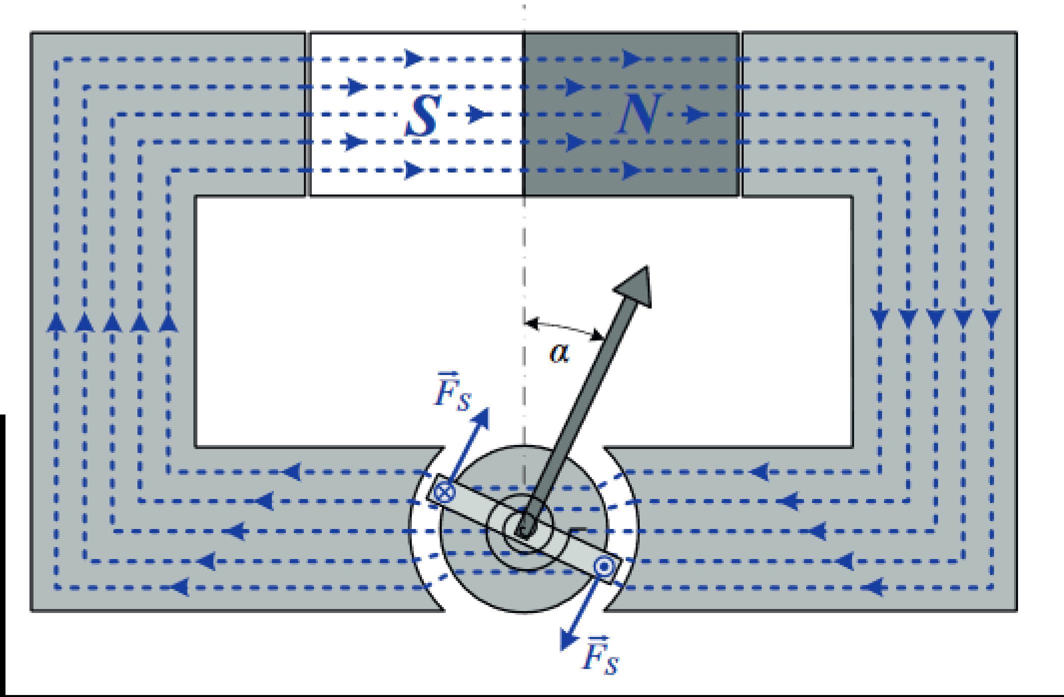
Übungsstunde 10 – Stationäres Magnetfeld

Nachbesprechung

3) c)

Welchen Widerstand muss R_s aufweisen, damit bei einer Windungszahl von $N_s = 350$ für eine Spannung $U_M = 50\,V$ der Vollausschlag von 30° erreicht wird?



Superposition

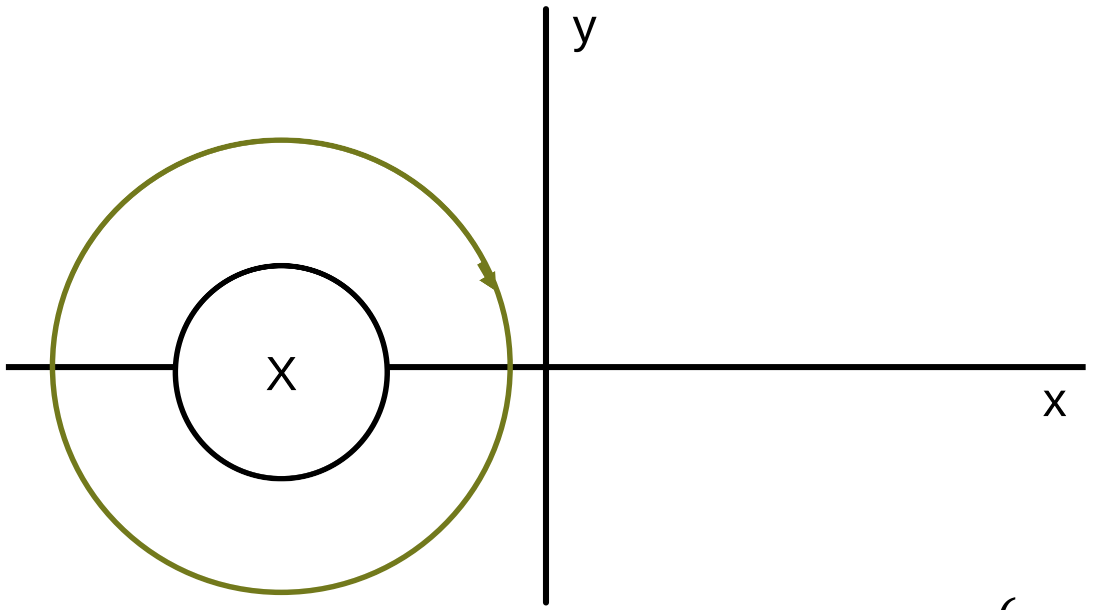
Berechnen Sie das Magnetische Feld folgender Anordnung. Der **Abstand** der Leiterzentren zum Ursprung sei **a**, der **Radius R** und es **fliesse der Strom I**

Feld eines Leiters im Ursprung in Zylinderkoordinaten

$$\vec{H}(\rho) = \begin{cases} \pm \dfrac{I}{2\pi\rho} \cdot \dfrac{\rho^2}{R^2} \cdot \vec{e}_\varphi, \rho < R \\ \pm \dfrac{I}{2\pi\rho} \cdot \vec{e}_\varphi, p \geq R \end{cases} \xrightarrow[\vec{e}_\varphi = \frac{1}{\rho} \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix}]{\rho = \sqrt{x^2+y^2}} \vec{H}(x,y) = \begin{cases} \pm \dfrac{I}{2\pi} \cdot \dfrac{1}{R^2} \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix}, & (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}} < R \\ \pm \dfrac{I}{2\pi(x^2+y^2)} \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x \end{pmatrix}, & (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}} \geq R \end{cases}$$

Superposition

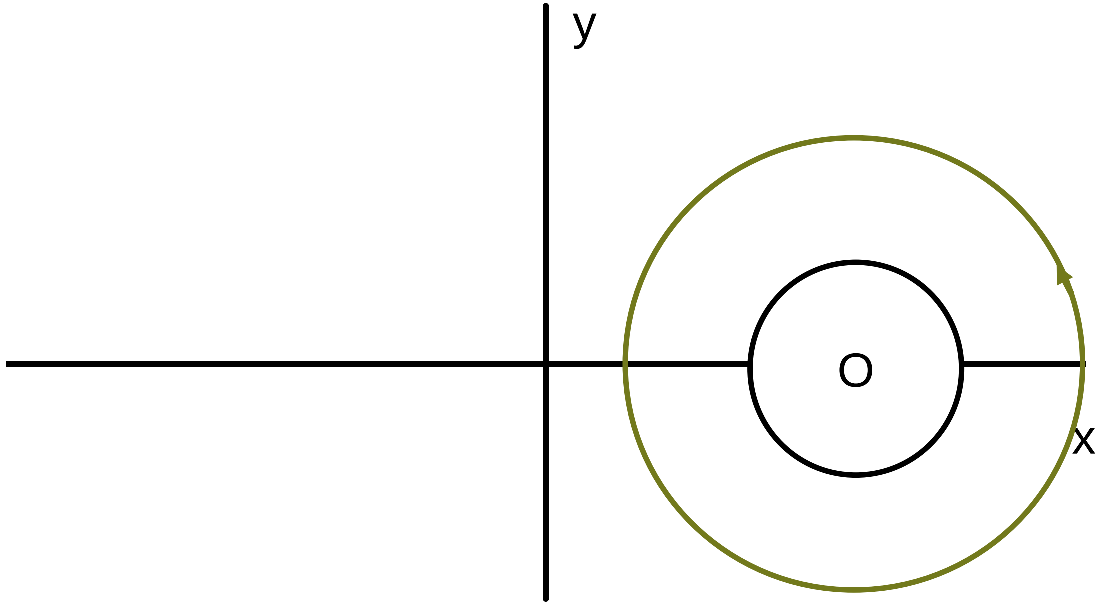
Berechnen Sie das Magnetische Feld folgender Anordnung. Der **Abstand** der Leiterzentren zum Ursprung sei **a**, der **Radius R** und es **fliesse der Strom I**



$$\overrightarrow{H_1}(x,y) = \begin{cases} -\frac{I}{2\pi} \cdot \frac{1}{R^2} \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x + a \end{pmatrix}, & \left((x+a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} < R \\ -\frac{I}{2\pi\left((x+a)^2+y^2\right)} \cdot \begin{pmatrix} -y \\ x+a \end{pmatrix}, & \left((x+a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} \geq R \end{cases}$$

Superposition

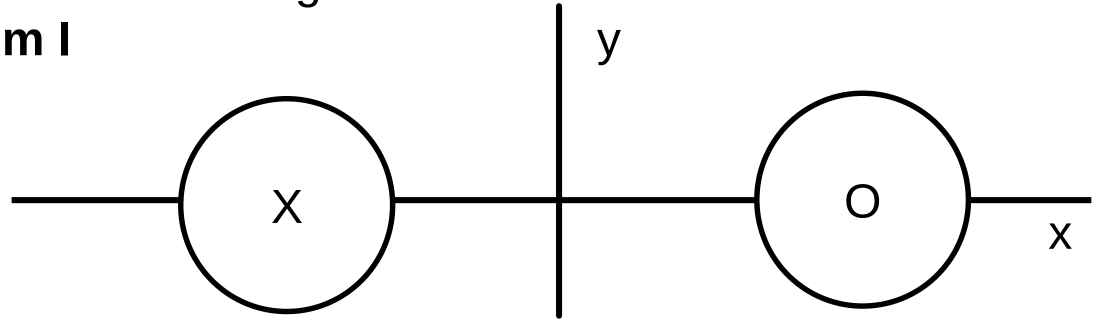
Berechnen Sie das Magnetische Feld folgender Anordnung. Der **Abstand** der Leiterzentren zum Ursprung sei **a**, der **Radius R** und es **fliesse der Strom I**



$$\overrightarrow{H_2}(x,y) = \begin{cases} \frac{I}{2\pi}\cdot\frac{1}{R^2}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x-a\end{pmatrix}, & \left((x-a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} < R \\ \frac{I}{2\pi\left((x-a)^2+y^2\right)}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x-a\end{pmatrix}, & \left((x-a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} \geq R \end{cases}$$

Superposition

Berechnen Sie das Magnetische Feld folgender Anordnung. Der **Abstand** der Leiterzentren zum Ursprung sei **a**, der **Radius R** und es **fliesse der Strom I**



Im linken Leiter

$$\overrightarrow{H_{ges}}(x,y) = \begin{cases} \overbrace{\frac{I}{2\pi\left((x-a)^2+y^2\right)}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x-a\end{pmatrix}}^{\text{Aussenfeld des rechten Leiters}} - \overbrace{\frac{I}{2\pi}\cdot\frac{1}{R^2}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x+a\end{pmatrix}}^{\text{Innenfeld des linken Leiters}}, & \left((x+a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} < R \\ \frac{I}{2\pi}\cdot\frac{1}{R^2}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x-a\end{pmatrix} - \frac{I}{2\pi\left((x+a)^2+y^2\right)}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x+a\end{pmatrix}, & \left((x-a)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}} < R \\ \frac{I}{2\pi\left((x-a)^2+y^2\right)}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x-a\end{pmatrix} - \frac{I}{2\pi\left((x+a)^2+y^2\right)}\cdot\begin{pmatrix}-y\\ x+a\end{pmatrix}, & sonst \end{cases}$$

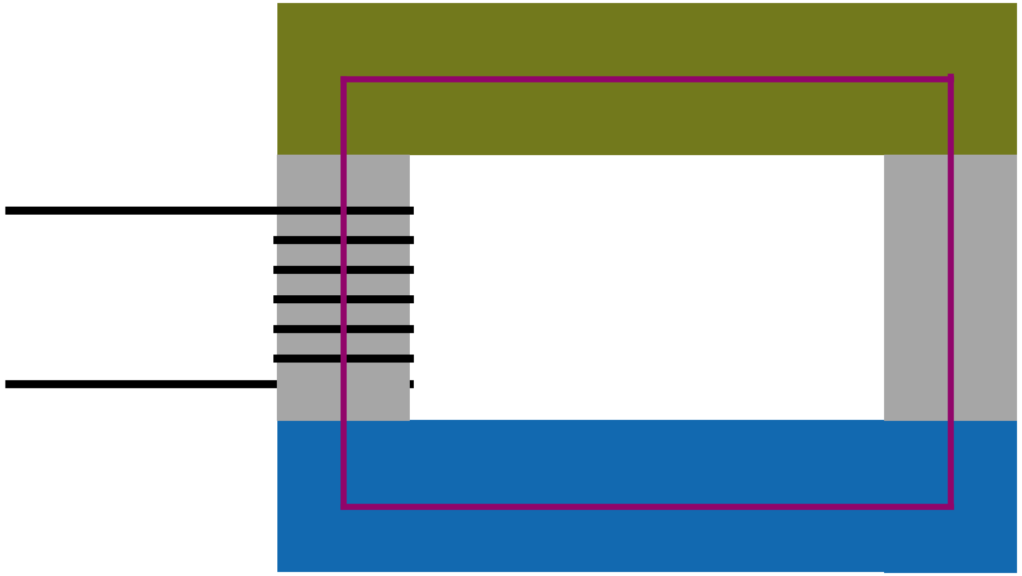
Im rechten Leiter

Theorie

Durchflutung

$$\Theta = \oint_s \vec{H} \cdot d\vec{s} = I_{eff}, \qquad [A]$$

Falls mehrere Materialien verwendet werden, kann das **Integral aufgeteilt** werden:



$$\Theta = N \cdot I = \oint_s \vec{H} \cdot d\vec{s}$$

$$= \int_{s1} \vec{H}_1 \cdot d\vec{s} + \int_{s2} \vec{H}_2 \cdot d\vec{s} + \int_{s3} \vec{H}_3 \cdot d\vec{s} + \int_{s4} \vec{H}_4 \cdot d\vec{s}$$

$$\cong \underline{\underline{|\mathrm{H}_1| \cdot l_{s1} + |\mathrm{H}_2| \cdot l_{s2} + |\mathrm{H}_3| \cdot l_{s3} + |\mathrm{H}_4| \cdot l_{s4}}}$$

$$= B\left(\frac{l_{s1}}{\mu_1} + \frac{l_{s2}}{\mu_2} + \frac{l_{s3}}{\mu_3} + \frac{l_{s4}}{\mu_4}\right)$$

Magnetische Spannung

«Die **Magnetische Spannung $\boldsymbol{V_M}$** beschreibt das Wegintegral über das H-Feld»

«Die Summe der Magnetischen Spannungen ist gleich der Durchflutung

$$\Theta = \int_{s1} \vec{H}_1 \cdot d\vec{s} + \int_{s2} \vec{H}_2 \cdot d\vec{s} + \int_{s3} \vec{H}_3 \cdot d\vec{s} + \int_{s4} \vec{H}_4 \cdot d\vec{s}$$

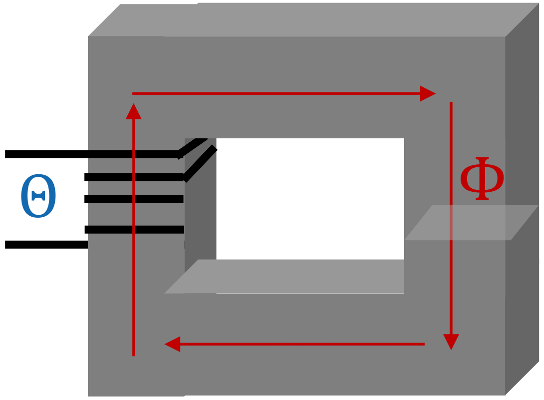
$$= V_{M1} + V_{M2} + V_{M3} + V_{M4}$$

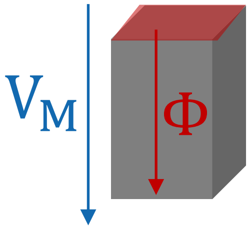
Magnetischer Widerstand

Frage: Wie viel Magnetischer Fluss ($\Phi \propto \boldsymbol{B}$) baut sich in einem Material auf, wenn eine gewisse Magnetische Spannung ($V_M \propto \boldsymbol{H}$) angelegt wird?

$$R_M = \frac{V_M}{I_M} = \frac{V_M}{\Phi} = \frac{\int_s \vec{H} \cdot d\vec{s}}{\iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}}$$

$$\cong \frac{H \cdot l_s}{B \cdot A} = \frac{\frac{B}{\mu_s} \cdot l_s}{B \cdot A} = \frac{l_s}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$$





Induktivität

„Ist die Fähigkeit eines Bauelementes magnetische Energie zu Speichern“

„Wieviel **magnetischer Fluss** baut sich im Material auf, wenn ein gewisser **Strom** fliesst?“

$$\Phi = I \cdot L$$

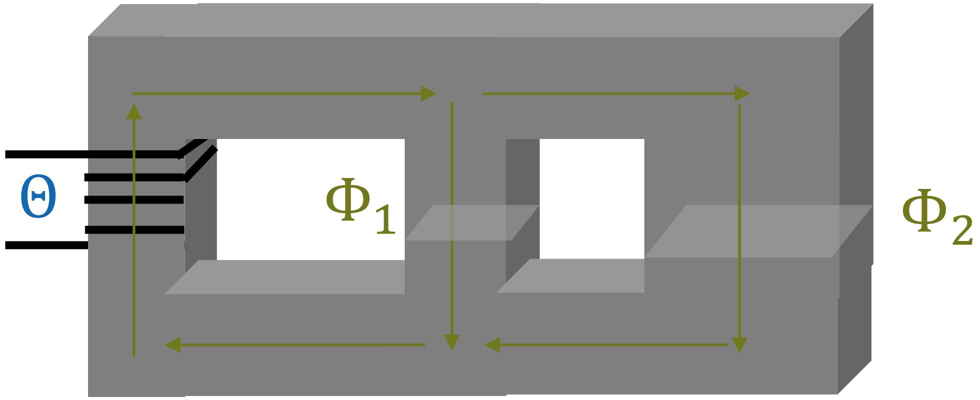
$$\boxed{L \ := \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{\mathrm{N}^2}{R_m}, \qquad [L] = H}$$

Im Material gespeicherte Energie

$$\boxed{W_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2}$$

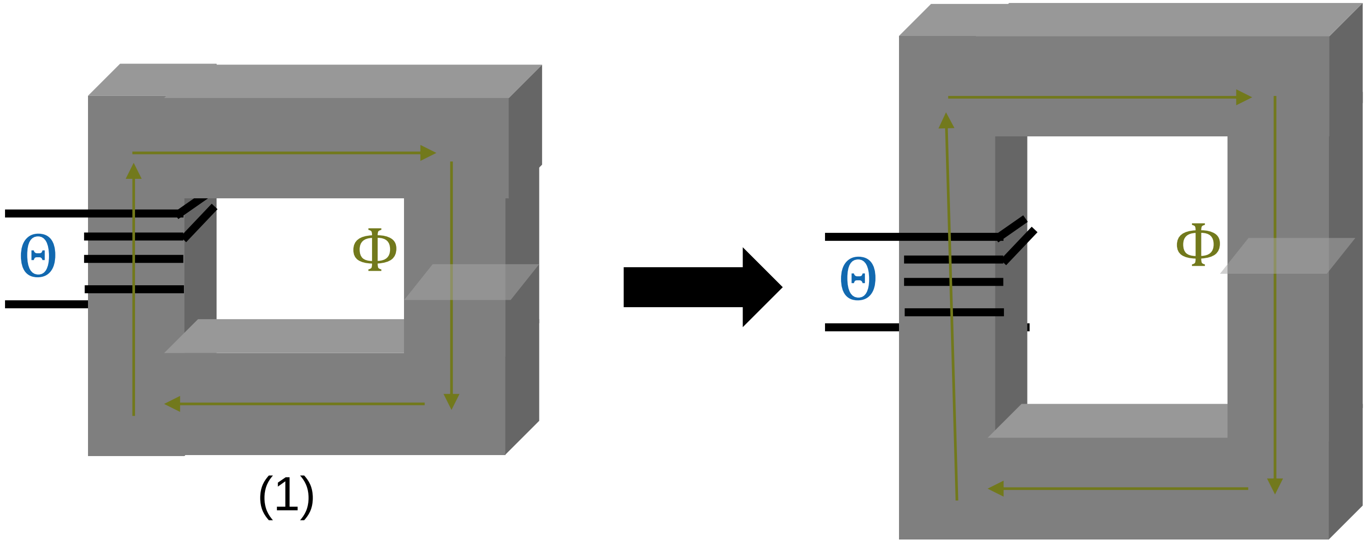
Multiple Choice Fragen

1)



https://goo.gl/zfgtc5

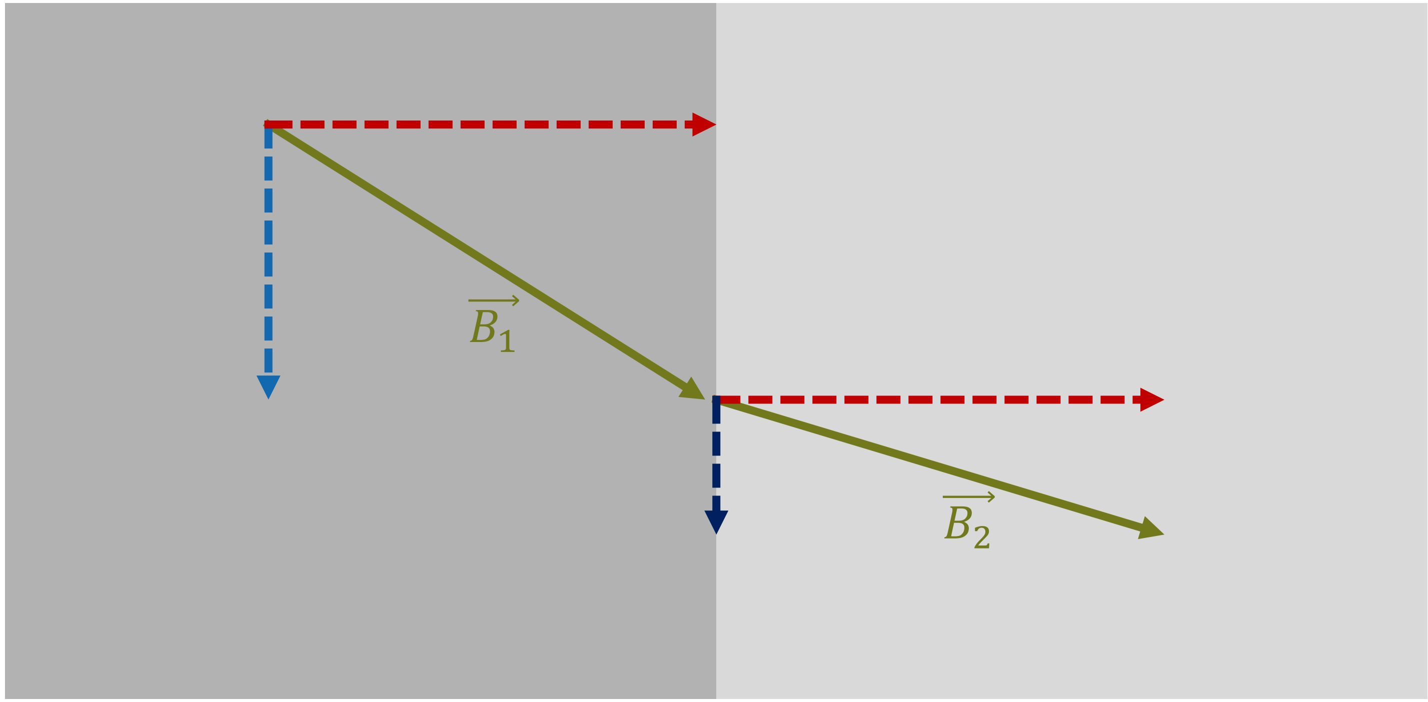
2)



(1) (2)

Verhalten an Randflächen: B-Feld

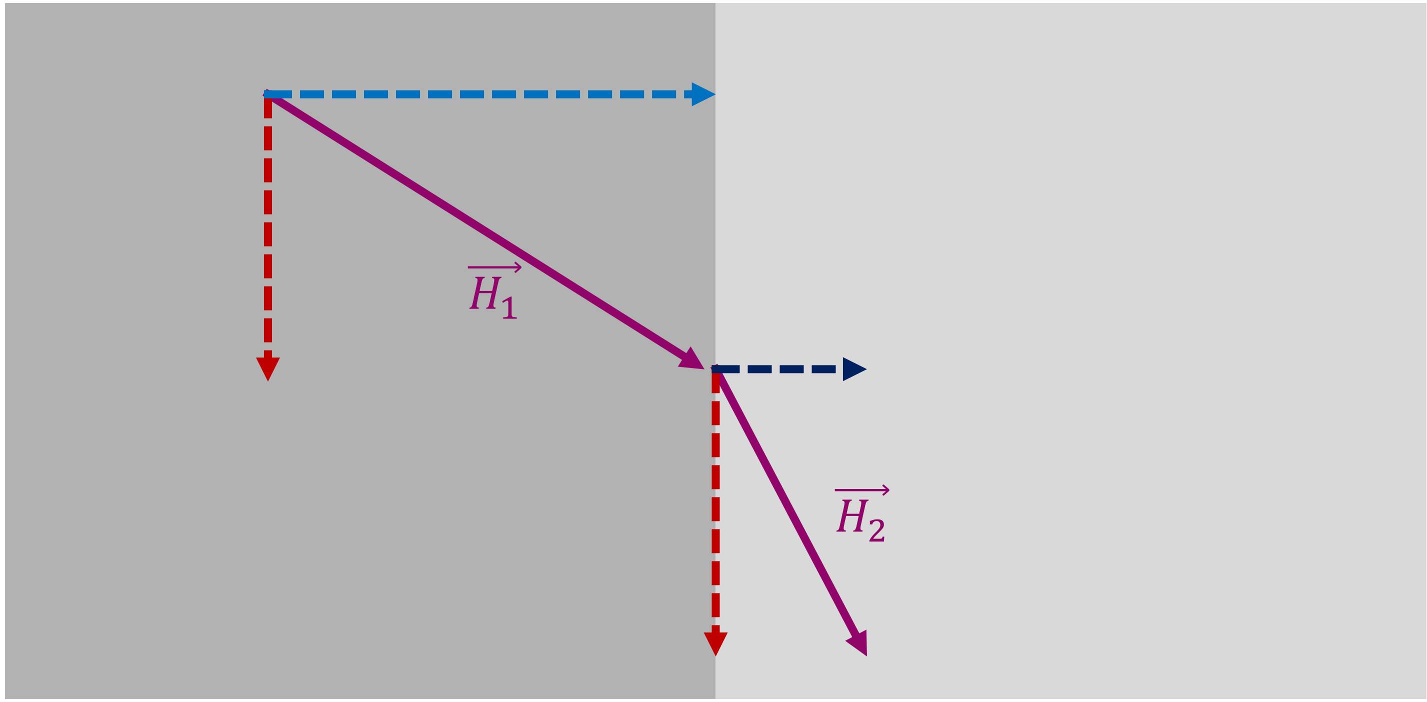
Tritt ein B-Feld auf ein Materialübergang, so bleibt die **Normalkomponente** gleich Gross



Es gilt: $B_{t2} = B_{t1} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1}$

Verhalten an Randflächen: H-Feld

Trift ein H-Feld auf ein Materialübergang, so bleibt die **Tangentialkomponente** gleich Gross



Es gilt: $H_{n1} = H_{n2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1}$

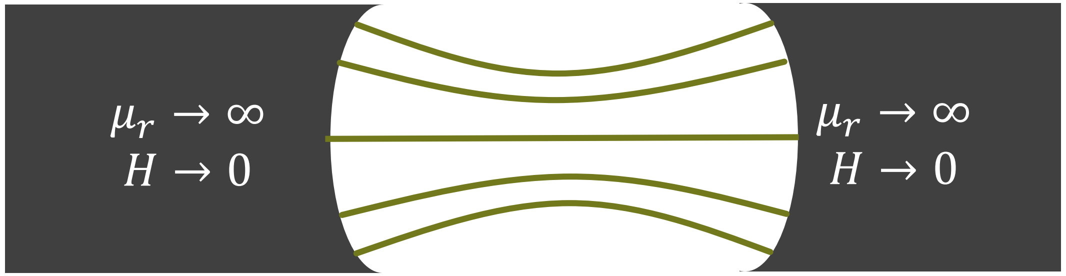
Konsequenz

1) «Feldlinien treten senkrecht aus idealen magnetischen Leiter aus»

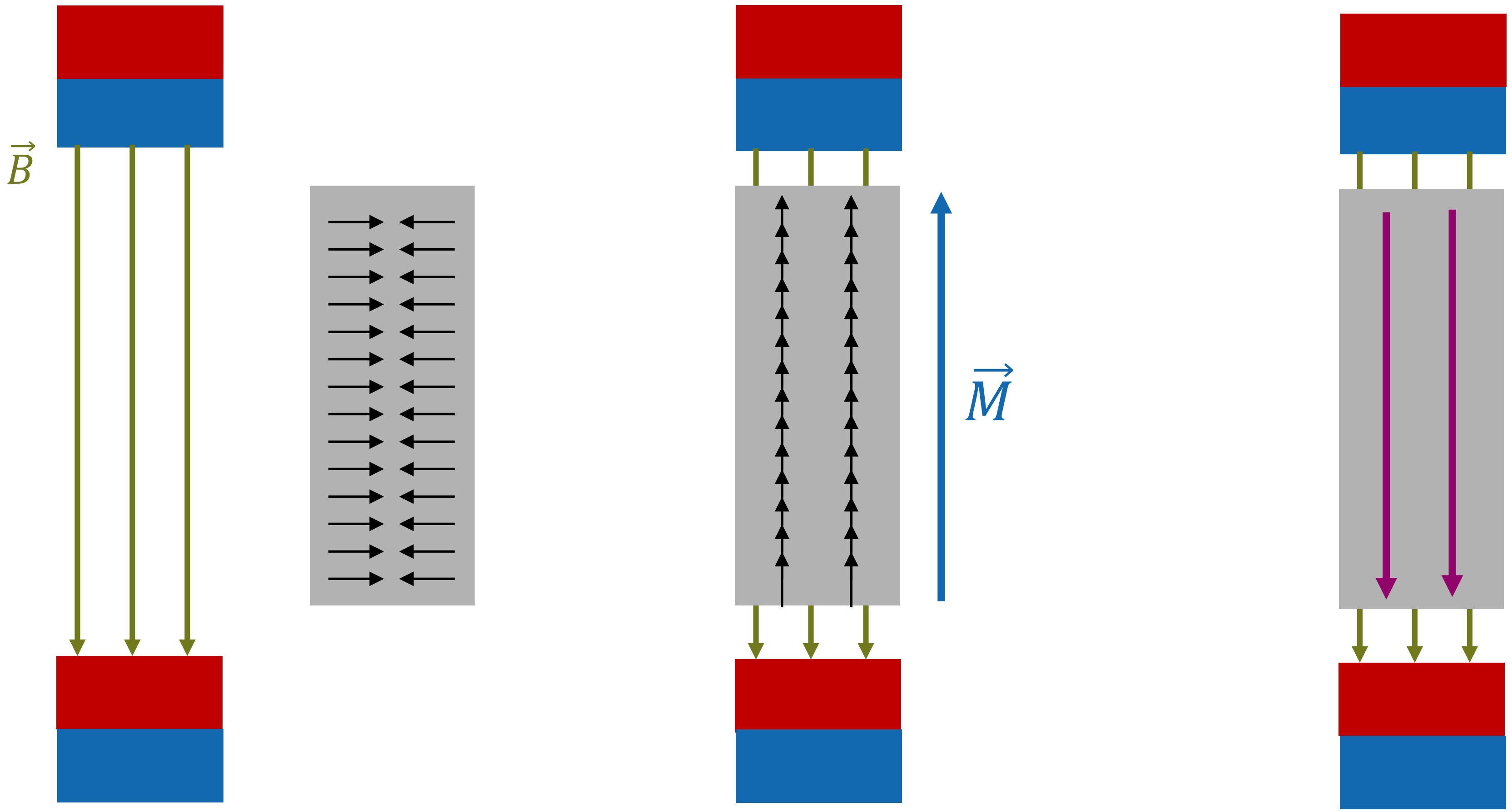
$$B_{t2} = \lim_{\mu_1 \to \infty} B_{t1} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} = 0$$

2) «Das H-Feld in einem idealen Leiter verschwindet»

$$H = \lim_{\mu \to \infty} \frac{B}{\mu} = 0$$



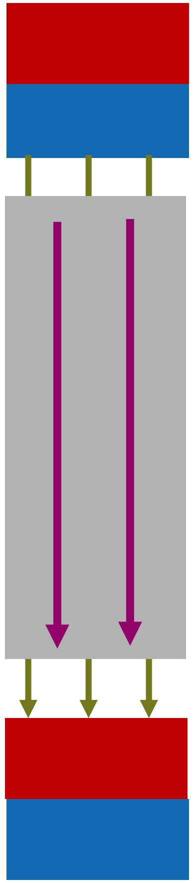
Die Hysteresekurve



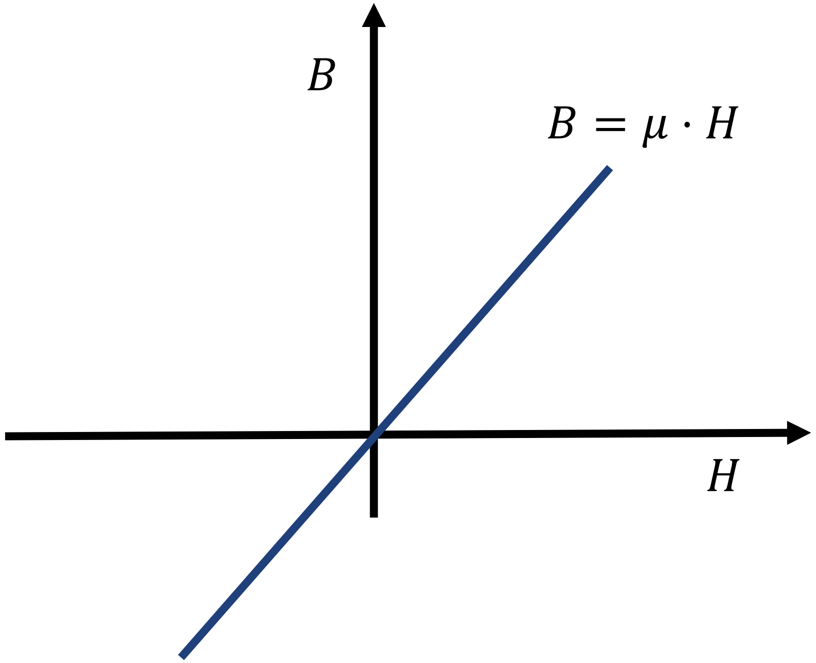
$$\vec{H} = \vec{B} - \vec{M} = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r}\vec{B}$$

Die Hysteresekurve

Annahme bis jetzt: H Feld proportional zum B-Feld

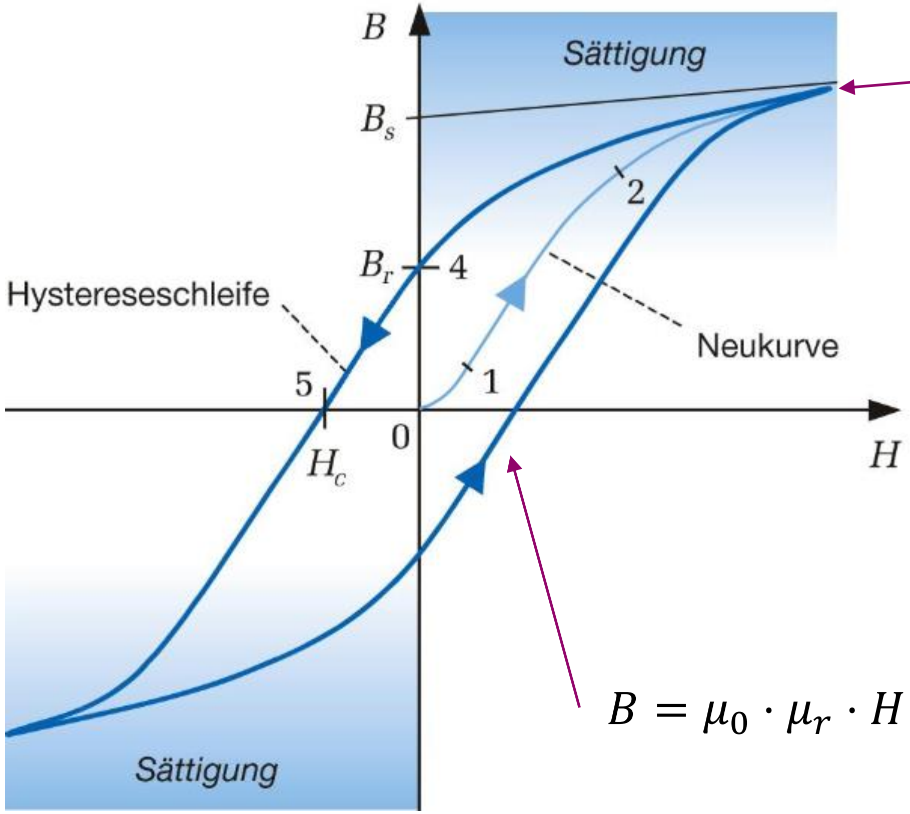


$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \cdot \mu_r}$$



Die Hysteresekurve

Realität: «Magnetische Materialien besitzen ein Gedächtnis»



$B = \mu_0 \cdot H$

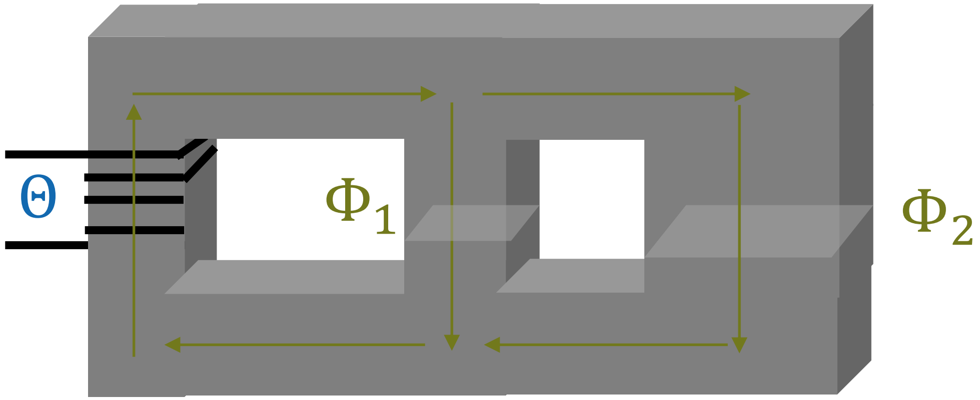
Material kann nicht mehr weiter Magnetisiert werden

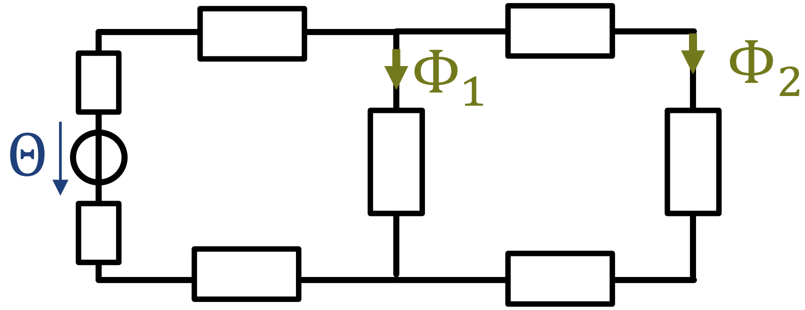
$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$

Das Reluktanzmodel

	Magnetische Grösse	Elektrische Grösse
Spannung	$V_M = \int_{\boldsymbol{s}} \boldsymbol{H} \cdot d\boldsymbol{s}$	$U = \int_{\boldsymbol{s}} \boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{s}$
Strom	$\Phi = \iint_A \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{A} = \iint_A \mu \cdot \boldsymbol{H} \cdot d\boldsymbol{A}$	$\mathrm{I} = \iint_A \kappa\boldsymbol{E} \cdot d\boldsymbol{A}$
Widerstand	$R_m = \frac{\theta}{\Phi} = \frac{\mathrm{l}}{\mu \cdot A}$	$R = \frac{U}{\mathrm{I}} = \frac{l}{\kappa \cdot A}$

Das Reluktanzmodel



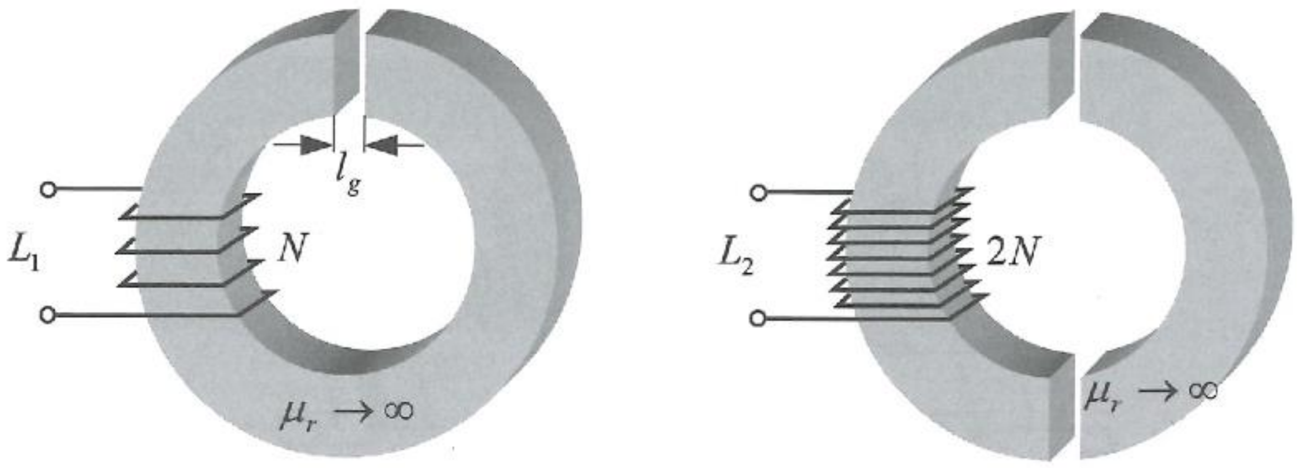


	Magnetische Grösse	Elektrische Grösse
U=RI	$V_M = \Phi \cdot R_M$	$U = R \cdot I$
Knotengleichung	$0 = \sum_{Knoten} \Phi_i$	$0 = \sum_{Knoten} \mathrm{I}_i$
Maschengleichung	$0 = \sum_{Masche} V_M$	$0 = \sum_{Masche} U$

Nur, falls als Quelle Θ eingezeichnet.
Sonst $\Theta = \sum_{Masche} V_M$

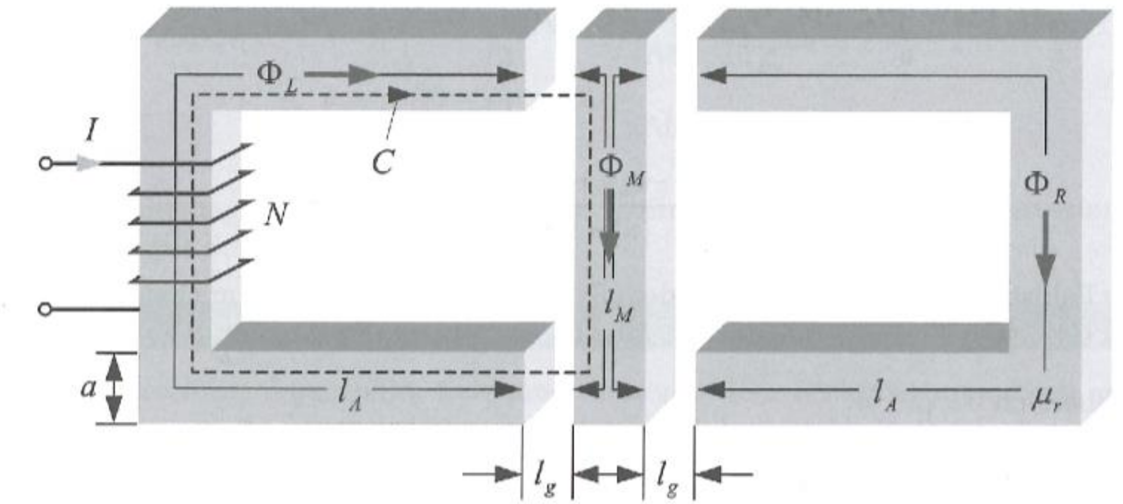
Beispiel

Wie ändert sich die Induktivität dieser Spule, wenn ein 2-er Luftspalt mit Länge l_g hinzugefügt und die Anzahl Windungen verdoppelt wird?

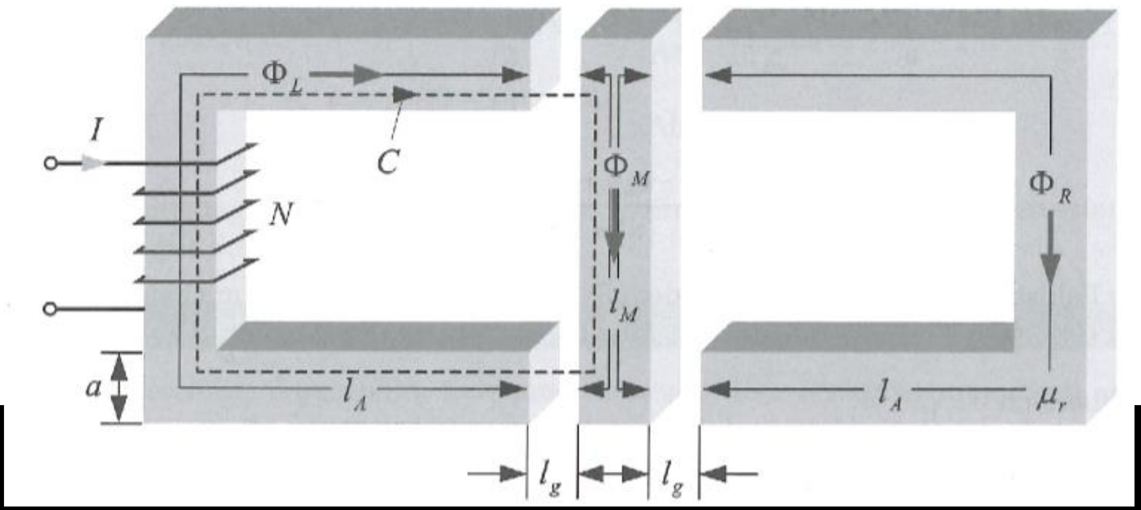


Aufgabe

1. Geben Sie die magnetische Widerstände R_{mL} und R_{mR} des linken und rechten U-Kerns mit Luftspalt sowie R_{mM} des mittleren Jochs
2. Ermitteln sie die Durchflutung Θ und zeichnen sie ein Ersatzschaltbild
3. Berechnen Sie die Magnetischen Flüsse Φ_L, Φ_R und Φ_M
4. Bestimmen sie die Induktivität L der Anordnung



Aufgabe



[redacted]