$B_{\text{Luft}} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 100 \frac{\text{A}}{\text{m}} = 125,6 \mu\text{T}$$

$$B_{\text{Eisen}} = 2000 \cdot B_{\text{Luft}} = 251,2 \text{ mT}$$



Magnetische Flussdichte:

$$\vec{B} \quad [\text{T}]$$

Permeabilität:

$$\mu \quad [1]$$

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

Magnetischer Fluss:

$$\Phi \quad [\text{Wb}]$$

$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\vec{B} = \frac{\Phi}{\vec{A}}$$

Hartmagnetisch:

$$H_c > 10 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

z. B. Permanentmagnete

Beispiel: Magnetische Flussdichte

Im Inneren einer dicht gewickelten Ringspule soll die magnetische Feldstärke $H = 100 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ erzeugt werden. Die Spule hat einen mittleren Radius von 5 cm.

1. Berechnen Sie die erforderliche Stromstärke I wenn die Spule mit $N = 200$ Wicklungen versehen ist.

$$\Theta = H \cdot \ell_m = N \cdot I$$

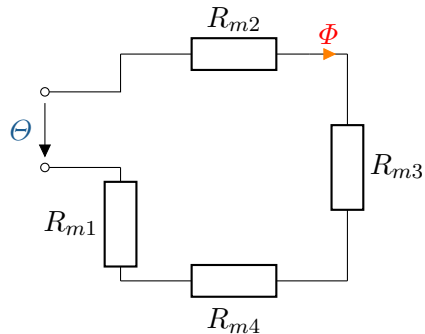
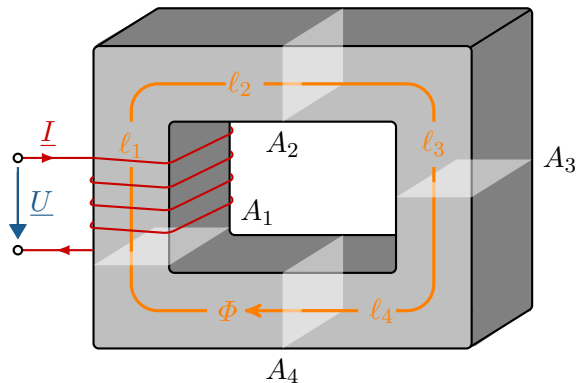
$$I = \frac{H \cdot \ell_m}{N} = \frac{100 \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{200} = 157,08 \text{ mA}$$

2. Wie groß wird die Flussdichte B im Falle einer Luftspule ($\mu_r = 1$) oder einer eisengefüllten Spule ($\mu_r = 2000$ im Arbeitspunkt)?

$$B_{\text{Luft}} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 100 \frac{\text{A}}{\text{m}} = 125,6 \mu\text{T}$$

$$B_{\text{Eisen}} = 2000 \cdot B_{\text{Luft}} = 251,2 \text{ mT}$$

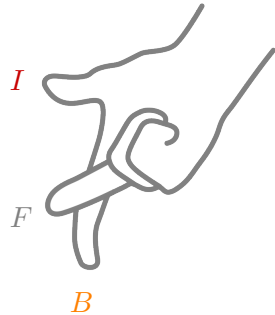
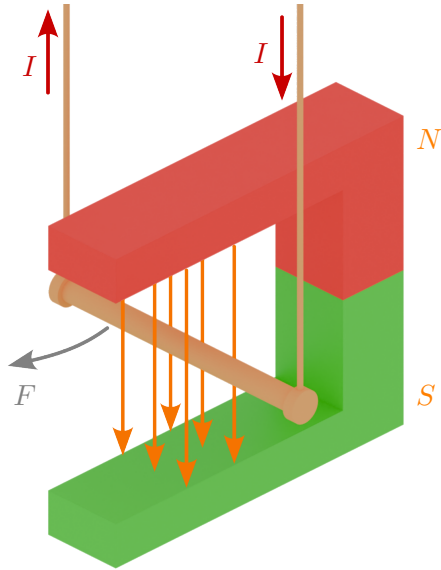
Magnetischer Widerstand

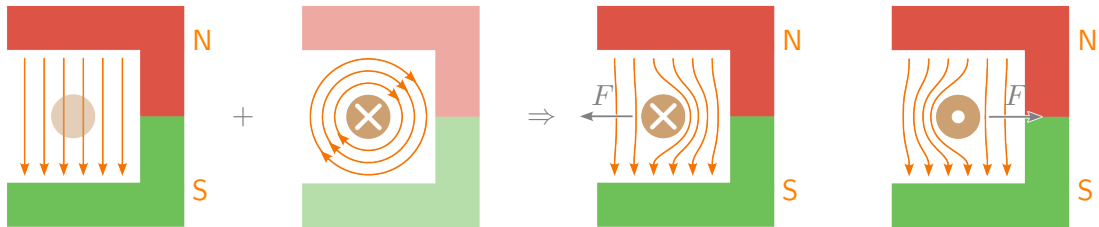


$$R_m = \frac{\ell_m}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A} \quad \left[\frac{\text{A}}{\text{V} \cdot \text{s}} \right]$$

Analog zum elektrischen Ohmschen Gesetz gilt für den magnetischen Kreis:

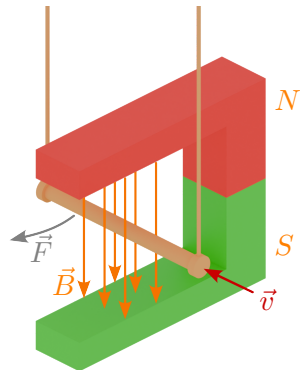
$$\Theta = R_m \cdot \Phi$$





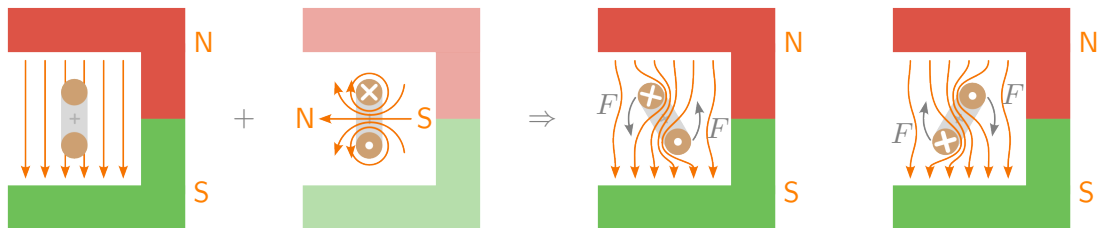
Auf eine mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ bewegte Einheitsladung q im Magnetfeld $\vec{B}$ wirkt eine Kraft:

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



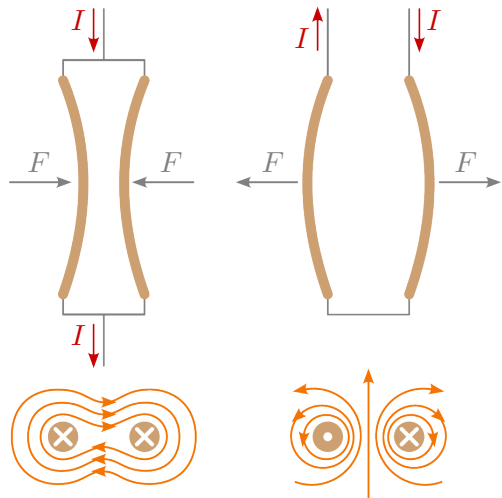
$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

$$F = I \cdot \ell \cdot N \cdot B \cdot \sin \alpha$$

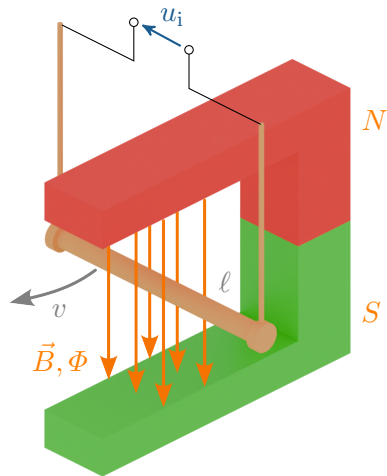


Ein Gleichstrommotor hat im Luftspalt eine magnetische Flussdichte von $B = 0,8 \text{ T}$. Unter den Polen befinden sich insgesamt $N = 400$ Wicklungen, die mit einem Strom von $I = 10 \text{ A}$ durchflossen werden. Die wirksame Leiterlänge ist $\ell = 150 \text{ mm}$. Berechnen Sie die Kraft F am Umfang des Ankers.

$$\begin{aligned} F &= B \cdot I \cdot \ell \cdot N \\ &= 0,8 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot 10 \text{ A} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 400 \\ &= 480 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{A} \cdot \text{m}}{\text{s}^3 \cdot \text{A} \cdot \text{m}^2} = 480 \text{ N} \end{aligned}$$



$$F_{12} = \frac{\ell \cdot \mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r}$$



$$u_i = B \cdot \ell \cdot v \cdot N$$

Die Höhe der induzierten Spannung hängt ab von:

- ▶ der magnetischen Flussdichte B
- ▶ der Länge des Leiters im Magnetfeld ℓ
- ▶ der Geschwindigkeit der Bewegung oder Flussänderung v
- ▶ der Anzahl der Leiter im Magnetfeld N

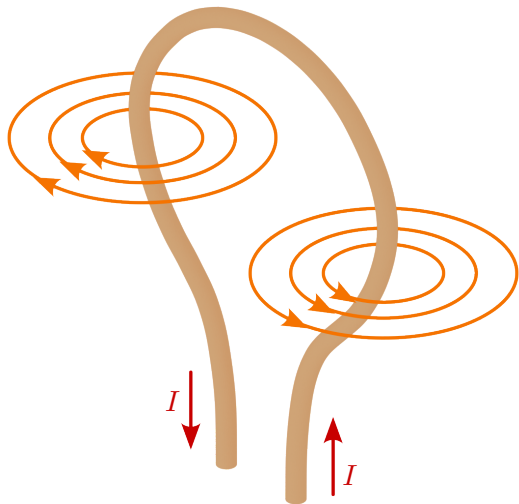
Allgemeines Induktionsgesetz:

$$u_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Lenzsche Regel:

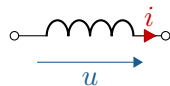
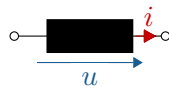
Ursache und Wirkung sind stets entgegengesetzt.

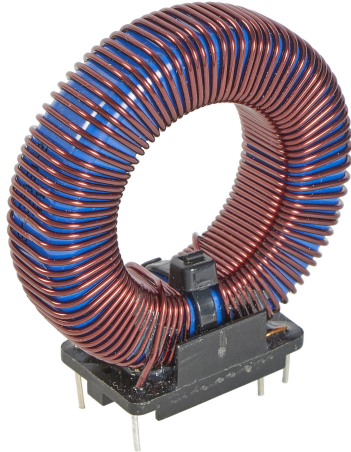




$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad [\text{H}]$$

$$u = -L \cdot \frac{di}{dt}$$





Bei einfachen geometrischen Strukturen kann die Induktivität über den magnetischen Widerstand bestimmt werden:

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

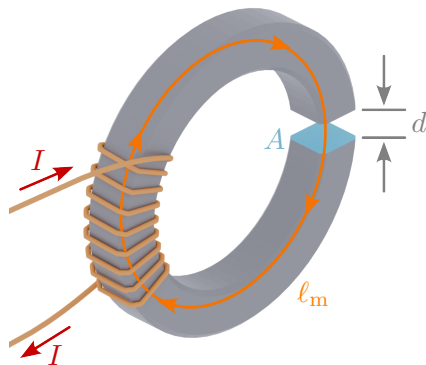
Weg 1 über die Feldgrößen:

1. Annahme einer Stromstärke $I \rightarrow$ Durchflutung
 $\Theta = N \cdot I$
2. Feldstärke berechnen
 $H = \frac{\Theta}{\ell_m}$
3. Flussdichte berechnen
 $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$
4. Magnetischen Fluss bestimmen
 $\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$
5. Induktivität
 $L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$

Weg 2 über den magnetischen Widerstand:

1. Magnetkreis in Teilabschnitte zerlegen und magnetischen Widerstand R_m berechnen
 $R_m = \frac{\ell_m}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$
2. Gesamtwiderstand berechnen (bei Reihenstruktur)
 $R_{m,ges} = \sum R_m$
3. Induktivität
 $L = \frac{N^2}{R_{m,ges}}$

Bei einer Spule mit Eisenkern und Luftspalt soll der Einfluss des Luftspaltes d auf die Induktivität L untersucht werden. Die Spule hat $N = 100$ Windungen. Die relative Permeabilität beträgt $\mu_r = 2000$. Die mittlere Eisenkernlänge beträgt $\ell_m = 5 \text{ cm}$. Die Querschnittsfläche beträgt $A = 1 \text{ cm}^2$.



- Der Luftspalt ist vorerst nicht vorhanden: $d = 0$. Wie groß ist die Induktivität L ?

$$R_m = \frac{\ell_m}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$$

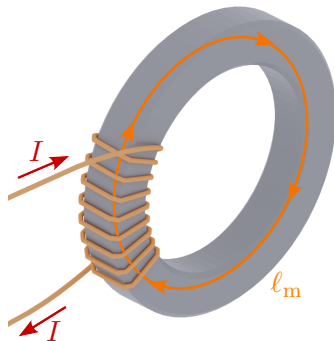
$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

$$L = \frac{100^2 \cdot 2000 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,05 \text{ m}}$$

$$L = 0,05 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 50 \text{ mH}$$

- Der Luftspalt beträgt nun $d = 1 \text{ mm}$. Wie groß ist die Induktivität?

$$\begin{aligned} R_m &= R_{m,\text{Fe}} + R_{m,\text{L}} \\ &= \frac{\ell_m - d}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A} + \frac{d}{\mu_0 \cdot A} \\ &= \frac{0,05 \text{ m} - 0,001 \text{ m}}{2000 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{0,001 \text{ m}}{1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \\ L &= 1,226 \text{ mH} \end{aligned}$$



$$p = \frac{dW}{dt} = u \cdot i \quad u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

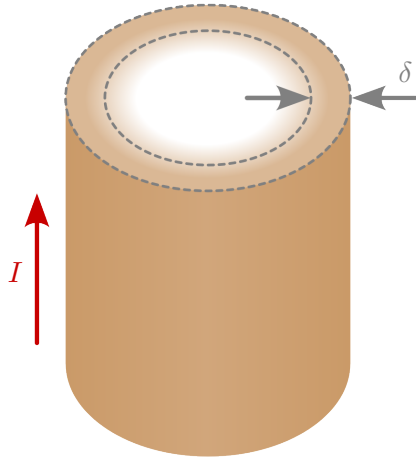
$$dW_m = u_L \cdot i_L \cdot dt = L \cdot \frac{di}{dt} \cdot i_L \cdot dt = L \cdot i_L \cdot di_L$$

$$\begin{aligned} W_m &= L \cdot \int_0^I i_L \cdot di_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot N \cdot \Phi \cdot I \end{aligned}$$

Berechnung über die Feldgrößen:

$$\begin{aligned} W_m &= \ell_m \cdot A \cdot \int_0^{B_L} H dB \\ &= \ell_m \cdot A \cdot \frac{B_L^2}{2 \cdot \mu_r \cdot \mu_0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_m}{V} &= \frac{B_L^2}{2 \cdot \mu_0} = \frac{F}{A} \\ F &= \frac{B_L^2}{2 \cdot \mu_0} \cdot A \end{aligned}$$



Wechselspannung nutzt nur die Oberfläche eines Leiters.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho_R}{\pi \cdot \mu \cdot f}}$$

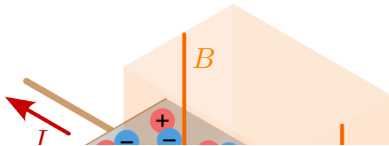
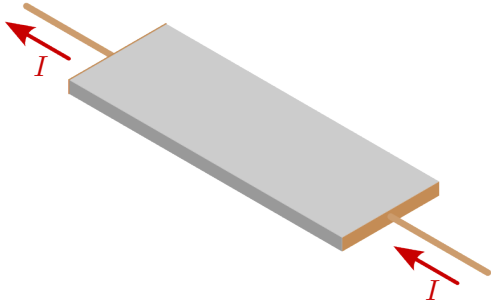
Frequenz	Skin-Tiefe δ_{Cu}
5 Hz	29,7 mm
50 Hz	9,38 mm
500 Hz	2,97 mm
500 kHz	93,8 μm

Ein Kupferleiter wird mit Strom der Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$ durchflossen. Für den Leiter sind folgende Werte gegeben:

- ▶ Absolute magnetische Permeabilität: $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$
- ▶ Spezifischer Widerstand: $\rho_R = 0,01721 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Berechnen Sie die Skin-Tiefe δ des Leiters.

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\rho_R}{\pi \cdot \mu \cdot f}} \\ \delta &= \sqrt{\frac{0,01721 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 50 \text{ Hz}}} \\ \delta &\approx 9,34 \text{ mm}\end{aligned}$$



Ein mit der Stromstärke $I = 2 \text{ A}$ stromdurchflossenes Metallplättchen mit der Dicke $d = 1 \text{ cm}$ befindet sich in einem Magnetfeld mit der Flussdichte $B = 0,5 \text{ T}$. Die Hall-Konstante des Materials beträgt $A_H = 3,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$. Berechnen Sie die Hall-Spannung.

$$\begin{aligned}U_H &= A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d} \\U_H &= 3,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{C}} \cdot \frac{2 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ T}}{0,01 \text{ m}} \\U_H &= 0,32 \text{ V}\end{aligned}$$