Üb. 5.2.1/1:

a) Die Geschwindigkeit V_1, die ein Elektron beim Durchlaufen des Potentialunterschiedes U_a erreicht, berechnet sich aus dem Energiegleichgewicht:
Verlust an potentieller Energie W_{pot} ist gleich dem Gewinn an kinetischer Energie

$W_{kin} = \frac{m_0 v_1^2}{2}$

$W_{pot} = \int_0^L F \cdot ds$ F= e ·E $U_a = \int_0^L E \cdot ds$ = E·L $\Longrightarrow E = \frac{U_a}{L}$

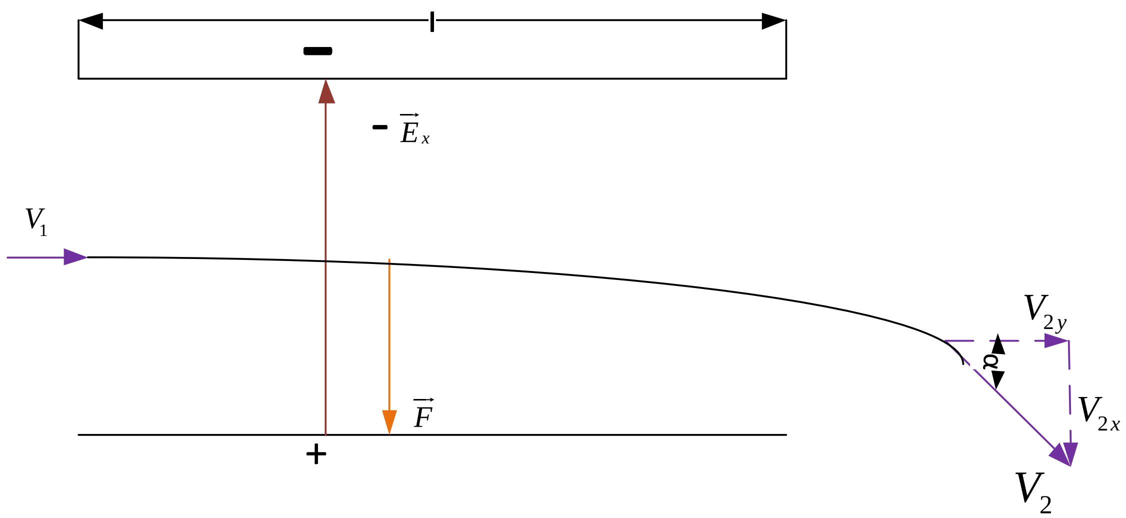
$\Longrightarrow \; F = e \cdot \frac{U_a}{L}$

$W_{pot} = F \cdot L = \frac{e \cdot U_a}{L} \cdot L = e \cdot U_a$

$e \cdot U_a = \frac{m_0 v_1^2}{2} \Longrightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_a}{m_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} Asec \cdot 2 \cdot 10^3 V}{9{,}108 \cdot 10^{-31}\, kg}}$

$$\mathbf{V_1 = 26524{,}655\ \frac{km}{sec}}$$

b1)



siehe Bsp. 5.2.1/3:

$F = e \cdot E_x = m_0 \cdot a$

Beschleunigung findet nur in x-Richtung statt.

$a_x = \frac{e \cdot E_x}{m_0}$ $\qquad a_y = 0$

$V = \int a \cdot dt + V_0$

$V_x = \frac{e \cdot E_x}{m_0} \cdot t$

$V_y = V_1$

$V_{2y} = V_y = V_1 = const.$

$V_{2x} = V_{x(t_2)} = \frac{e \cdot E_x}{m_0} \cdot t_2$ $\qquad t_2 = \frac{l}{V_1}$

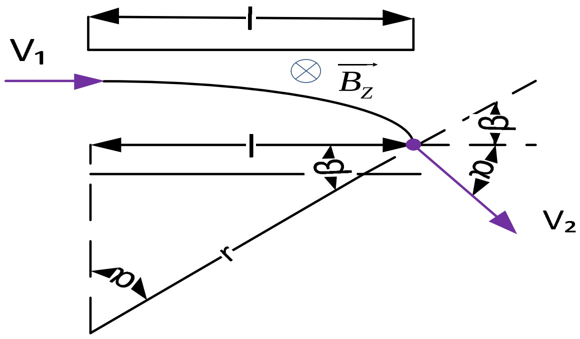
$$V_{2x} = \frac{e \cdot E_x}{m_0} \cdot \frac{l}{V_1}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{V_{2x}}{V_{2y}} = \frac{\frac{e \cdot E_x}{m_0} \cdot \frac{l}{V_1}}{V_1} = \frac{e \cdot l}{m_0} \cdot \frac{E_x}{V_1^2} = \frac{e \cdot l \cdot E_x}{m_0 \cdot \frac{2 \cdot l \cdot E_x}{m_0}} = \frac{l \cdot E_x}{2 \cdot U_a}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19} Asec \cdot 3{,}5 \cdot 10^{-2} m \cdot 4{,}16 \cdot 10^{-4}\, V/m}{9{,}108 \cdot 10^{-31} \cdot \frac{V \cdot Asec^3}{m^2} \cdot (2{,}6524655 \cdot 10^7 \frac{m}{sec})^2} = 0{,}364$$

$$\tan(\alpha) = \frac{3{,}5 \cdot 10^{-2}\, m \cdot 4{,}16 \cdot 10^4\, V}{2 \cdot 2 \cdot 10^3 V \quad m} = 0{,}364 \qquad \Rightarrow \qquad \boldsymbol{\alpha = 20°}$$

b2)



Aus Bsp. 5.2.1/3 $r = \frac{m_0 \cdot V_1}{e \cdot B_z}$

$$\boldsymbol{\sin(\alpha) = \frac{l}{r} = \frac{l \cdot e \cdot B_z}{m_0 \cdot V_1}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{3{,}5 \cdot 10^{-2}\, m \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} Asec \cdot 3{,}05 \cdot 10^{-3} Vsec}{9{,}108 \cdot 10^{-31} \frac{V \cdot Asec^3}{m^2} \cdot 2{,}6524655 \cdot 10^7 \frac{m}{sec} \cdot m^2} = 0{,}7078$$

$$\boldsymbol{\alpha = 45{,}06°}$$

c1) $V_{2x} = \frac{e \cdot E_x}{m_0} \cdot \frac{l}{V_1} \cdot \frac{V_1}{V_1} = \frac{e \cdot E_x \cdot l \cdot V_1}{m_0 \frac{2 \cdot e \cdot U_a}{m_0}} = \frac{E_x \cdot l \cdot V_1}{2 \cdot U_a} = \tan(\alpha) \cdot V_1$

$$V_{2x} = 0{,}364 \cdot V_1$$

$$V_{2y} = V_1 \qquad V_2 = \sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2} = \sqrt{\tan^2(\alpha) \cdot V_1^2 + V_1^2} = V_1 \cdot \sqrt{1 + \tan^2(\alpha)}$$

$$V_2 = 26524{,}655 \frac{km}{sec} \cdot \sqrt{1 + 0{,}364^2} = \mathbf{28227{,}218} \boldsymbol{\frac{km}{sec}} = f(\alpha)$$

c2) $\boldsymbol{V_2 = V_1}$

Vorteile: gleiche Bildhelligkeit

größerer Ablenkwinkel bei gleicher Baugröße

Nachteil: niedrigere Grenzfrequenz durch Induktivitäten

Üb. 5.2.3.1/1:

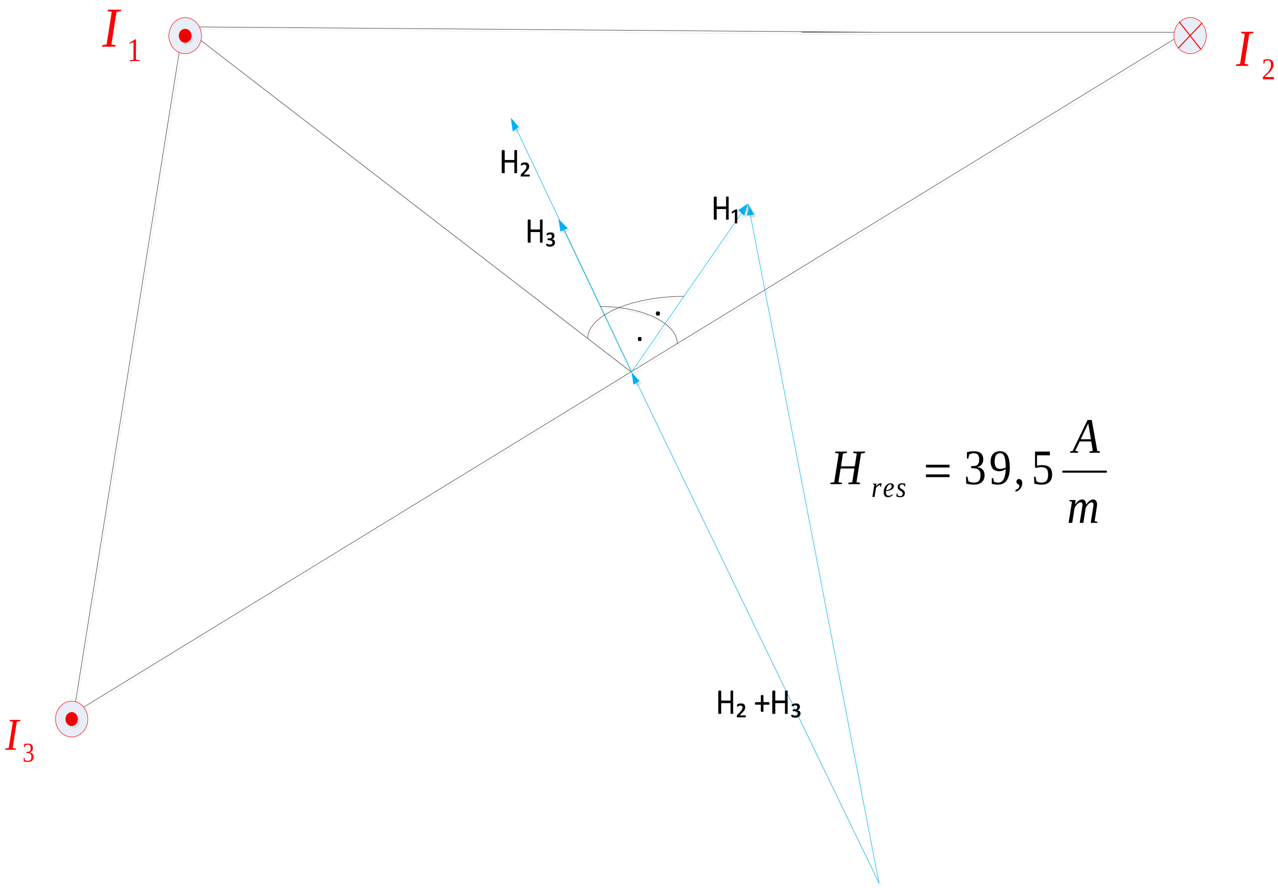
Abgelesen $r_1 = 345$ mm

Aus Bsp. 5.2.3.1/1: $H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$

$$H_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r_1} = \frac{20\ A}{2 \cdot \pi \cdot 34{,}5\ cm} = 9{,}23\,\frac{A}{m}$$

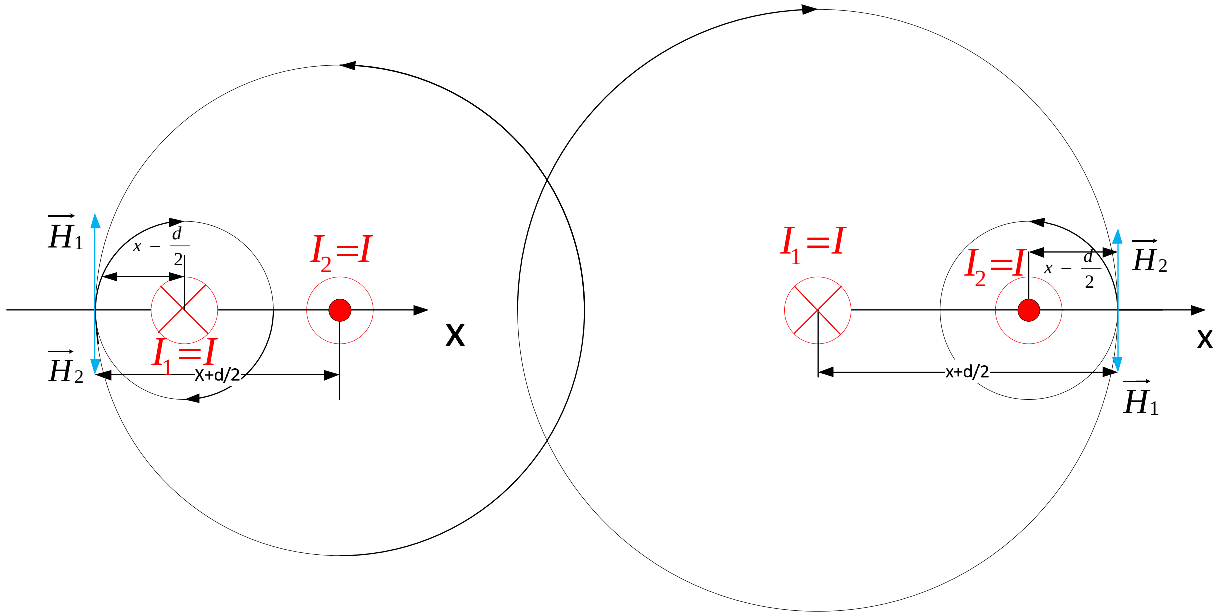
$$H_2 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r_2} = \frac{55\ A}{2 \cdot \pi \cdot 41{,}5\ cm} = 21{,}1\,\frac{A}{m}$$

$$H_3 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r_3} = \frac{35\ A}{2 \cdot \pi \cdot 41{,}5\ cm} = 13{,}4\,\frac{A}{m}$$



Üb. 5.2.3.1/2:

a) Aus Bsp. 5.2.3.1/1 : $H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$



$$H_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi (x - \frac{d}{2})}$$

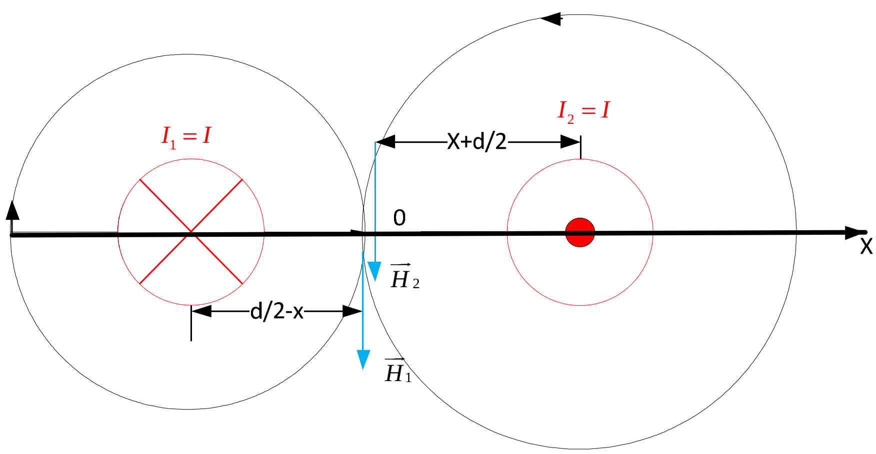
$$H_2 = \frac{I}{2 \cdot \pi (x + \frac{d}{2})}$$

$$H_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi (x + \frac{d}{2})}$$

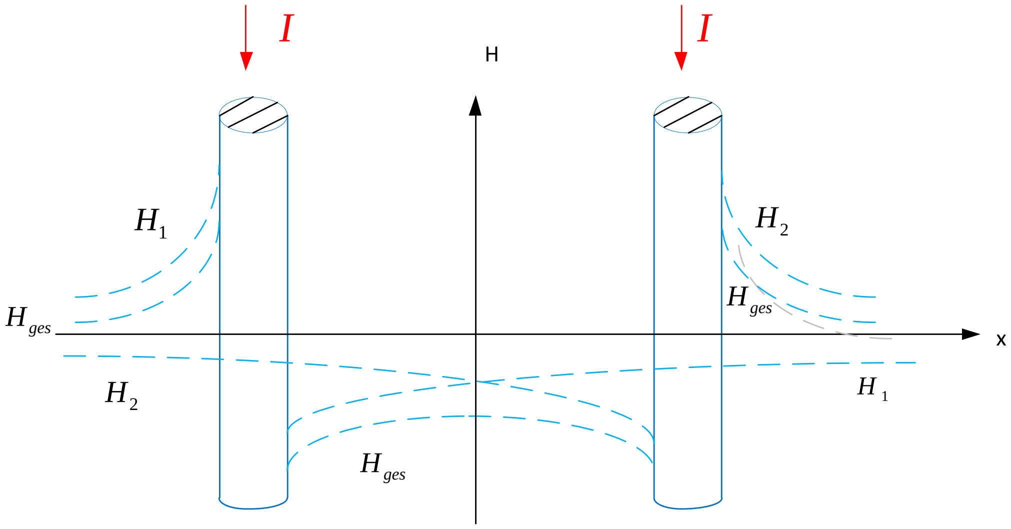
$$H_2 = \frac{I}{2 \cdot \pi (x - \frac{d}{2})}$$

$$H_{ges} = H_1 - H_2 = \frac{I}{2 \cdot \pi} \left[\frac{1}{x - \frac{d}{2}} - \frac{1}{x + \frac{d}{2}} \right] = \boldsymbol{\frac{I}{2 \cdot \pi} \; \frac{d}{x^2 - (\frac{d}{2})^2}}$$

$$H_{ges} = H_2 - H_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi} \left[\frac{1}{x - \frac{d}{2}} - \frac{1}{x + \frac{d}{2}} \right] = \boldsymbol{\frac{I}{2 \cdot \pi} \; \frac{d}{x^2 - (\frac{d}{2})^2}}$$



$$H_{ges} = -H_1 - H_2 = \frac{-I}{2\cdot\pi}\left[\frac{1}{\frac{d}{2}-x}+\frac{1}{x+\frac{d}{2}}\right] = \frac{-I}{2\cdot\pi}\left[\frac{x+\frac{d}{2}+\frac{d}{2}-x}{-x^2+(\frac{d}{2})^2}\right] = \boldsymbol{\frac{I}{2\cdot\pi}\cdot\frac{d}{x^2-(\frac{d}{2})^2}}$$



Liegen die Leitungen sehr dicht beieinander (d ->2R), so heben sich im Außenraum beide Feldanteile nahezu auf. Wo man die störende Wirkung eines magn. Außenfeldes vermeiden will, verdrillt man daher eine solche gegensinnig stromführende Leitung.

b)

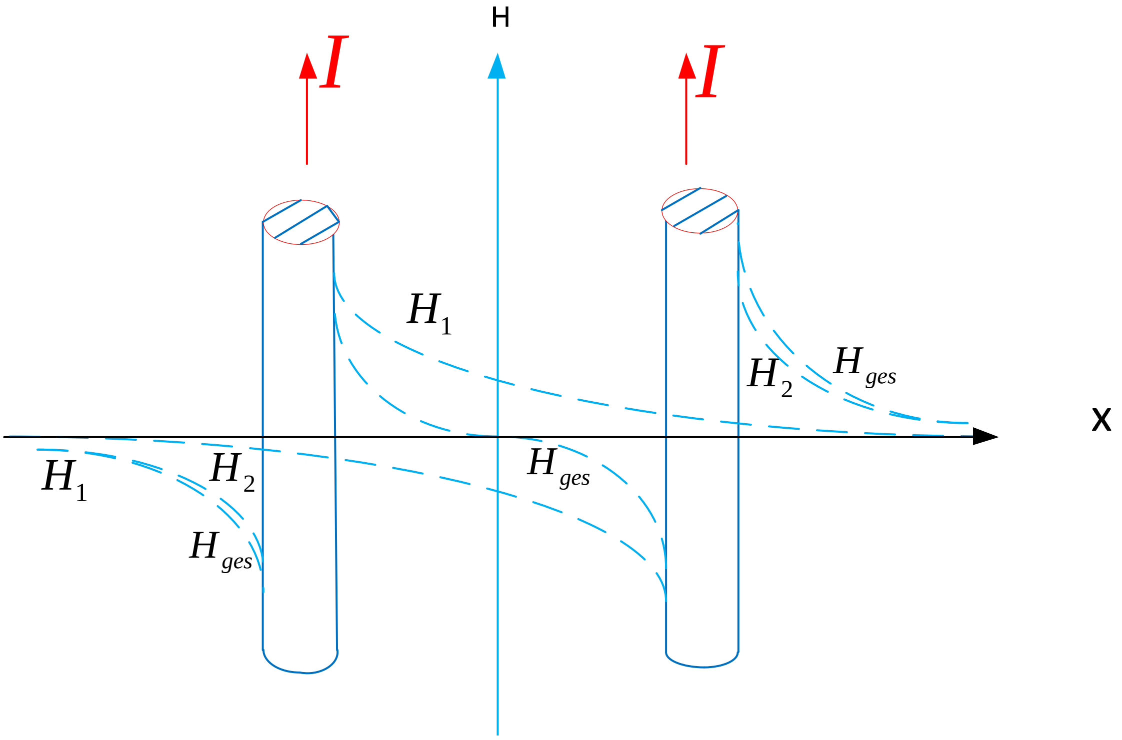
$\Longrightarrow$ die Richtung von H_1 ist entgegengesetzt wie bei a)

Außerhalb der beiden Leiter:

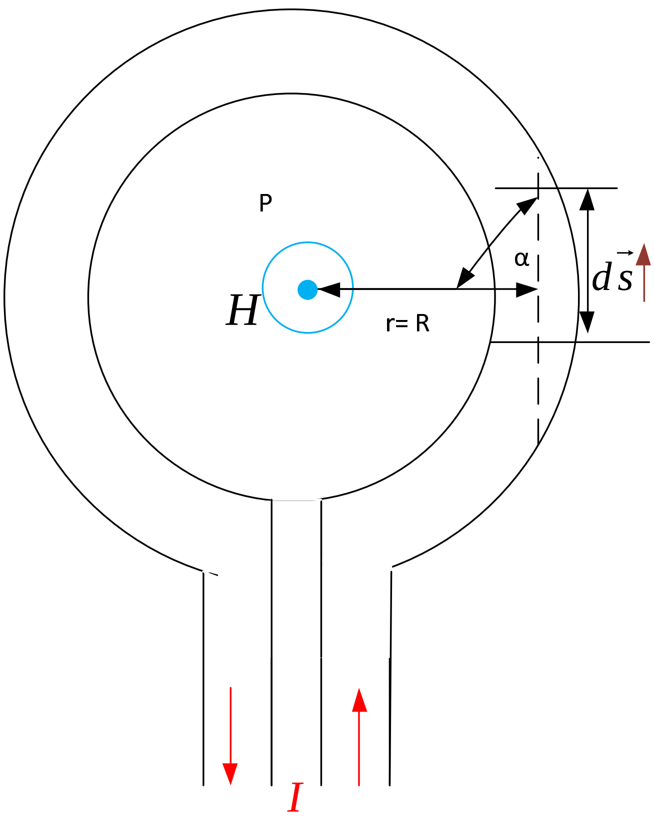
$$H_{ges} = -H_1 - H_2 = \frac{-I}{2\cdot\pi}\left[\frac{1}{x-\frac{d}{2}}-\frac{1}{x+\frac{d}{2}}\right] = \boldsymbol{\frac{-I}{2\cdot\pi}\cdot\frac{2\cdot x}{x^2-(\frac{d}{2})^2}}$$

Zwischen den beiden Leitern:

$$H_{ges} = H_1 - H_2 = \frac{-I}{2\cdot\pi}\left[\frac{1}{x-\frac{d}{2}}+\frac{1}{x+\frac{d}{2}}\right] = \frac{-I}{2\cdot\pi}\left[\frac{\frac{-d}{2}-x+\frac{d}{2}+x}{-x^2+(\frac{d}{2})^2}\right] = -\boldsymbol{\frac{I}{2\cdot\pi}\cdot\frac{2\cdot x}{x^2-(\frac{d}{2})^2}}$$



Üb. 5.2.3.2/1:

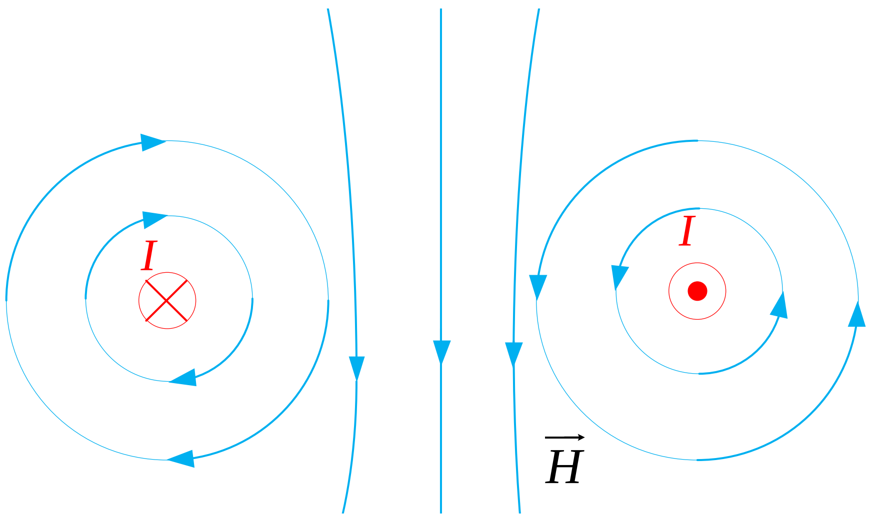


$$\alpha = (\measuredangle\, d\vec{s}, \vec{r}) = 90° = const.$$

$$d\vec{s} \times \vec{r} = |d\vec{s}| \cdot |\vec{r}| \cdot \sin(90°) = ds \cdot r = ds \cdot R$$

Aus (5.2.3.2/1) $H = \frac{I}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi R} \frac{ds \cdot R}{R^3} = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \int_0^{2\pi R} ds = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot [s]|_0^{2\pi R}$

$$H = \frac{I}{\underbrace{\cancel{4\pi} R^{\cancel{2}}}_{2R}} \cancel{2\pi} \cancel{R} = \frac{\boldsymbol{I}}{2\boldsymbol{R}}$$



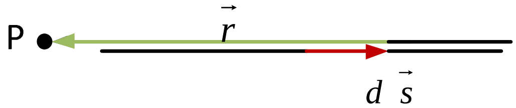
Üb. 5.2.3.2/2:

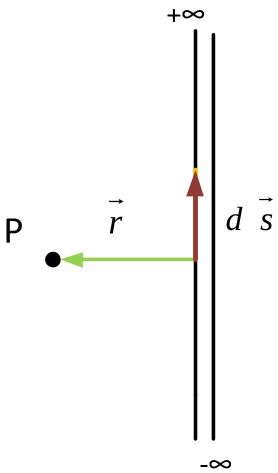
Aus (5.2.3.2/1) $\vec{H} = \frac{I}{4 \cdot \pi} \cdot \oint \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$

$d\vec{s} || \vec{r}$ $\quad \sphericalangle d\vec{s}, \vec{r} = 180° \Longrightarrow \sin(180°) = 0$

$\Longrightarrow d\vec{s} \times \vec{r} = 0$

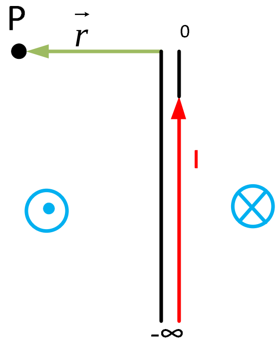
$\Longrightarrow$der horizontale Draht erzeugt im Punkt P kein Magnetfeld.





Nach Bsp. 5.2.3.1/1:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$



Da nur noch die halbe Leiterlänge wirkt, gilt

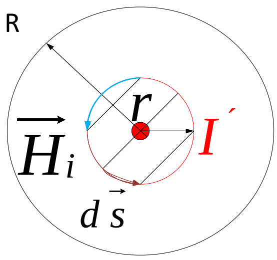
$$\vec{H} = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot r}\ \vec{e}_z \quad \textit{Rechte Handregel}$$

$$H = \frac{1\ A}{4 \cdot \pi \cdot 0{,}1\ m} = 0{,}796\ \frac{A}{m}$$

$$\boldsymbol{\vec{H} = 0{,}796\ \frac{A}{m} \cdot \vec{e}_z}$$

Üb. 5.3.1.1/1:

$$0 \le r \le R: \quad J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi \cdot R^2} = \frac{I'}{\pi r^2} \Rightarrow I' = I\left(\frac{r}{R}\right)^2$$



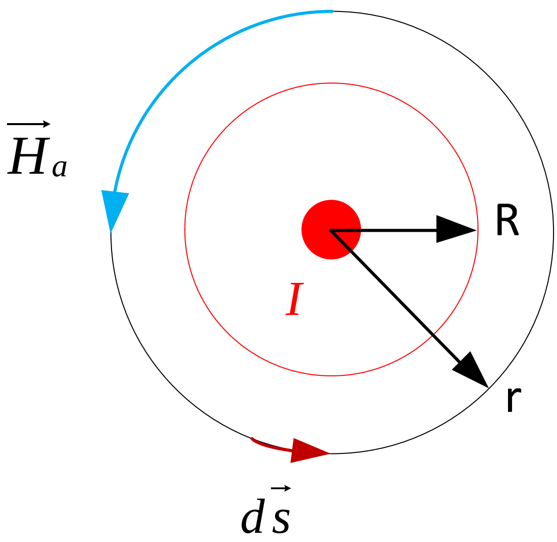
$$\oint \vec{H}_i \cdot d\vec{s} = H_i \cdot \int_0^{2\pi} r \cdot d\varphi = H_i \cdot 2\pi r = \sum I = I \cdot (\tfrac{r}{R})^2$$

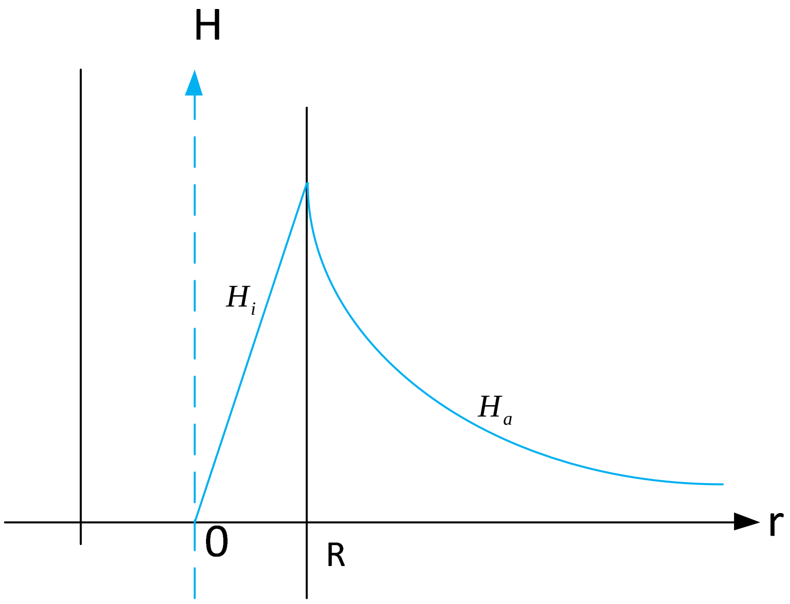
$$\boldsymbol{H_i = \frac{I \cdot r^2}{2\pi r R^2} = \frac{I}{2\pi R^2} \cdot r}$$

$R \leq r \leq \infty$

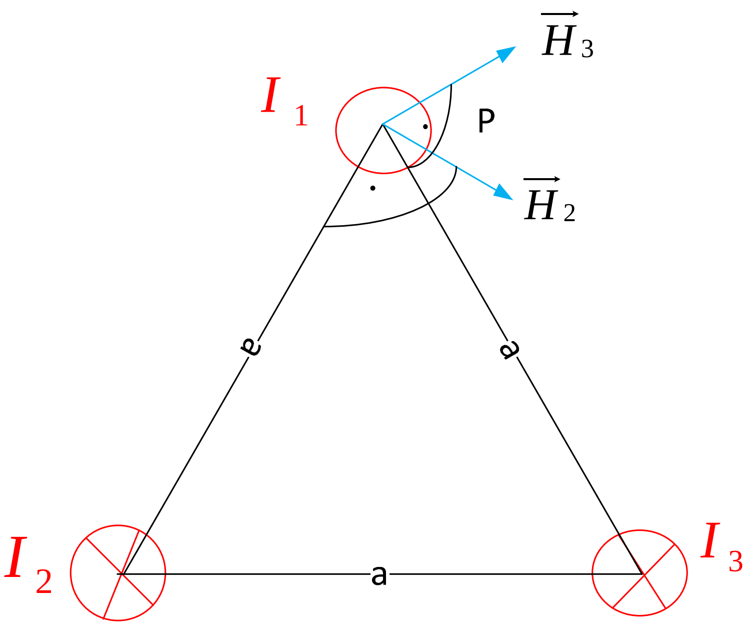
$$\oint \vec{H}_a \cdot d\vec{s} = H_a \cdot 2\pi r = \sum I = I$$

$$\boldsymbol{H_a = \frac{I}{2\pi r}}$$



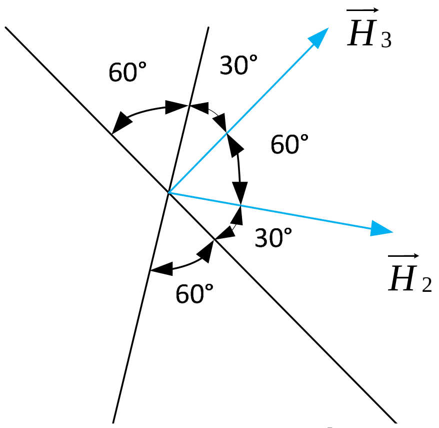


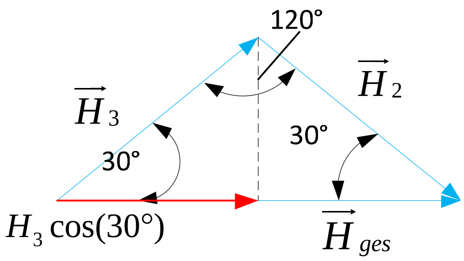
Üb. 5.3.1.1/2:



Punkt P liegt in der Mitte vom Leiter 1, so dass dieser selbst keinen Beitrag liefert.

$$H_2 = \frac{I_2}{2 \cdot \pi \cdot a}, \qquad H_3 = \frac{I_3}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

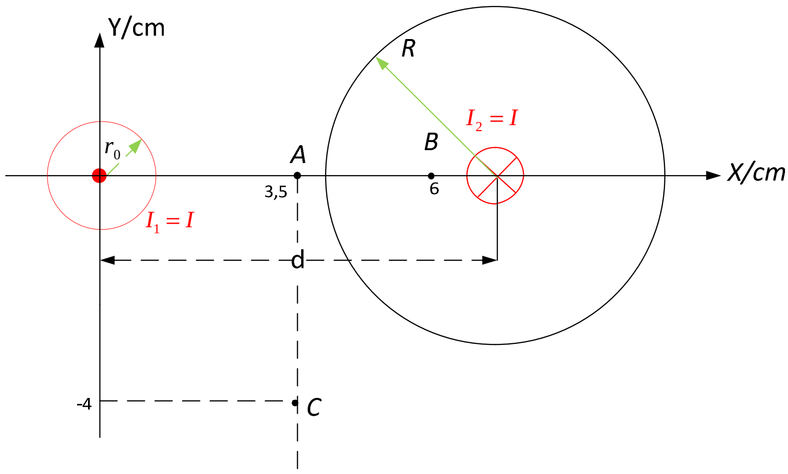




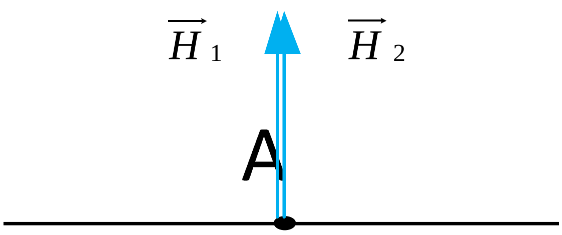
$$H_{ges} = 2 \cdot H_3 \cdot \cos(30°) = 2 \cdot \frac{I_3}{2{\cdot}\pi{\cdot}a} \cdot \cos(30°)$$

$$\boldsymbol{H_{ges}} = \frac{\mathbf{100\ A}}{\boldsymbol{\pi}\mathbf{\cdot 0{,}3\ m}} \cdot \mathbf{0{,}866\ \ =\ \ 91{,}89\ \frac{A}{m}}$$

Üb. 5.3.1.1/3:



a1)

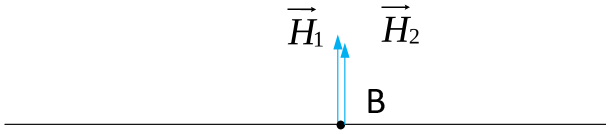


$$\vec{H}_1 = \frac{I_1}{2{\cdot}\pi{\cdot}r} \cdot \vec{e}_y = \frac{2{\cdot}A{\cdot}\vec{e}_y}{2{\cdot}\pi{\cdot}3{,}5\ cm} = 9{,}095\ \frac{A}{m}\ \vec{e}_y$$

$$\vec{H}_2 = \frac{I_2}{2{\cdot}\pi{\cdot}r} \cdot \vec{e}_y = \frac{2{\cdot}A{\cdot}\vec{e}_y}{2{\cdot}\pi{\cdot}3{,}5\ cm} = 9{,}045\ \frac{A}{m}\ \vec{e}_y$$

$$\vec{H}_{gesA} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \mathbf{18,19}\ \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{m}}\ \vec{e}_y$$

a2)



$$\vec{H}_1 = \frac{I_1}{2\cdot\pi\cdot r}\cdot\vec{e}_y = \frac{2\cdot A\cdot\vec{e}_y}{2\cdot\pi\cdot 6\ cm} = 5{,}305\ \frac{A}{m}\cdot\vec{e}_y$$

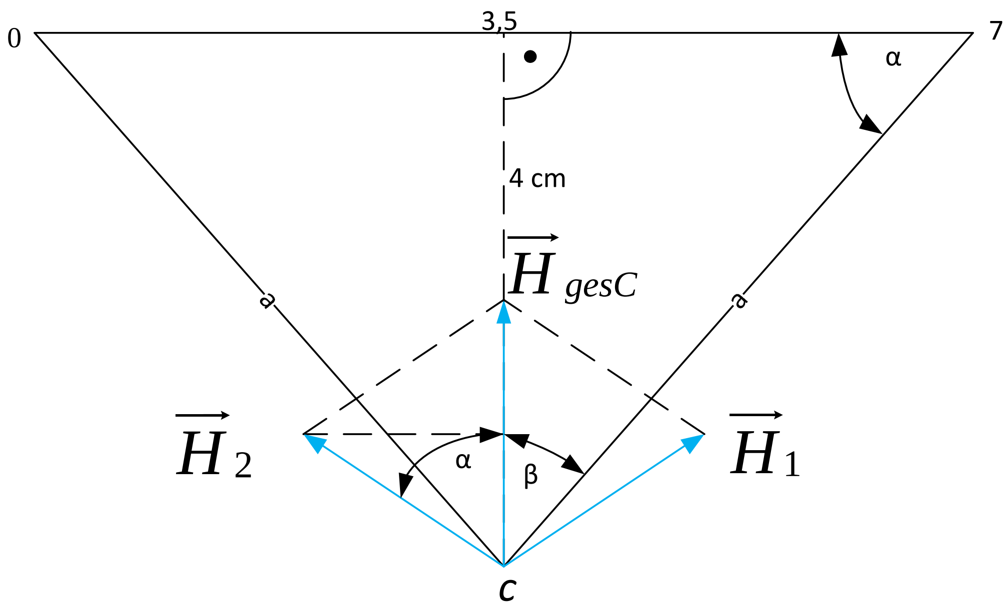
Aus Übungsaufgabe 5.3.1.1/1

$$H_i = \frac{I}{2\cdot\pi\cdot R^2}\cdot r \Longrightarrow \vec{H}_2 = \frac{I_2}{2\cdot\pi\cdot R^2}\cdot r\cdot\vec{e}_y$$

$$\vec{H}_2 = \frac{2\cdot A\cdot 1\ cm}{2\cdot\pi\cdot(2{,}5\ cm)^2}\cdot\vec{e}_y = 5{,}093\ \frac{A}{m}\cdot\vec{e}_y$$

$$\vec{H}_{gesB} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \mathbf{10{,}398}\ \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{m}}\ \vec{e}_y$$

a3)



$$a = \sqrt{3{,}5^2 + 4^2}\ cm = 5{,}315\ cm$$

$$H_1 = H_2 = \frac{2\cdot A}{2\cdot\pi\cdot 5{,}315\ cm} = 5{,}989\ \frac{A}{m}$$

$$\cos(\beta) = \frac{4\ cm}{5{,}315\ cm} = 0{,}753 \Longrightarrow \beta = 41{,}185°$$

$$\alpha = 90° - \beta = 48{,}815°$$

$$\vec{H}_{gesC} = 2 \cdot H_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y = 2 \cdot 5{,}989\ \frac{A}{m} \cdot 0{,}6585\ \vec{e}_y$$

$$\vec{H}_{gesC} = \mathbf{7{,}887}\ \frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{m}} \cdot \vec{e}_y$$

b) $\vec{H}_1$ und $\vec{H}_2$ haben unterschiedliche Richtung für x > 7cm

x < 0 cm

für x > (7cm+R) ist $|\vec{H}_2| > |\vec{H}_1|$

für x < (0-r_0) ist $|\vec{H}_1| > |\vec{H}_2|$

⟹ Zwei Gebiete können die Forderung erfüllen

<u>1.Gebiet</u>: 7cm < x < 7 cm + R = 9,5 cm

$\vec{H}_1 = \frac{I_1}{2 \cdot \pi \cdot x} \cdot \vec{e}_y \quad \vec{H}_2 = -\frac{I_2}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot (x-d) \cdot \vec{e}_y$

$|\vec{H}_1| = |\vec{H}_2|$

$\frac{I}{2 \cdot \pi \cdot x} = \frac{I \cdot (x-d)}{2 \cdot \pi \cdot R^2}$

$x^2 - xd = R^2$

$x^2 - xd - R^2 = 0$

$$x_{12} = \frac{d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + R^2} = 3{,}5\ cm \pm \sqrt{3{,}5^2 + 2{,}5^2}\ cm$$

$$x_{12} = (3{,}5 \pm 4{,}3)\ cm$$

$$\boldsymbol{x_1 = 7{,}8\ cm}$$

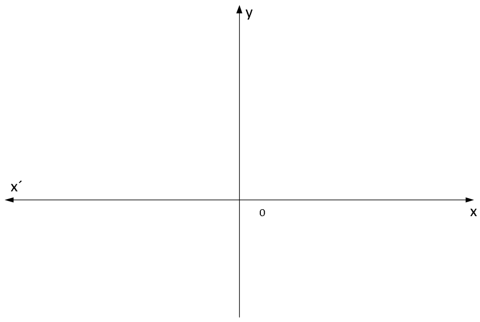
$x_2 = -0{,}8\ cm$ nicht im Definitionsbereich .

<u>2.Gebiet</u> $-r_0 < x < 0$

$\vec{H}_1 = \frac{I_1 \cdot x \cdot \vec{e}_y}{2 \cdot \pi \cdot r_0^2}$ $\vec{H}_2 = \frac{I_2 \cdot \vec{e}_y}{2 \cdot \pi \cdot (d-x)}$

(x<0, negative y-Richtung) (x<0, positive y-Richtung)

$|\vec{H}_1| = |\vec{H}_2|$



$$\frac{I \cdot x'}{2 \cdot \pi \cdot r_0^2} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot (d + x')}$$

$x'(d + x') = r_0^2$

$x'^2 + x'd - r_0^2 = 0$

$x'_{12} = -\frac{d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{d^2}{2}\right) + r_0^2}$

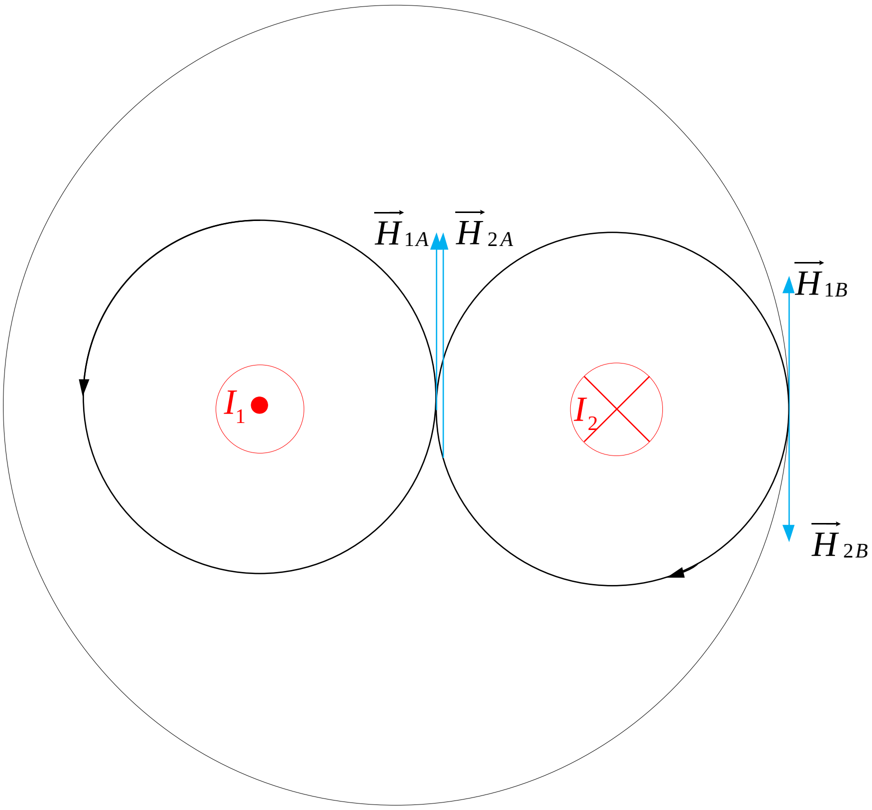
$x'_{12} = -3{,}5cm \pm \sqrt{3{,}5^2 + 0{,}5^2}\ cm$

$x'_{12} = (-3{,}5 \pm 3{,}5355)cm$

$\boldsymbol{x'_1 = 0{,}03553\ cm}$

$x'_2 = -7{,}036\ cm$ nicht im Definitionsbereich .

Üb. 5.3.1.1/4:



$H_{1A} = \frac{I}{2\pi r} = \frac{200\ A}{2 \cdot \pi \cdot 15\ mm} = 2{,}122\ \frac{A}{mm} = H_{2A}$

$H_A = H_{1A} + H_{2A} = \mathbf{4{,}244}\ \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{mm}}$

$H_{1B} = \frac{200\ A}{2 \cdot \pi \cdot 45\ mm} = 0{,}70735\ \frac{A}{mm}$

$H_{2B} = \frac{200\ A}{2 \cdot \pi \cdot 15\ mm} = 2{,}122\ \frac{A}{mm}$

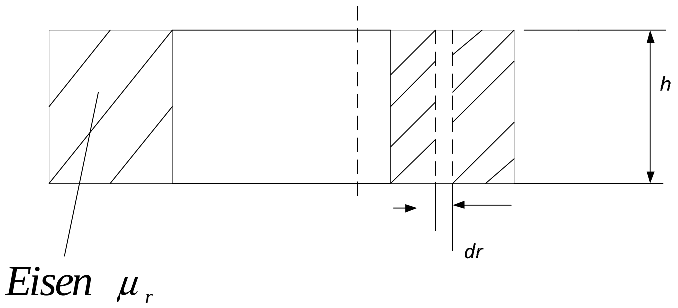
$\mathbf{H_B = H_{2A} - H_{1B} = 1{,}4146\ \frac{A}{mm}}$

Üb. 5.3.1.1/5:

a) $\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = 0$ ist gültig, da $\theta = \sum I\ = I - I = 0$

b) Nein. $\vec{H}$ ergibt sich aus der Überlagerung der durch den Innenleiter und den Außenleiter hervorgerufenen Felder und ist nur dann an jeder Stelle des Außenraumes null, wenn Innen- und Außenleiter konzentrisch zueinander liegen.
$\Longrightarrow$ohne Kenntnis der geometrischen Form des Feldes kann mit $\oint \vec{H} \cdot d\vec{s}$ nicht auf $\vec{H}$ geschlossen werden.

Üb. 5.3.2/1:



a) $0 \le r < r_i - d$ $\Longrightarrow$ Keine Ströme werden umschlossen $\theta = \sum I = 0$

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = 0 \Longrightarrow \boldsymbol{H} = \mathbf{0}$ da Feldverlauf als bekannt vorausgesetzt wurde.

$r_i < r < r_a$ $\theta = \sum I = n \cdot I$

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = H \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot I \quad \Longrightarrow \mathbf{H} = \frac{\mathbf{n \cdot I}}{\mathbf{2 \cdot \pi \cdot r}}$

$r_a + d < r < \infty$ $\theta = \sum I = n \cdot I - n \cdot I = 0$

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = 0 \Longrightarrow \mathbf{H} = \mathbf{0}$ da Feldverlauf als bekannt vorausgesetzt wurde.

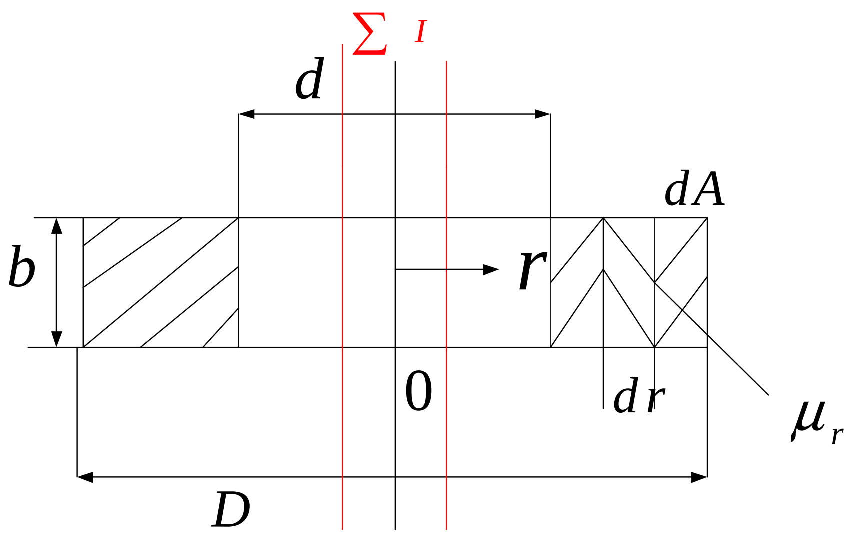
b) $d\Phi = B(r) \cdot dA$ B(r) = $\mu_0 \cdot \mu_r \cdot H(r) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I}{2\pi \cdot r}$

$dA = h \cdot dr$

$$d\Phi = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I \cdot h}{2\pi} \cdot \frac{dr}{r}$$

$$\boldsymbol{\Phi} = \frac{\boldsymbol{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I \cdot h}}{\boldsymbol{2\pi}} \int_{r_i}^{r_a} \frac{\boldsymbol{dr}}{\boldsymbol{r}} = \frac{\boldsymbol{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot h}}{\boldsymbol{2\pi}} \cdot \boldsymbol{I} \cdot \mathbf{ln}\left(\frac{\boldsymbol{r_a}}{\boldsymbol{r_i}}\right)$$

Üb. 5.3.2/2:



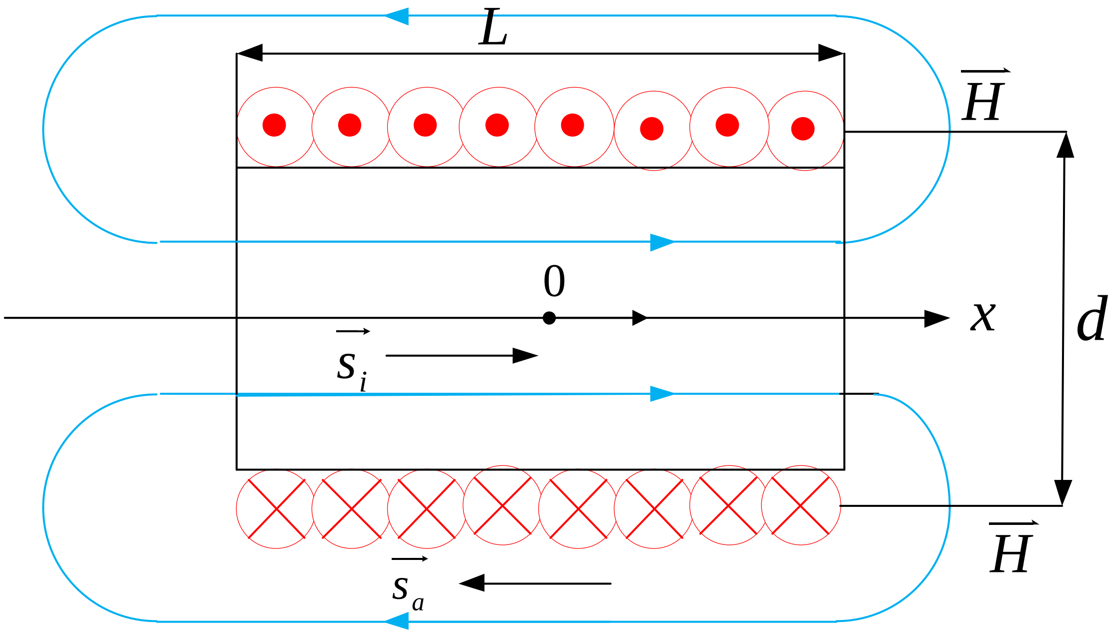
$$H(r) = \frac{\sum I}{2\pi r} \qquad B(r) = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H(r) \qquad \sum I = 3 \cdot I$$

$$dA = b \cdot dr$$

$$d\Phi = B(r) \cdot dA = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \sum I \cdot b}{2\pi} \cdot \frac{dr}{r}$$

$$\boldsymbol{\Phi = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \sum I \cdot b}{2\pi} \int_{d/2}^{D/2} \frac{dr}{r} = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{\sum I \cdot b}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

Üb. 5.3.2/3:



a) Aus Gl. (5.3.1/1) $V_i = \int_{\vec{s}_i} \vec{H}_i \cdot d\vec{s}_i = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} H_i \cdot dx = H_i\left[\frac{L}{2} - \left(\frac{-L}{2}\right)\right] = H_i \cdot L$

$$V_i = H_i \cdot L = \frac{B_0}{\mu_0} \cdot L = \frac{22 \cdot 10^{-8}\, Vsec \cdot 40\, cm}{4\pi \cdot 10^{-9}\, cm^2 \frac{V}{A}}$$

$$\boldsymbol{V_i = 700{,}28\, A}$$

$$V_a = \int_{\vec{s}_a} \vec{H}_a \cdot d\vec{s}_a$$

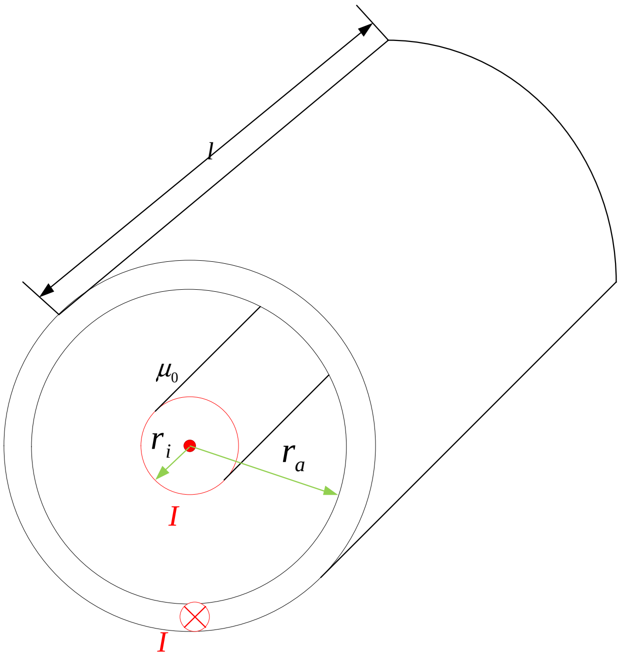
Aus (5.3.1/4) $\sum V = \oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \theta = \sum I = n \cdot I = V_i + V_a$

$$V_a = n \cdot I - V_i = 200 \cdot 4A - 700{,}28\, A = \mathbf{99{,}72\, A}$$

b) $\Phi = \int_A \vec{B}_i \cdot d\vec{A} = \underbrace{B_i}_{B_0} \cdot A \qquad A = \frac{\pi d^2}{4}$

$$\Phi = B_0 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{22 \cdot 10^{-8} Vsec \cdot \pi \cdot 36\, cm^2}{cm^2 \quad 4} = \mathbf{6{,}22 \cdot 10^{-6}\, Vsec}$$

Üb. 5.3.3/1:



Mit (5.3.3/3)

$$L = \frac{\Phi(\mathrm{I})}{I}$$

$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = \iint_A B(r) \cdot l \cdot dr$$

$$\mathrm{B(r)} = \mu_0 \cdot H(r)$$

$r_i < r < r_a$ $$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum I \ = I$$

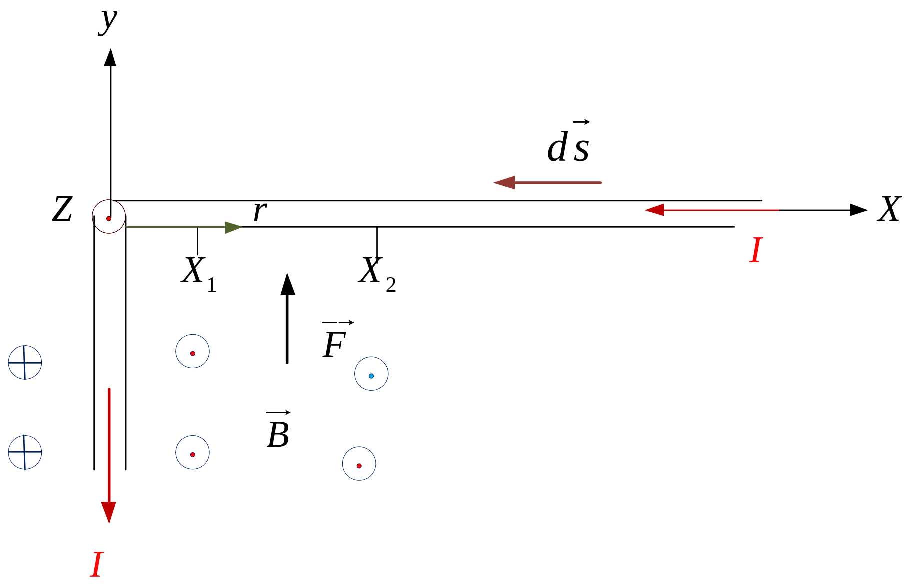
$$H \cdot 2\pi r = I$$

$$H(r) = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot I}{2\pi} \int_{r_i}^{r_a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot I}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)$$

$$\boldsymbol{L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$$

Üb. 5.4/1:



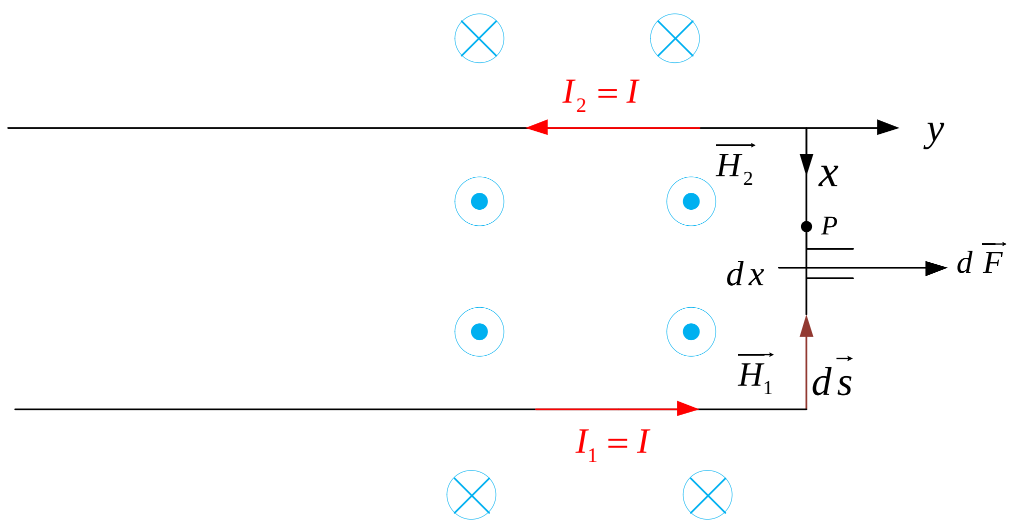
$$
Y=0 \begin{cases} H = \frac{I}{2\cdot\pi\cdot r} \quad für\ Draht\ von -\infty < y < +\infty; \\ H = \frac{I}{4\cdot\pi\cdot r} \quad für\ Draht\ von -\infty < y \leq 0; \\ B = \mu_0 \cdot H = \frac{\mu_0\cdot I}{4\pi\cdot r} = \frac{\mu_0\cdot I}{4\pi\cdot x} \end{cases}
$$

Aus (5.4/1) $\vec{F} = I \cdot \int_l (d\vec{s} \times \vec{B})$

$$
d\vec{s} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z & \vec{e}_x & \vec{e}_y \\ -dx & 0 & 0 & -dx & 0 \\ 0 & 0 & B & 0 & 0 \end{vmatrix} = -(-dx)\cdot B \cdot \vec{e}_y = (dx)\cdot B \cdot \vec{e}_y
$$

$$
\vec{F} = I \cdot \int_{x_1}^{x_2} B \cdot dx \cdot \vec{e}_y = I \cdot \vec{e}_y \cdot \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \boldsymbol{\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I^2 \cdot \ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right) \cdot \vec{e}_y}
$$

Üb. 5.4/2:



$$y{=}0 \begin{cases} H = \frac{I}{2\cdot\pi\cdot r} \;\; \text{für Draht von} -\infty < y < +\infty \\ H = \frac{I}{4\cdot\pi\cdot r} \;\; \text{für Draht von} -\infty < y \leq 0; \end{cases}$$

Im Punkt P : $H_1 = \frac{I_1}{4\cdot\pi(a-x)}$

$$H_2 = \frac{I_2}{4\cdot\pi\cdot x}$$

$$H_{ges} = H_1 + H_2 = \frac{I}{4\cdot\pi}\cdot\left[\frac{1}{a-x}+\frac{1}{x}\right] \quad B = \mu_0 \cdot H_{ges}$$

Mit (5.4/1) $F_{ges} = \frac{\mu_0\cdot I^2}{4\pi}\int_a^{a-b}\left(\frac{1}{a-x}+\frac{1}{x}\right)dx = \frac{\mu_0\cdot I^2}{4\pi}[-\ln(a-x)+\ln(x)]_b^{a-b}$

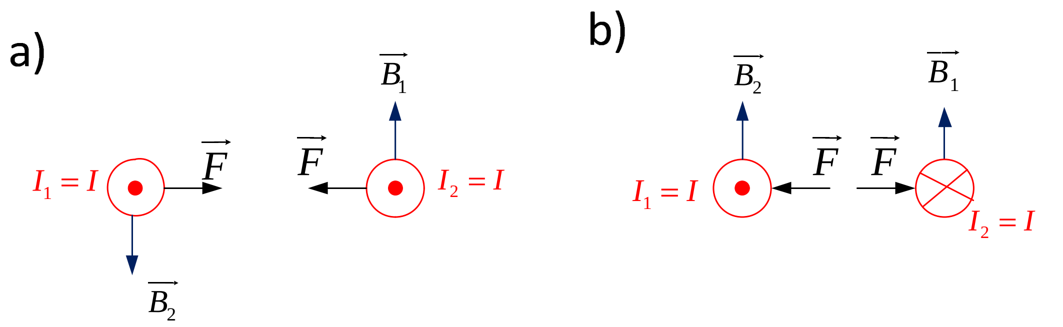
$$F_{ges} = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{4\pi}[-\ln(a-a+b)+\ln(a-b)+\ln(a-b)-\ln(b)] = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{2\pi}\cdot[\ln(a-b)-\ln(b)]$$

$$F_{ges} = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a-b}{b}\right)\right] = \boldsymbol{\frac{\mu_0 \cdot I^2}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{b}-1\right)\right]}$$

$$F_{ges} = \frac{4\pi\cdot 10^{-7}}{2\pi}\cdot\frac{Vsec}{Am}\cdot(5\cdot 10^4)^2\cdot A^2\cdot\ln\left(\frac{50}{10}-1\right) = 693{,}15\,\frac{VAsec}{m} \qquad \frac{\mathrm{Wsec}}{\mathrm{m}} = \mathrm{N}$$

$\boldsymbol{F_{ges} = 693{,}15\ N}$

Üb. 5.4/3:

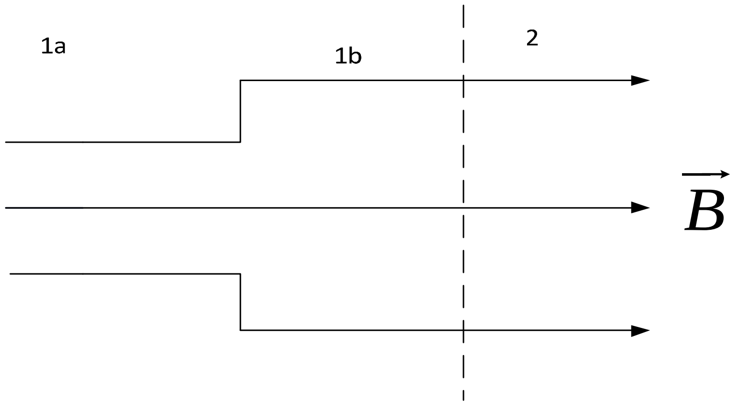


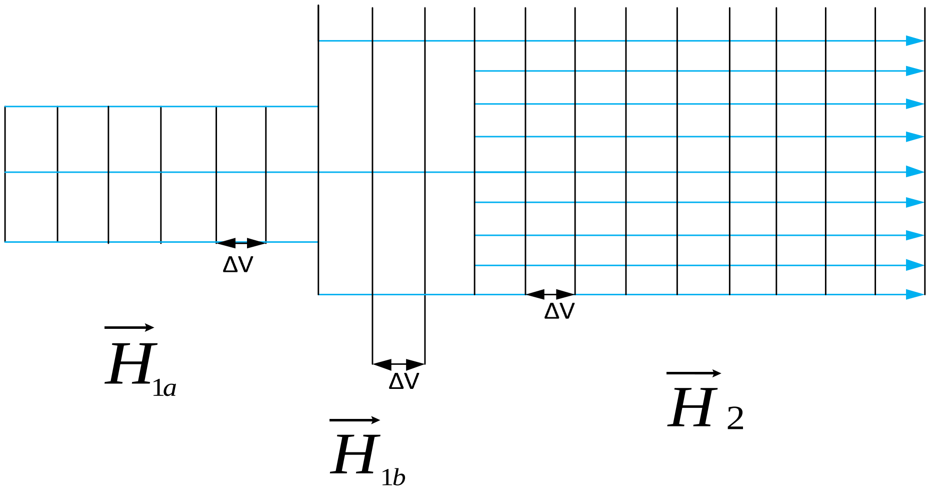
$$B_{1,2} = \mu_0 \cdot H_{1,2} = \frac{\mu_0\cdot I}{2\cdot\pi\cdot a}$$

Mit (5.4/1) $|\vec{F}| = I \cdot |d\vec{s} \times \vec{B}| = I \cdot B \cdot l$

$$\frac{F}{l} = I \cdot B = \boldsymbol{\frac{\mu_0 \cdot I^2}{2\pi a}}$$

Üb. 5.5/1:





$B = \frac{\Phi}{A}$ = Induktion wird in Leiter 1b und 2 kleiner als in 1a, da die Fläche A_b sich vergrößert.

$B_{1a} = \frac{\Phi}{A_a}$ $\quad B_{1b} = \frac{\Phi}{A_b}$ $\quad B_2 = \frac{\Phi}{A_b}$;

$\Rightarrow B_{1b} = B_2$ gleiche Induktion.

$\frac{B_{1a}}{B_{1b}} = \frac{A_b}{A_a} = 2 \implies B_{1a} = 2B_{1b}$ doppelte Induktion

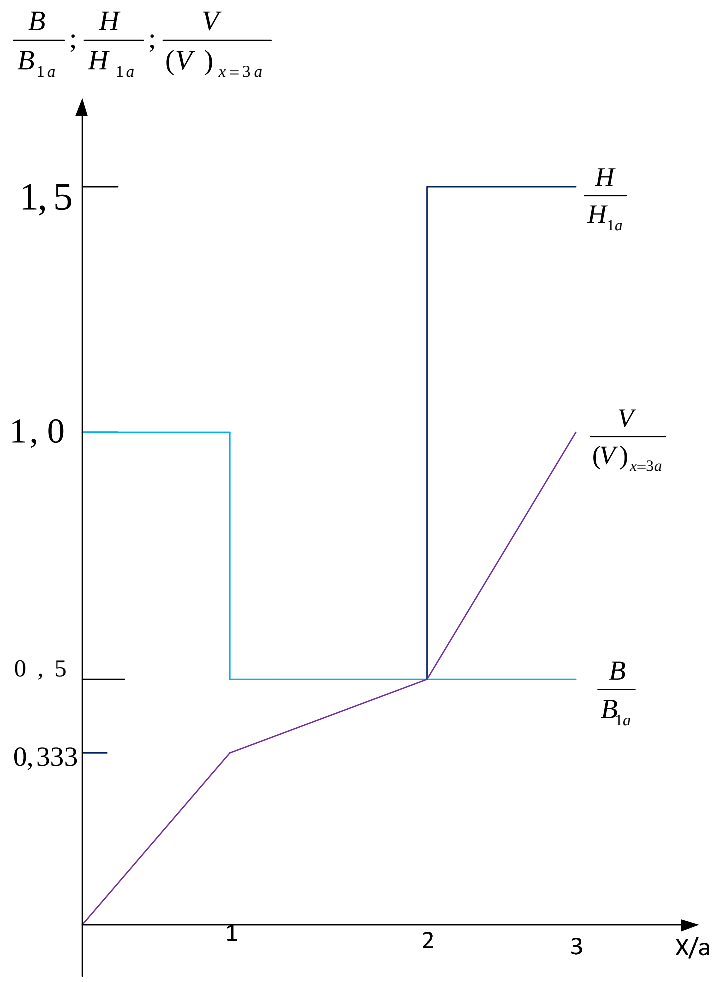
Linien bei B_{1a} enger zusammen.

$B = \mu \cdot H$

$H_{1a} = \frac{B_{1a}}{\mu_1}$

$H_{1b} = \frac{B_{1b}}{\mu_1}$

$H_2 = \frac{B_2}{\mu_2}$



$\frac{H_{1a}}{H_{1b}} = \frac{B_{1a}}{B_{1b}} = 2 \quad H_{1a} = H_{1b}$ doppelte Dichte , Linien bei H_{1a} enger zusammen.

$\frac{H_2}{H_{1b}} = \frac{B_2}{\mu_2} \cdot \frac{\mu_1}{B_{1b}} = \frac{B_2}{B_{1b}} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3}{1} = 3$ dreifache Dichte

$\Longrightarrow$ 9 Feldlinien auf der gleichen Fläche

$V = \int_1^2 \vec{H} \cdot d\vec{s} = H \cdot a$

$V_{1a} = H_{1a} \cdot a \qquad \frac{V_{1a}}{V_{1b}} = \frac{H_{1a}}{H_{1b}} = 2$

$V_{1b} = H_{1b} \cdot a \qquad \frac{V_2}{V_{1b}} = \frac{H_2}{H_{1b}} = 3$

$V_2 = H_2 \cdot a$

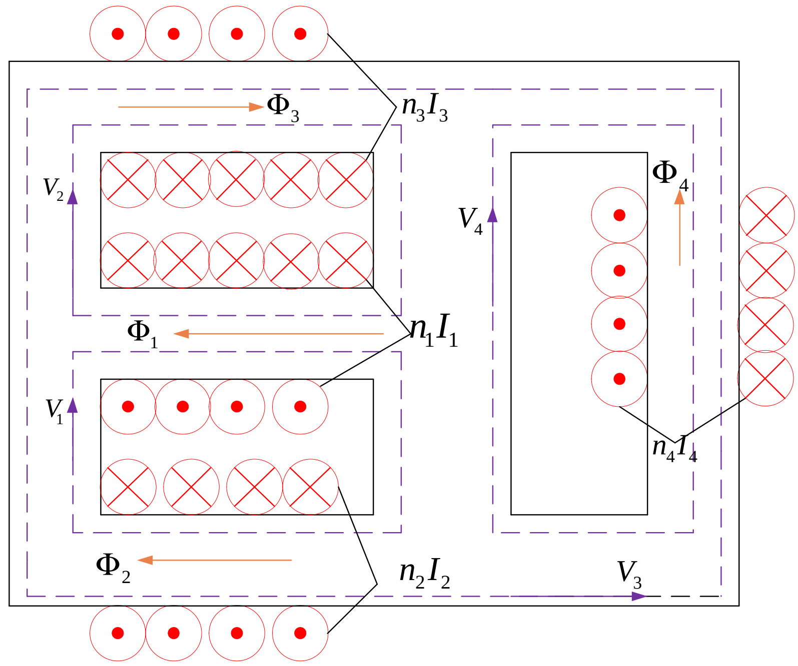
$V_{1a} = 2 \cdot V_{1b}$ gewählt $V_{1b} \Longrightarrow$ wird in drei Gebiete unterteilt

$V_2 = 3 \cdot V_{1b}$

$\Longrightarrow \quad V_{1a} \triangleq 2 \cdot 3 = 6\, Gebiete$

$V_2 \triangleq 3 \cdot 3 = 9\, Gebiete$

Üb. 6.4/1:



$V_1 = \oint \vec{H} \cdot d\vec{S} = \theta = \sum I = -n_1 \cdot I_1 + n_2 \cdot I_2$ (V in Richtung Φ positiv)

$V_2 = \sum I = n_1 \cdot I_1 + n_3 \cdot I_3$

$V_3 = \sum I = n_4 \cdot I_4 - n_3 \cdot I_3 - n_2 \cdot I_2$

$V_4 = \sum I = -n_4 \cdot I_4$

$n_2 \cdot I_2 = V_1 + n_1 \cdot I_1$

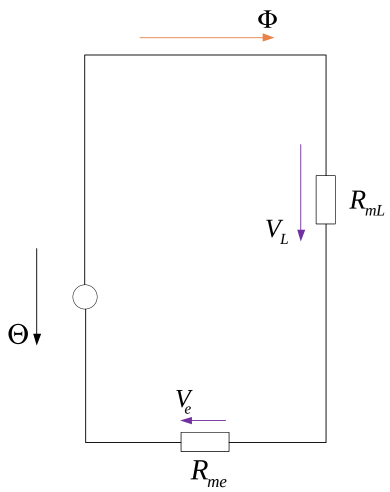
$I_2 = \frac{V_1 + n_1 \cdot I_1}{n_2} = \frac{300\ A + 20 \cdot 10\ A}{125} = \frac{500\ A}{125} = \mathbf{4\ A}$

$I_3 = \frac{V_2 - n_1 \cdot I_1}{n_3} = \frac{500\ A - 200\ A}{60} = \frac{300\ A}{60} = \mathbf{5\ A}$

$I_4 = \frac{V_3 + n_3 \cdot I_3 + n_2 \cdot I_2}{n_4} = \frac{800\ A + 60 \cdot 5\ A + 125 \cdot 4\ A}{800} = \frac{1600\ A}{800} = \mathbf{2\ A}$

$V_4 = -n_4 \cdot I_4 = -800 \cdot 2\ A = \mathbf{-1600\ A}$

Üb. 6.4/2:



$\theta = n \cdot I$

$$R_{mL} = \frac{l_L}{\mu_0 A} \qquad\qquad R_{me} = \frac{l_e}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{2a+b+b-l_L}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{2(a+b)-l_L}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$\theta - \Phi(R_{mL} + R_{me}) = 0$$

$$\Phi = \frac{\theta}{R_{mL} + R_{me}} = \frac{\mathrm{n} \cdot \mathrm{I}}{\frac{1}{\mu_0 \cdot A}\left[\mathrm{l_L} + \frac{2(a+b)-l_L}{\mu_r}\right]} = \frac{\mathrm{n} \cdot \mathrm{I} \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \mu_r}{\mathrm{l_L} \cdot \mu_r + 2(a+b) - l_L} = \frac{\mathrm{n} \cdot \mathrm{I} \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \mu_r}{2(a+b) + l_L(\mu_r - 1)}$$

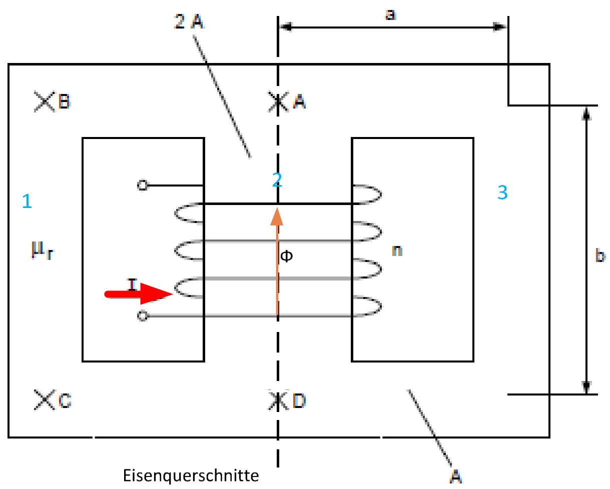
$$\Phi = \frac{50 \cdot 10\ \mathrm{A} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}\ \mathrm{Vsec} \cdot 600 \cdot 16 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2}{(2 \cdot 0{,}7\ \mathrm{m} + 10^{-3}\mathrm{m}\ \cdot 599)\ \mathrm{Am}} = 3{,}02 \cdot 10^{-4}\ \ \mathrm{Vsec}$$

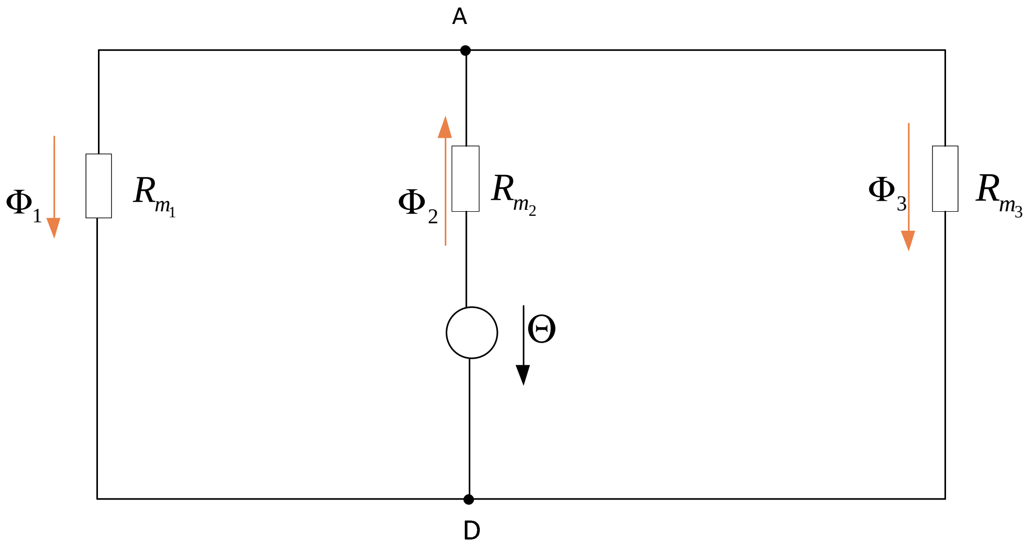
$$V_L = \Phi \cdot R_{mL} \qquad H_L = \frac{V_L}{\mathrm{l_L}} = \frac{\Phi \cdot R_{mL}}{\mathrm{l_L}} = \frac{\Phi}{\mu_0 \cdot A} = \frac{3{,}02 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{Vsec}}{4\pi \cdot 10^{-7}\frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{A}} \cdot 16 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2} = 1{,}5 \cdot 10^5\ \frac{A}{m}$$

$$V_e = \Phi \cdot R_{me} \qquad H_L = \frac{V_e}{\mathrm{l_e}} = \frac{\Phi \cdot R_{me}}{\mathrm{l_e}} = \frac{\Phi}{\mu_0 \mu_r \cdot A} = \frac{3{,}02 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{Vsec}}{4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{A}} \cdot 600 \cdot 16 \cdot 10^{-4}\ \ \mathrm{m}^2} = 250\,\frac{A}{m}$$

$$B_e = B_L = B = \frac{\Phi}{A} = \frac{3{,}02 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{Vsec}}{16 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2} = \mathbf{0{,}189\ \frac{Vsec}{m^2}}$$

Üb. 6.4/3:





$$R_{m_1} = R_{m_3} = \frac{2a+b}{\mu_0\mu_r \cdot A} = \frac{(0{,}4+0{,}4)\ m}{4\pi\cdot10^{-7}\frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{Am}}\cdot 1{,}2\cdot10^3\cdot 25\cdot10^{-4}\ \mathrm{m}^2}$$

$$R_{m_2} = \frac{b}{\mu_0\mu_r\cdot 2\ A} = \frac{0{,}4\ m}{4\pi\cdot10^{-7}\frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{Am}}\cdot 1{,}2\cdot 10^3\cdot 2\cdot 25\cdot10^{-4}\ \mathrm{m}^2}$$

$$R_{m_{ges}} = R_{m_2} + \frac{R_{m_1}\cdot R_{m_3}}{R_{m_1}+R_{m_3}} = R_{m_2} + \frac{R_{m_1}}{2}$$

$$R_{m_1} = R_{m_3} = 2{,}122\cdot 10^5\cdot\frac{A}{Vsec}$$

$$R_{m_2} = 5{,}305\cdot 10^4\cdot\frac{A}{Vsec}$$

$$R_{m_{ges}} = 15{,}915\cdot 10^4\cdot\frac{A}{Vsec}$$

$$\Phi_2 = \frac{\theta}{R_{m_{ges}}} = \frac{\mathrm{n}\cdot\mathrm{I}}{R_{m_{ges}}}$$

$$\Phi_2 = \frac{120\cdot 5\ A}{15{,}915\cdot10^4\cdot\frac{A}{Vsec}} = \mathbf{3{,}77\cdot 10^{-3}\cdot\frac{A}{Vsec}}$$

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3 \qquad\qquad \Phi_1 = \Phi_3 = \frac{\Phi_2}{2} = \mathbf{1{,}885\cdot 10^{-3}Vsec}$$

$$V_{AD} = \Phi_1\cdot R_{m_1} = \theta - \Phi_2 R_{m_2} \Longrightarrow B = \frac{\Phi_2}{2A} = \frac{\theta - V_{AD}}{2A\cdot R_{m_2}} = \frac{\theta - V_{AD}}{2A\cdot\frac{b}{\mu_0\mu_r\cdot 2A}}$$

$$V_{AD} = 1{,}885\cdot10^{-3}\ \mathrm{Vsec}\cdot 2{,}122\cdot10^5\cdot\frac{A}{Vsec} = 600 - 3{,}77\cdot10^{-3}\mathrm{Vsec}\cdot 5{,}305\cdot10^4\cdot\frac{A}{Vsec} = \mathbf{400\ A}$$

$$H_{AD} = \frac{B}{\mu_0\mu_r} = \frac{\theta - V_{AD}}{b}$$

$$H_{AD} = \frac{V_{AD}}{l_{AD}} = \frac{400\ A}{\underbrace{2a+b}_{\text{Weg A–B–C–D, damit nicht über }\theta\text{ integriert werden muss}}} = \frac{400\ A}{0{,}8m} = \mathbf{500\ \frac{A}{m}}$$

$V_{12} = \int_1^2 \vec{H}\cdot d\vec{s}$ gilt nur, wenn keine Quellen (θ) durchlaufen werden.

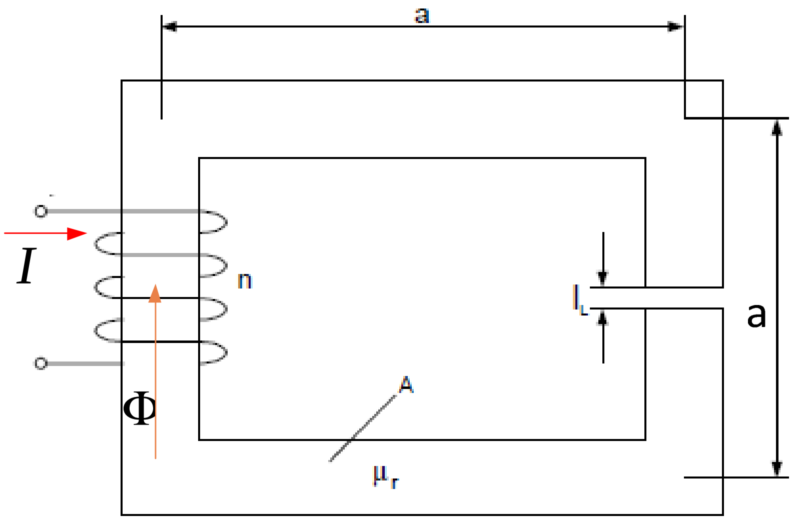
2. Weg: H auf dem geschl. Weg A-B-C-D-A ist konstant, weil B = konst.

$$B = \frac{\Phi_1}{A} = \frac{\Phi_2}{2\,A} = konst,\ \ da \qquad \Phi_2 = 2\Phi_1$$

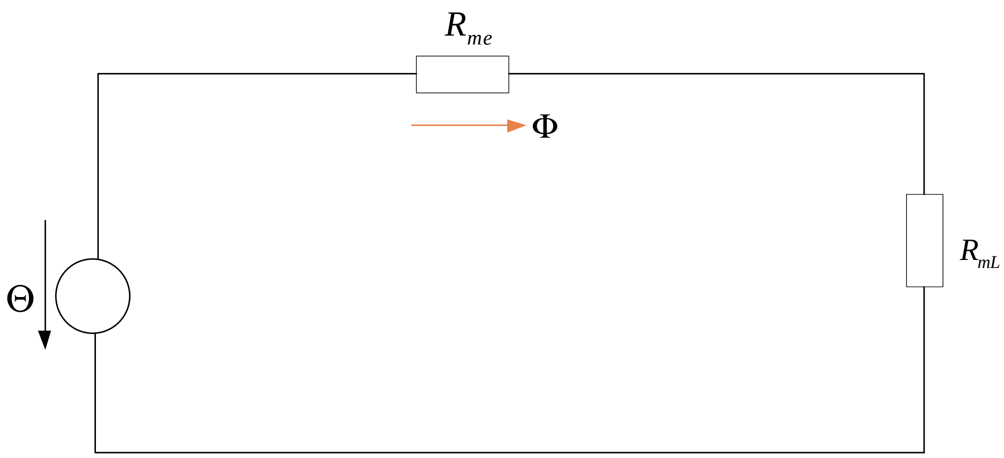
$$\oint_{A-B-C-D-A} \vec{H}\cdot d\vec{s} = \theta \Longrightarrow H\cdot 2(a+b) = \theta$$

$$H = \frac{\theta}{2(a+b)} = \mathbf{500}\ \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m}}$$

Üb. 6.4/4:



Eisenquerschnitt A

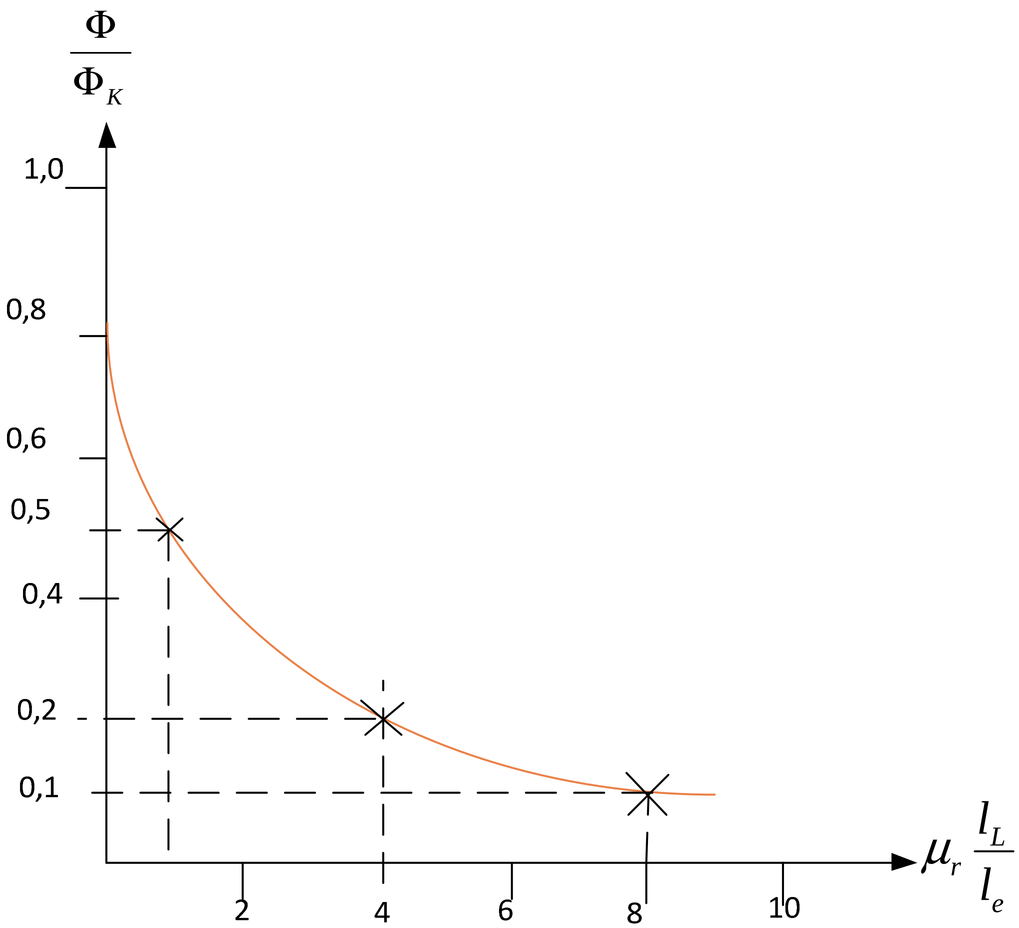


a) $$R_{me} = \frac{l_e}{\mu_0\mu_r A} \qquad\qquad R_{mL} = \frac{l_L}{\mu_0 A}$$

$$\Phi = \frac{\theta}{R_{mges}} = \frac{\theta}{R_{mL}+R_{me}} = \underbrace{\frac{\theta}{R_{me}}}_{\Phi_\mathrm{k}}\cdot\frac{1}{1+\frac{R_{mL}}{R_{me}}} = \Phi_\mathrm{k}\cdot\frac{1}{1+\mu_\mathrm{r}\frac{l_\mathrm{L}}{l_\mathrm{e}}}$$

(Kurzschluss, wenn Luftspalt überbrückt)

$$\frac{\Phi}{\Phi_k} = \frac{1}{1+\mu_r\frac{l_L}{l_e}}$$



b) $R_{mges} = R_{me} + R_{mL} = \frac{4a-l_L}{\mu_0\mu_r\cdot A} + \frac{l_L}{\mu_0\cdot A} = \frac{1}{\mu_0 A}\left[\frac{4a-l_L}{\mu_r} + l_L\right] = \frac{1}{4\pi\cdot10^{-7}\frac{\text{Vsec}}{\text{Am}}\cdot25\cdot10^{-4}\ \text{m}^2\left[\frac{0{,}399}{10^3}+10^{-3}\right]}$

$$\boldsymbol{R_{mges} = 4{,}45\ 10^5\ \frac{\text{A}}{\text{Vsec}}}$$

c) $\theta = n\cdot I = R_{mges}\cdot\Phi = R_{mges}\cdot B\cdot A$

$I = \frac{R_{mges}\cdot B\cdot A}{n} = 4{,}45\ \cdot 10^5\frac{\text{A}}{\text{Vsec}}\cdot\frac{0{,}5\ \text{Vsec}\cdot25\cdot10^{-4}\ \text{m}^2}{\text{m}^2\ 100} = \mathbf{5{,}56A}$

2. Weg: $\Phi = \text{const},\ \ \text{A} = \text{const} \Longrightarrow \text{B} = \text{const} \Longrightarrow H_e = \frac{B}{\mu_0\mu_r}, H_L = \frac{B}{\mu_0}$

$\theta = n\cdot I = \oint\vec{H}\cdot d\vec{s} = \int_{l_e} H_e\cdot ds + \int_{l_L} H_L\cdot ds = H_e\cdot l_e + H_L\cdot l_L = \frac{B}{\mu_0}\left[\frac{l_e}{\mu_r} + l_L\right]$

$I = \frac{B}{\mu_0 n}\left[\frac{l_e}{\mu_r} + l_L\right] = \frac{0{,}5\ Vsec\ Am}{100\ \text{m}^2\cdot4\pi\cdot10^{-7}\ \text{Vsec}}\left[\frac{0{,}399}{10^3} + 10^{-3}\right]m = \boldsymbol{5{,}56\ A}$

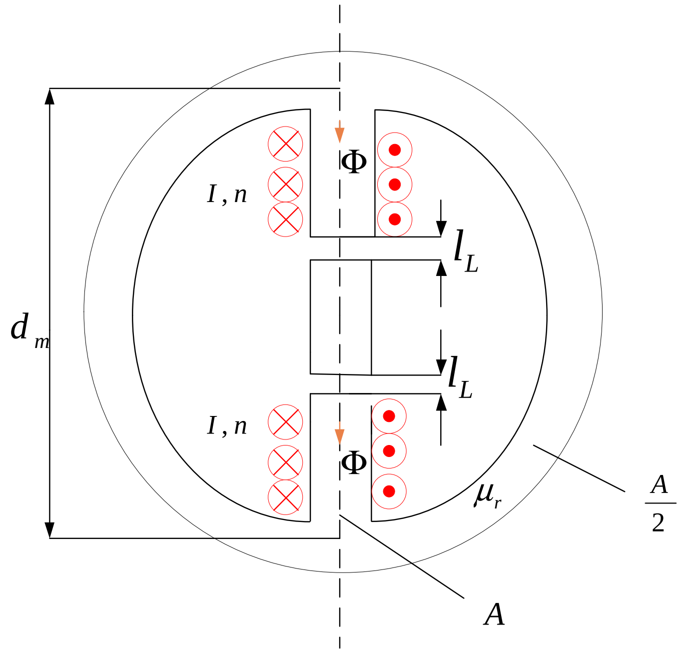
$\Phi = \frac{\theta}{R_{mges}} = \frac{n\cdot I}{R_{mges}} = \frac{100\cdot5{,}56\ \text{A}}{4{,}45\cdot10^5\ \frac{\text{A}}{\text{sec}}} = 1{,}249 10^{-3}\ \text{Vsec}$

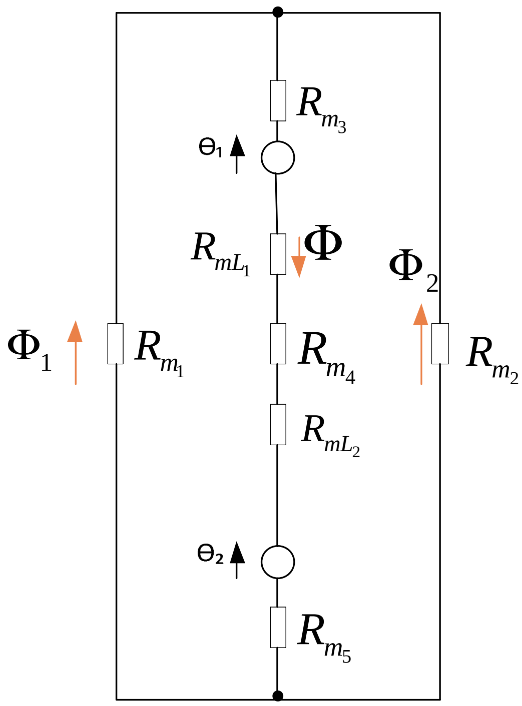
$$R_{me} = \frac{l_e}{\mu_0 \mu_r \cdot A} = \frac{4a - l_L}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0{,}399\ m}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{Am}} \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2} = 1{,}27 \cdot 10^5 \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vsec}}$$

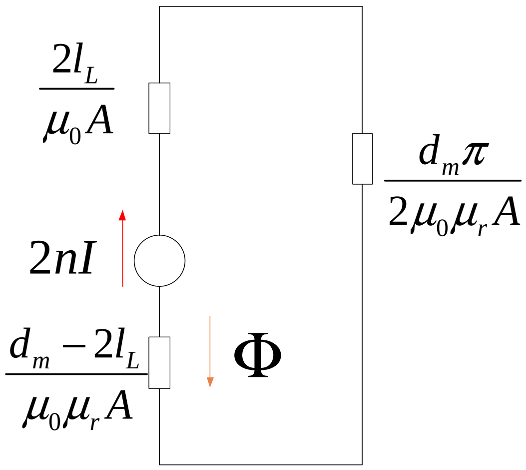
$$R_{mL} = \frac{l_L}{\mu_0 A} = \frac{10^{-3} m}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{Vsec}}{\mathrm{Am}} \cdot 25 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2} = 3{,}183 \cdot 10^5 \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vsec}}$$

$V_e = \Phi \cdot R_{me} = 158{,}69\ A \qquad V_L = \Phi \cdot R_{mL} = 397{,}7\ A$

Üb. 6.4/5:







$$R_{m_1} = R_{m_2} = \frac{1}{2}\frac{d_m\pi}{\mu_0\mu_r\frac{A}{2}} = \frac{d_m\pi}{\mu_0\mu_r A}$$

$$R_{m_1}||R_{m_2} = \frac{d_m\pi}{2\mu_0\mu_r A}$$

$$R_{m_3} + R_{m_4} + R_{m_5} = \frac{d_m - 2l_L}{\mu_0\mu_r\ A}$$

$$R_{mL_1} = R_{mL_2} = \frac{l_L}{\mu_0 A}$$

$$R_{mL_1} + R_{mL_2} = \frac{2\cdot l_L}{\mu_0 A}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = n\cdot I$$

$$\theta_1 + \theta_2 = 2\cdot n\cdot I$$

$$R_{ges} = \frac{2\cdot l_L}{\mu_0 A} + \frac{d_m - 2\cdot l_L}{\mu_0\cdot\mu_r\ A} + \frac{d_m\cdot\pi}{2\cdot\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}$$

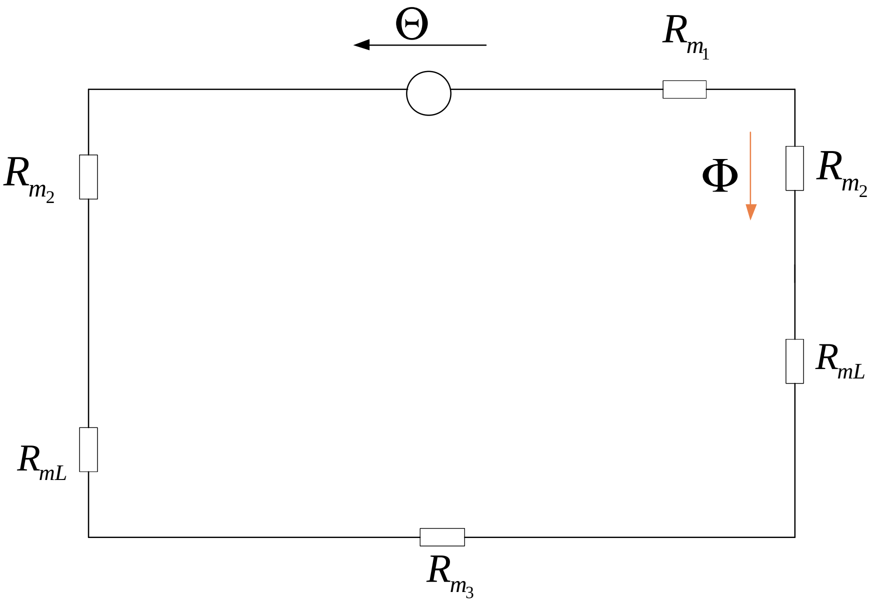
$$R_{ges} = \frac{1}{\mu_0\cdot A}\cdot\left[2\cdot l_L + \frac{d_m - 2l_L}{\mu_r} + \frac{d_m\pi}{2\mu_r}\right]$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\mu_0\cdot A}\cdot\left[2\cdot l_L(1 - \frac{1}{\mu_r}) + \frac{d_m}{\mu_r}(1 + \tfrac{\pi}{2})\right]$$

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2\cdot n\cdot I}{A\cdot R_{ges}} = \frac{2\cdot n\cdot I\cdot\mu_0}{2\cdot l_L(1 - \frac{1}{\mu_r}) + \frac{d_m}{\mu_r}(1 + \frac{\pi}{2})}$$

$$B = \frac{\mu_0\mu_r\, nI}{l_L(\mu_r - 1) + \frac{d_m}{2}(1 + \frac{\pi}{2})} = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7} Vsec\cdot 10^4\cdot 200\cdot 2\ A}{10^{-3} m\ Am\cdot 9999 + \underbrace{Am}_{\text{Nenner von } \mu_0}(0{,}1m(1 + \frac{\pi}{2}))} = \mathbf{0{,}494}\ \frac{\boldsymbol{Vsec}}{\boldsymbol{m^2}}$$

Üb. 6.4/6:



$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{l_1}{A}\frac{H_1}{B_1} \qquad R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{l_2}{A}\frac{H_2}{B_2}$$

$$R_{m3} = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{l_1}{A}\frac{H_3}{B_3} \qquad R_{mL} = \frac{l_L}{\mu_0 A} = \frac{l_L}{A}\frac{H_L}{B_L}$$

$$\Phi = \mathrm{B}_1 \cdot \mathrm{A} = \mathrm{B}_2 \cdot \mathrm{A} = \mathrm{B}_3 \cdot \mathrm{A} = \mathrm{B}_\mathrm{L} \cdot \mathrm{A}$$

$$\Longrightarrow \mathrm{B}_1 = \mathrm{B}_2 = \mathrm{B}_3 = \mathrm{B}_\mathrm{L} = 0{,}9\,\frac{Vsec}{m^2} = 9000 \cdot 10^{-4}\,\frac{Vsec}{m^2}$$

$B \big/ 10^{-4}\frac{Vsec}{m^2}$	Material	$H \big/ \frac{A}{cm}$	
9000	Stahlguss	2,35	$H_1 = H_2$
"	Grauguss	74	H_3
"	Luft	7162	H_L

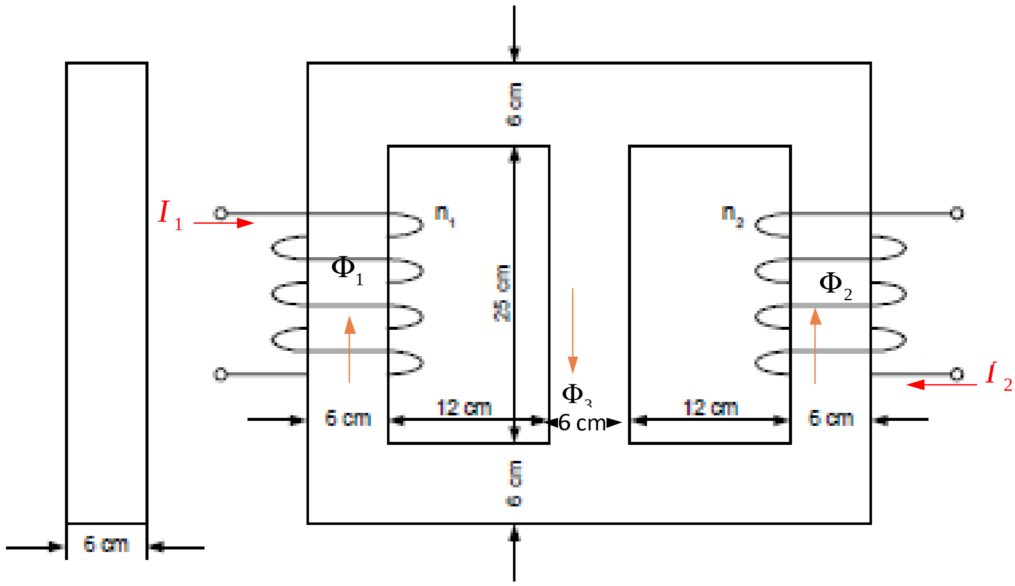
$$\theta = \Phi \cdot R_{m_1} + \Phi \cdot 2 \cdot R_{m_2} + \Phi \cdot 2 \cdot R_{m_L} + \Phi \cdot R_{m_3}$$

$$n \cdot I = \mathrm{B}_1 \cdot \mathrm{A} \cdot \frac{l_1}{A}\frac{H_1}{B_1} + \mathrm{B}_2 \cdot \mathrm{A} \cdot 2\,\frac{l_2}{A}\frac{H_2}{B_2} + \mathrm{B}_3 \cdot \mathrm{A} \cdot \frac{l_1}{A}\frac{H_3}{B_3} + \mathrm{B}_\mathrm{L} \cdot \mathrm{A} \cdot 2 \cdot \frac{l_L}{A}\frac{H_L}{B_L}$$

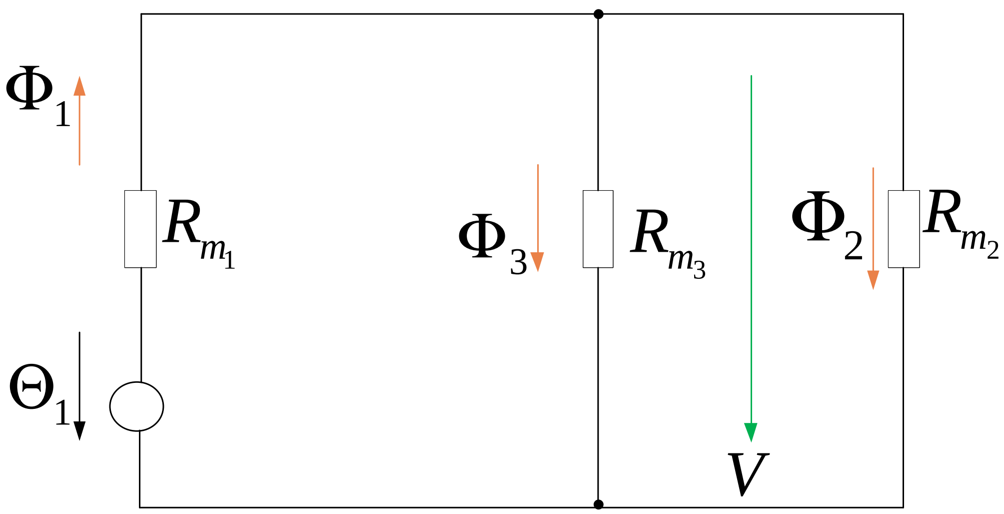
$$\mathrm{I} = \frac{l_1 H_1 + 2 l_2 H_2 + 2 l_L H_L + l_1 H_3}{\mathrm{n}} = \frac{31\ \mathrm{cm} \cdot 2{,}35\,\frac{A}{cm} + 2 \cdot 16 cm \cdot 2{,}35\,\frac{A}{cm} + 2{,}1\ cm \cdot 7162\,\frac{A}{cm} + 31\ cm \cdot 74\,\frac{A}{cm}}{1000}$$

$$\boldsymbol{I = 16{,}77\ A}$$

Üb.6.4/7:



a)



$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_0\mu_r A} = \frac{l_1}{A}\frac{H_1}{B_1}$ $\qquad R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0\mu_r A} = \frac{l_2}{A}\frac{H_2}{B_2}$

$R_{m3} = \frac{l_3}{\mu_0\mu_r A} = \frac{l_3}{A}\frac{H_3}{B_3}$ $\qquad l_1 = l_2 = 67cm \qquad l_3 = 31cm \qquad A = 36cm^2$

$V = \Phi_3 \cdot R_{m3} = \Phi_2 \cdot R_{m2}$

$\Phi_2 = \Phi_3 \cdot \frac{R_{m3}}{R_{m2}} = \Phi_3 \cdot \frac{l_3}{A}\frac{H_3}{B_3} \cdot \frac{A}{l_2}\frac{B_2}{H_2} = \Phi_3 \cdot \frac{l_3}{l_2}\frac{H_3}{H_2}\frac{\Phi_2/A}{\Phi_3/A}$

$\Phi_2 = \Phi_2 \cdot \frac{l_3}{l_2}\frac{H_3}{H_2} \Longrightarrow H_2 = \frac{l_3}{l_2} H_3$

$\Phi_3 = 3 \cdot 10^{-3}$ Vsec $\Longrightarrow \mathrm{B}_3 = \frac{\Phi_3}{A} = \frac{3\cdot 10^{-3}\mathrm{Vsec}}{36\ cm^2} = 8{,}33 \cdot 10^{-5} \frac{Vsec}{cm^2} = 0{,}833 \frac{Vsec}{m^2} = 833310^{-4} \frac{Vsec}{m^2}$

Aus Kennlinie $\Longrightarrow$ $H_3 = 2{,}4 \frac{A}{cm}$ $\qquad H_2 = \frac{l_3}{l_2} H_3 = \frac{31}{67} \cdot 2{,}4 \frac{A}{cm} = 1{,}11 \frac{A}{cm}$

Aus Kennlinie $\Longrightarrow B_2(H_2) = 5500 \cdot 10^{-4} \frac{Vsec}{m^2} \Longrightarrow \Phi_2 = \mathrm{B}_2 \cdot \mathrm{A} = 0{,}55 \frac{Vsec}{m^2} \cdot 36 \cdot 10^{-4} m^2$

$\Phi_2 = 1{,}98 \cdot 10^{-3} Vsec$

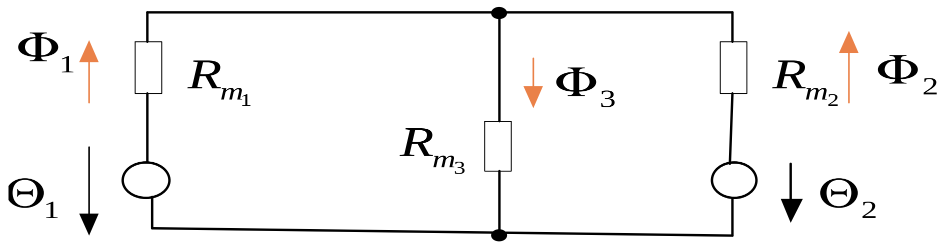
$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = (1{,}98 + 3) \cdot 10^{-3}\ Vsec = 4{,}98 \cdot 10^{-3}\ Vsec \Longrightarrow B_1 = \frac{\Phi_1}{A} = 13833 \cdot 10^{-4} \frac{Vsec}{m^2}$

Aus Kennlinie $\Longrightarrow H_1(B_1) = 15 \frac{A}{cm}$

$\theta_1 = \Phi_1 \cdot R_{m_1} + \Phi_3 \cdot R_{m_3} = B_1 \cdot A \cdot \frac{l_1}{A}\frac{H_1}{B_1} + B_3 \cdot A \cdot \frac{l_3}{A}\frac{H_3}{B_3} = l_1 H_1 + l_3 H_3 = n_1 I_1$

$I_1 = \frac{l_1 H_1 + l_1 H_3}{n_1} = \frac{67 \cdot 15\ A + 31 \cdot 2{,}4\ A}{100} = \mathbf{10{,}8\ A}$

b)



$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \theta$

$l_1 H_1 + l_3 H_3 = \theta_1$

$l_2 H_2 + l_3 H_3 = \theta_2$

$n_1 I_1 = n_2 I_2$

$\theta_1 = \theta_2 \Longrightarrow l_1 H_1 = l_2 H_2$

$l_1 = l_2 \Longrightarrow H_1 = H_2$

$gleiches\ Material \Longrightarrow B_1 = B_2$

$gleiche\ Fläche \Longrightarrow \Phi_1 = \Phi_2$

$\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2 = 2\Phi_1 \Longrightarrow \Phi_1 = \frac{\Phi_3}{2} = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Vsec

$B_1 = \frac{\Phi_1}{A} = \frac{1{,}5\cdot 10^{-3}\,Vsec}{36\cdot 10^{-4}\,m^2} = 0{,}4166\,\frac{Vsec}{m^2} = 4166\cdot 10^{-4}\,\frac{Vsec}{m^2}$

Aus Kennlinie $H_1(B_1) = 0{,}75\,\frac{A}{cm}$

Aus Teil a) $H_3 = 2{,}4\,\frac{A}{cm}$

$\theta_1 = n_1 I_1 = l_1 H_1 + l_3 H_3$

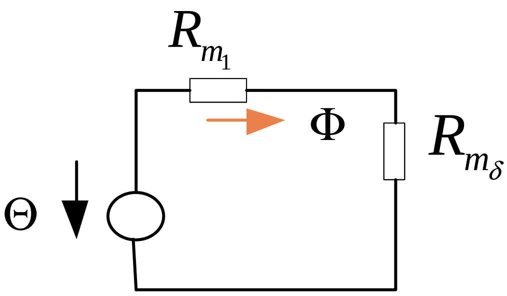
$I_1 = \frac{l_1 H_1 + l_3 H_3}{n_1} = \frac{0{,}75\,A\cdot 67 + 31\,A\cdot 2{,}4}{100} = 1{,}25\,A$

$I_1 = I_2 = 1{,}25\,A$

$\theta_1 + \theta_2 = 250\,A < \theta_1|_{a)} = 1080\,A$

Durch die Aufteilung auf zwei Spulen benötigt man eine geringere Gesamtdurchflutung, weil man unterhalb des Sättigungsknies der Magnetisierungskurve bleibt.

Üb. 6.4/8:



$R_{m_1} = \frac{l-\delta}{\mu_0\mu_r A} = \frac{l-\delta}{A}\cdot\frac{H_1}{B_1}$

$R_{m_\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 A} = \frac{\delta}{A}\cdot\frac{H_\delta}{B_\delta}$

$\Phi = B_1\cdot A = B_\delta\cdot A \Longrightarrow B_1 = B_\delta$

$\theta_1 = \Phi\cdot R_{m_1} + \Phi\cdot R_{m_\delta} = B_1\cdot A\cdot\frac{(l-\delta)}{A}\frac{H_1}{B_1} + B_\delta\cdot A\cdot\frac{\delta}{A}\frac{H_\delta}{B_\delta} = (l-\delta)H_1 + \delta H_\delta$

$(l-\delta) = 99{,}9\,cm, \qquad \delta = 0{,}1\,cm$

Lösung:

1) $H_1\ vorgeben$

2) $B_1 = B_\delta\quad aus\ Kennlinie$ $\qquad \frac{\delta}{\mu_0} = 795{,}77\,\frac{Am^2}{Vsec}$

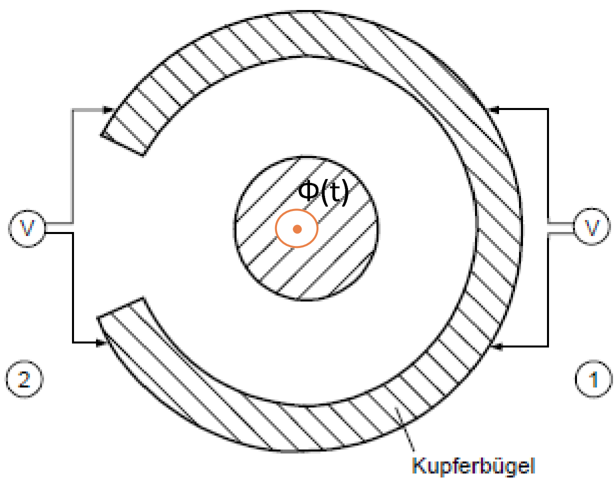
3) $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$ $\theta = 2000\ A$

4) $\Delta = \theta - [(l-\delta)H_1 + \delta H_\delta] = 0\ \ ist\ Lösung$

$H_1 \Big/ \frac{A}{cm}$	$(l-\delta)H_1/A$	$B_1 \Big/ \frac{Vsec}{m^2}$	$\delta \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0}/A$	Δ/A
6	599,4	1,25	994,72	+405,88
10	999	1,365	1086,23	-85,23
9,5	949	1,35	1074,3	-23,3
9,0	899,1	1,34	1066,3	+34,56
9,25	924,08	1,35	1074,3	+1,62≈ 0

$$\mathbf{B_1 = B_\delta = 1,35\ \frac{Vsec}{m^2}}$$

Üb. 7.1.1/1:

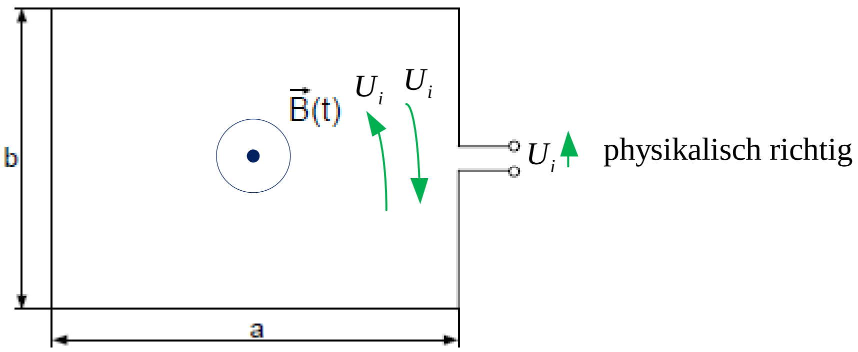


Aus (7.1.1/2) $U_i = \oint \vec{E}_i \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi}{dt}$ ⟹nur bei einem geschlossenen Umlauf tritt eine induzierte Spg. U_i auf (Umlaufspg.). Hier muss der geschlossene Weg das Voltmeter mit erfassen.

a) In der Position (1) wird unabhängig von der Schleifereinstellung nie der Fluss Φ vollständig (geschlossen) umfasst $\Longrightarrow \boldsymbol{U_i = 0}$
b) In der Position (2) wird unabhängig von der Schleifereinstellung immer der volle Fluss umfasst $\Longrightarrow |\boldsymbol{U_i}| = \frac{\boldsymbol{d\Phi}}{\boldsymbol{dt}}$

Mit einem Schleifer kann nicht jeder beliebige Teil der in einer Spule induzierten Spannung abgegriffen werden, wie es bei einem Regelwiderstand möglich ist. Der kleinste abgreifbare Spannungsunterschied ist immer die Umlaufspg. einer Windung.

Üb. 7.1.1/2:



s

Nach (7.1.1/2) $U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -A \cdot \frac{dB}{dt} = -A \cdot \frac{d}{dt}(\hat{B}[1 + \sin(\omega t)])$

$$\boldsymbol{u_i = -A \cdot \hat{B} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)}$$

Für $\frac{dB}{dt} < 0$ $\mathit{stimmt\ physikalische\ und\ mathematische\ Richung\ überein}$

Minuszeichen ist beim Richtungssinn schon berücksichtigt.

Üb. 7.1.1/3:

$H_1 \approx \frac{n_1 i_1}{l_1}$ Die Flusslinien verlaufen bei Gültigkeit dieser Näherung im Inneren der Spule parallel. Somit umfasst jede Windung der Spule 2 den gleichen Fluss.

$$B_1 = \mu_0 \cdot H_1$$

Fluss durch die Spule 2: $\Phi_2 = \iint_{A_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{A} = B_1 \cdot \frac{\pi {d_2}^2}{4} = \frac{\pi {d_2}^2}{4} \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_1 i_1}{l_1}$

Aus (7.1.1/6) Spulenfluss $\Psi_2 = n_2 \cdot \Phi_2$

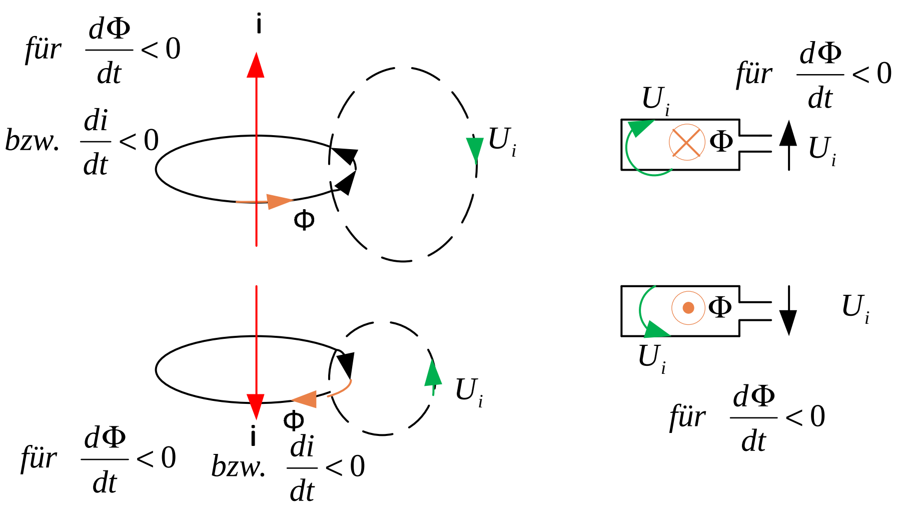
Aus (7.1.1/5) $|U_i| = \frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\pi {d_2}^2}{4} \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_1 n_2}{l_1} \frac{di_1}{dt}$

Bei zeitlinearem Anstieg des Stromes ist $\frac{di_1}{dt} = \frac{\Delta i_0}{\Delta t_0}$

$$\boldsymbol{|U_i| = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot \pi \cdot {d_2}^2 \cdot \mu_0}{4 l_1} \frac{\Delta i_0}{\Delta t_0}}$$

$$|U_i| = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 10^{-4}\, m^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} Vsec \cdot 0{,}5\, A}{4 \cdot 0{,}2\ m \qquad\qquad Am \qquad 2sec} = \mathbf{0{,}987\ mV}$$

Üb. 7.1.1/4:



Aus Üb. 5.3.1.1/1 $H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$

$B = \mu_0 \cdot H$ $\quad \Phi = \iint_a^{a+b} B(r) dA$ $\quad dA = h \cdot dr$

$$\Phi = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 \cdot i \cdot h}{2\pi} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot h}{2\pi} \ln(r) \,|_a^{a+b} = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot h}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{b}{a}\right)$$

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot i \cdot h}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{b}{a}\right) \frac{di}{dt}$$

$$U_i = -\frac{4\pi \cdot 10^{-7} Vsec \cdot 0{,}1m}{2\pi \quad Am} \ln\left(1 + \frac{30}{10}\right) \frac{di}{dt}$$

$$U_i = -2{,}77 \cdot 10^{-8} \frac{Vsec}{A} \frac{di}{dt}$$

$0 \le t \le 2\ sec$:

$$i = \frac{Imax}{2sec} \cdot t$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{Imax}{2sec} = \frac{100A}{2sec} = 50\ \frac{A}{sec}$$

$$\boldsymbol{U_i = -1{,}385\ \mu V}$$

$2sec \le t \le 4\ sec:$

$$i = Imax$$

$$\frac{di}{dt} = 0 \implies U_i = 0$$

$4\ sec \le t \le 7\ sec:$

$$i = Imax - \frac{Imax}{1sec} \cdot (t - 4sec)$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{Imax}{1sec} = -100\ \frac{A}{sec}$$

$$\boldsymbol{U_i = +2{,}77\ \mu V}$$

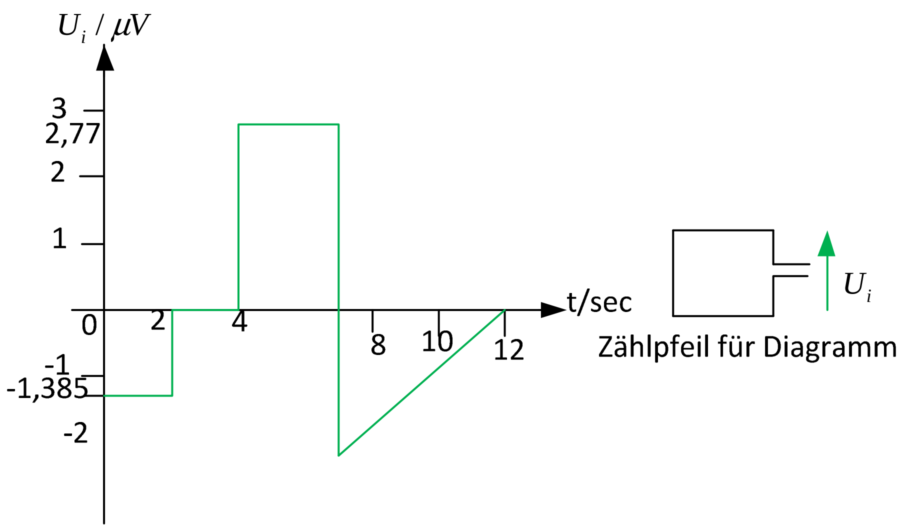
$7sec \le t \le 12\ sec:$

$$i = -8\ \frac{A}{sec^2}(t - 12\ sec)^2$$

$$\frac{di}{dt} = -8\frac{A}{sec^2} \cdot 2(t - 12sec)$$

$$U_i = +0{,}4432\ \mu V\,\frac{(t-12\ sec)}{sec}$$

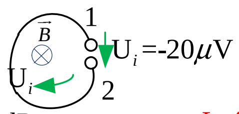
$$\boldsymbol{U_i(t = 7sec) = -2{,}216\mu V}$$



Üb. 7.1.1/5:

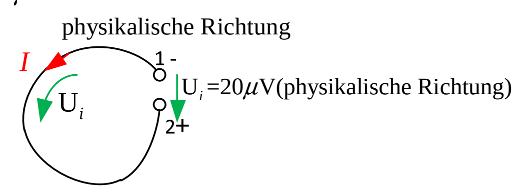
$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -A\frac{dB}{dt} = -A\frac{B_0}{\Delta t_0} = -2\cdot 10^{-4}m^2\frac{0{,}1\,Vsec}{m^2\cdot sec}$$

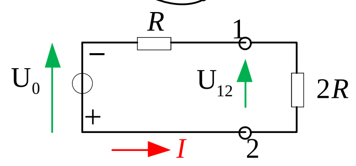
$$U_i = -20\ \mu V$$



rechtswendig für $\frac{dB}{dt} < 0$

auch die physikalische Richtung





$$I = \frac{U_0}{3R}$$

$$U_{21} = I\cdot 2R = \frac{U_0}{3R}\cdot 2R = U_0\cdot\frac{2}{3}$$

$|U_0| = |U_i| = 20\ \mu V$ $\boldsymbol{U_{21} = 13{,}33\ \mu V}$

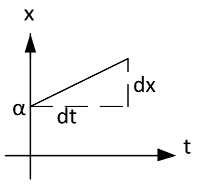
Üb. 7.1.1/6

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{-d(\vec{B}\cdot\vec{A})}{dt} = -\vec{A}\underbrace{\frac{d\vec{B}}{dt}}_{0} - \vec{B}\underbrace{\frac{d\vec{A}}{dt}}_{0} = \mathbf{0}$$

Üb. 7.1.1/7:

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{-d}{dt}(\vec{B}\cdot\vec{A}) = -\vec{A}\frac{d\vec{B}}{dt} - \vec{B}\frac{d\vec{A}}{dt}$$

$$\frac{dB}{dt} = \omega\cdot B_0\cos(\omega t)$$



$$x = a + \underbrace{\frac{dx}{dt}}_{V} \cdot t = a + v \cdot t \qquad A = x \cdot l = l(a + v \cdot t)$$

$$\frac{dA}{dl} = l \cdot v$$

$$U_i = -l(a + vt)\omega \cdot B_0 \cos(\omega t) - B_0 \sin(\omega t) \cdot lv$$

$$\boldsymbol{U_i = -l \cdot B_0[\omega(a + vt)\cos(\omega t) + v \cdot \sin(\omega t)]}$$

Üb. 7.1.1/8:

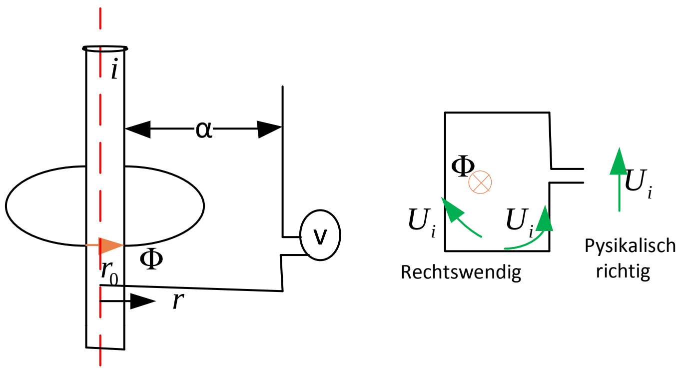
Ohmscher Widerstand zwischen den Punkten A und B

$$R_{AB} = \frac{\varrho \cdot 2a}{r_0^2 \cdot \pi} = \frac{17{,}5 \cdot 10^{-3}\Omega\, mm^2 \cdot 2 \cdot\ 0{,}2\, m}{10^2\, mm^2\, \pi\, m} = 22{,}28\, \mu\Omega$$

$$u = i(t) \cdot R_{AB} = \frac{\Delta i_0}{\Delta t_0} \cdot t \cdot R_{AB} = \frac{1\, A}{0{,}1\, sec} \cdot t \cdot 22{,}28\, \mu\Omega = 222{,}8\, \mu\mathrm{V} \frac{\mathrm{t}}{\mathrm{sec}}$$

Position (1) A -> 0 $\Longrightarrow$ $u_{Anzeige} = u$

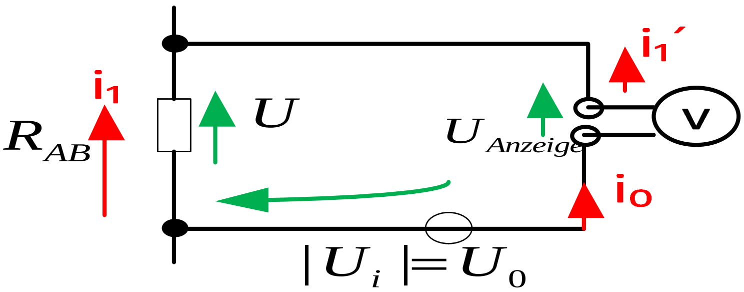
Aus Üb.7.1.1/4 $H = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot r}$ $\qquad B = \mu_0 \cdot H \qquad dA = 2a \cdot dr$



$$\Phi = \iint_{r_0}^{a+r_0} B \cdot dA \ = \frac{i}{2 \cdot \pi} \mu_0 2a \int_{r_0}^{a+r_0} \underbrace{\frac{dr}{r}}_{\ln(\frac{a+r_0}{r_0}) = \ln\,(1+\frac{a}{r_0})}$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot a}{\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{r_0}\right) \cdot i$$

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot a}{\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{r_0}\right) \frac{di}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot a}{\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{r_0}\right) \frac{\Delta i_0}{\Delta t_0}$$



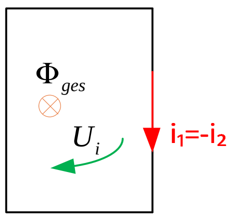
Physikalisch richtig

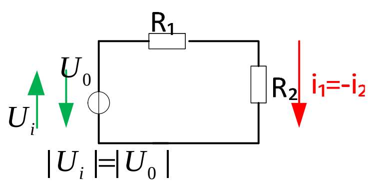
$$U_i = -\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \frac{Vsec}{Am} \cdot 0{,}2\, m \cdot \ln(1 + 20) \cdot \frac{1\, A}{0{,}1\, sec} = -2{,}44\, \mu V$$

$$\boldsymbol{u_{Anzeige} = u + |U_i| = \left(222{,}8\, \frac{t}{sec} + 2{,}44\right) \mu V}$$

Üb. 7.1.1/9:

a)



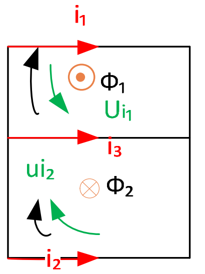


$$\Phi_{ges} = -\Phi_1 + \Phi_2$$

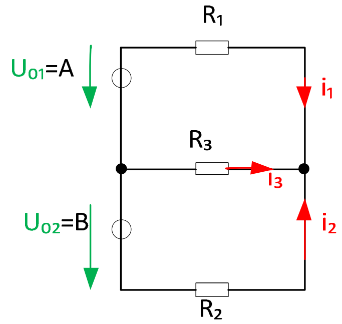
$$U_i = -\frac{d\Phi_{ges}}{dt} = \frac{-d}{dt}(-\Phi_1 + \Phi_2) = \frac{d\Phi_1}{dt} - \frac{d\Phi_2}{dt} = A + B$$

$$\mathrm{i}_1 = -\mathrm{i}_2 = \frac{\mathrm{A+B}}{\mathrm{R_1+R_2}}$$

b)



physikalisch richtig



$$u_{i_1} = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -A \qquad u_{i_2} = -\frac{d\Phi_2}{dt} = B$$

$$\sum U = 0: \quad -U_{0_1} + \mathrm{i}_1\mathrm{R}_1 - \mathrm{i}_3\mathrm{R}_3 = 0$$

$$-U_{0_2} - \mathrm{i}_2\mathrm{R}_2 + \mathrm{i}_3\mathrm{R}_3 = 0$$

$$\sum I = 0: \quad \mathrm{i}_1 + \mathrm{i}_2 + \mathrm{i}_3 = 0$$

$$\mathrm{i}_1\mathrm{R}_1 + (\mathrm{i}_1 + \mathrm{i}_2)\mathrm{R}_3 = U_{0_1}$$

$$-\mathrm{i}_2\mathrm{R}_2 - (\mathrm{i}_1 + \mathrm{i}_2)\mathrm{R}_3 = U_{0_2}$$

$$\mathrm{i}_1(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3) + \mathrm{i}_2\mathrm{R}_3 = U_{0_1} \; /\mathrm{R}_3$$

$$-\mathrm{i}_1\mathrm{R}_3 - \mathrm{i}_2(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3) = U_{0_2} /(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \mathrm{i}_1\mathrm{R}_3(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3) + \mathrm{i}_2{\mathrm{R}_3}^2 = U_{0_1}(\mathrm{R}_3) \\ -\mathrm{i}_1\mathrm{R}_3(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3) - \mathrm{i}_2(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3)(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3) = U_{0_2}(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3) \end{cases}$$

$$\mathrm{i}_2\left[{\mathrm{R}_3}^2 - \mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 - \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 - \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3 - {\mathrm{R}_3}^2\right] = \underbrace{U_{0_1}}_{\mathrm{A}}\mathrm{R}_3 + \underbrace{U_{0_2}}_{\mathrm{B}}(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3)$$

$$\mathbf{i_2} = \frac{\mathbf{-AR_3 - B(R_1 + R_3)}}{\mathbf{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}}$$

$$\mathrm{i}_1 = \frac{-U_{0_2} - \mathrm{i}_2(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3)}{\mathrm{R}_3} = -\frac{\mathrm{B}}{\mathrm{R}_3} + \frac{(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3)}{\mathrm{R}_3}\left(\frac{\mathrm{AR}_3 + \mathrm{B}(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3)}{\mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 + \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3}\right)$$

$$\mathrm{i}_1 = \frac{-\mathrm{B}[\mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 + \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3] + \mathrm{B}\left[\mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 + \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3 + {\mathrm{R}_3}^2\right] + \mathrm{AR}_3(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3)}{\mathrm{R}_3(\mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 + \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3)}$$

$$\mathbf{i_1} = \frac{\mathbf{A(R_2 + R_3) + BR_3}}{\mathbf{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}}$$

$$\mathbf{i_3} = -\mathrm{i}_1 - \mathrm{i}_2 = \frac{-\mathrm{A}(\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3) - \mathrm{BR}_3 + \mathrm{AR}_3 + \mathrm{B}(\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_3)}{\mathrm{R}_1\mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_1\mathrm{R}_3 + \mathrm{R}_2\mathrm{R}_3} = \frac{\mathbf{-AR_2 + BR_1}}{\mathbf{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}}$$

Üb. 7.1.1/10:

$\theta = n_1 \cdot i_1 = n_1 \cdot \hat{\imath}_1 \cdot \sin(\omega t) \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

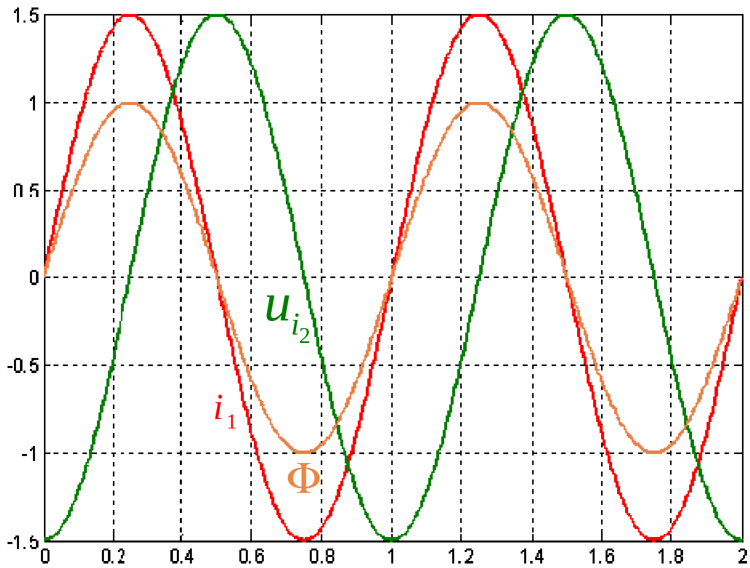
$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$

$\Phi(\mathrm{t}) = \frac{\theta}{R_m} = \frac{n_1 \cdot \hat{\imath}_1 \cdot \sin(\omega t)}{\frac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}} = \underbrace{\frac{n_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot \hat{\imath}_1}{l_{Fe}}}_{\hat{\Phi}} \cdot \sin(\omega t) = \hat{\Phi} \sin(\omega t)$

$u_{12} = -n_2 \cdot \frac{d\Phi(\mathrm{t})}{dt} = -\underbrace{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot \hat{\imath}_1 \cdot \omega}{l_{Fe}}}_{\hat{u}_{i_2}} \cdot \cos(\omega t) = -\hat{u}_{i_2} \cdot \cos(\omega t)$

Wickelsinn der Spulen nicht berücksichtigt

b)



c) $\Phi = \underbrace{\hat{B}}_{Bmax} \cdot A = \frac{n_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot \hat{\imath}_1}{l_{Fe}}$

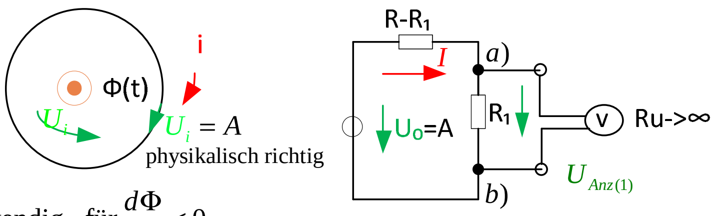
$$\hat{\imath}_1 = \frac{Bmax \cdot l_{Fe}}{n_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r} = \frac{8 \cdot 10^{-2} Vsec \cdot 0{,}35\ m\ Am}{2 \cdot 10^3\ m^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} Vsec \cdot 1{,}2 \cdot 10^3}$$

$$\hat{\imath}_1 = \mathbf{9,28}\ \boldsymbol{mA}$$

$$\hat{u}_{i_2} = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot \omega \cdot Bmax \cdot l_{Fe}}{l_{Fe} \quad \underbrace{n_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}_{\hat{\imath}}} = n_2 \cdot A \cdot \omega \cdot Bmax = 5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-4}\ m^2 \cdot 2\pi \cdot \frac{8 \cdot 10^2}{sec} \cdot 8 \cdot 10^{-2}\ \frac{Vsec}{m^2}$$

$$\hat{u}_{i_2} = \mathbf{1,005\ kV}$$

Üb. 7.1.1/11:



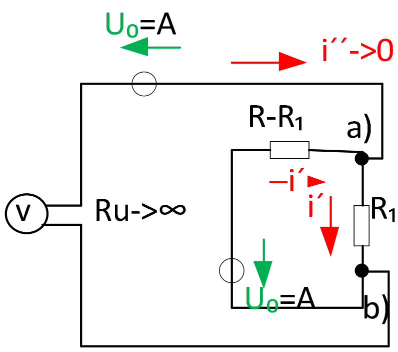
rechtswendig, für $\frac{d\Phi}{dt} < 0$

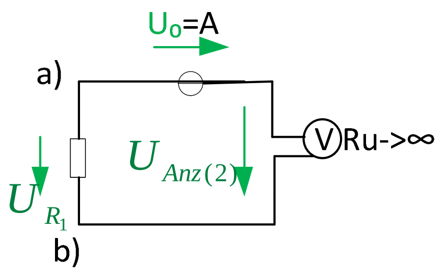
auch physikalisch richtig

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -A$$

$$U_{Anz\,(1)} = I \cdot R_1 \qquad\qquad I = \frac{A}{R}$$

$$\mathbf{U_{Anz\,(1)} = A \cdot \frac{R_1}{R}}$$





die Zuleitungen umschließen über R_1 noch einmal den gesamten Fluss

$U_{R_1} = A \cdot \frac{R_1}{R}$, weil i´´= 0, wegen $R_u \to \infty$

Die Zuleitungen umschließen über R_1 noch einmal den gesamten Fluss.

$$\sum U = 0: \qquad -U_{R_1} + U_0 + U_{Anz\,(2)} = 0$$

$$U_{Anz\,(2)} = U_{R_1} - U_0 = A \cdot \frac{R_1}{R} - A = A\left(\frac{R_1}{R} - 1\right)$$

$$\boldsymbol{U_{Anz\,(2)}} = \frac{\boldsymbol{-A(R-R_1)}}{\boldsymbol{R}}$$

Üb. 7.2.1/1:

a) Aus (7.2.1/7) $L = \frac{n^2}{R_{m_{ges}}} = \frac{n^2}{R_{m_e}} = \frac{n^2}{\frac{l_e}{\mu_0\mu_r A}} = \frac{n^2\mu_0\mu_r A}{l_e}$

$$L = \frac{16\cdot10^6\cdot4\pi\cdot10^{-7} Vsec\cdot1{,}2\cdot10^3\cdot12\cdot10^{-4} m^2}{Am \quad 0{,}5\,m} = 57{,}9\ \frac{Vsec}{A} = 57{,}9\ H$$

b) $L = \frac{n^2}{R_{m_{ges}}} = \frac{n^2}{R_{m_e}+R_{m_L}} = \frac{n^2}{\frac{l_e}{\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}+\frac{l_L}{\mu_0\cdot A}} = \frac{n^2\cdot\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}{l_e+\mu_r l_L}$

$$L = \frac{16\cdot10^6\cdot4\pi\cdot10^{-7}\ Vsec\cdot1{,}2\cdot10^3\cdot12\cdot10^{-4}\ m^2}{Am \quad (0{,}5+1{,}2\cdot10^3\cdot1\cdot10^{-3})m} = 17\ \frac{Vsec}{A} = 17\ H$$

c) $L = \frac{n^2}{R_{m_{ges}}}$ $\qquad dL = \frac{2n}{R_{m_{ges}}}\cdot dn$

$$\frac{dL}{L} = \frac{2n \quad \cdot dn}{R_{m_{ges}}\cdot\frac{n^2}{R_{m_{ges}}}} = 2\cdot\frac{dn}{n}$$

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{2}\frac{dL}{L} = \frac{1}{2}\cdot2\% = 1\%$$

$dn = n\cdot1\% = 4000\cdot1\% = 40$ 40 Windungen müssen hinzu gewickelt werden.

Üb. 7.2.1/2:

Aus Üb. 5.3.2/1 $\quad \Phi = \frac{\mu_0\mu_r\cdot n\cdot h}{2\pi}\cdot I\cdot\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)$

Aus (7.2.1/3) $\quad L = \frac{\Psi}{I} = n\cdot\frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0\mu_r\cdot n^2\cdot h}{2\pi}\cdot I\cdot\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)$

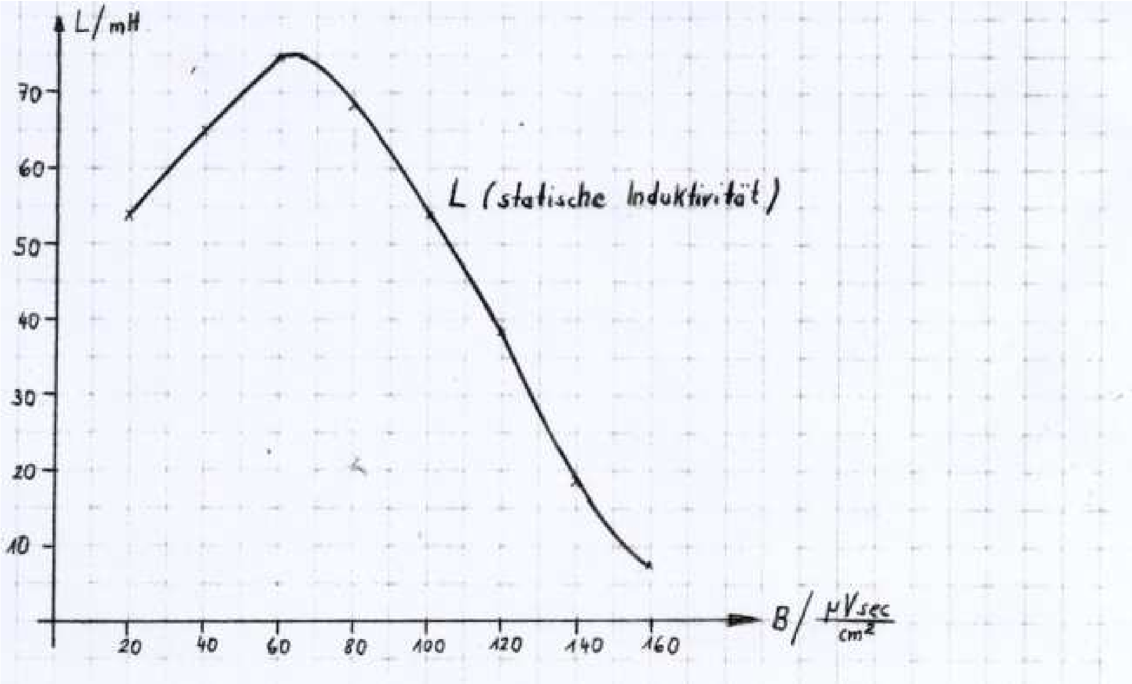
$$L = 4\pi\cdot10^{-7}\ \frac{Vsec}{Am}\frac{175^2}{2\pi}\cdot2\cdot10^{-2}\ m\cdot\ln\left(\frac{6{,}5}{5{,}5}\right)\cdot\ \mu_r = 2{,}046\cdot10^{-5}\ \frac{Vsec}{A}\mu_r$$

$$L = 2{,}046\cdot10^{-5}\mu H\cdot\mu_r$$

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

$\mu_r = \frac{B}{\mu_0\cdot H}$ $\qquad \frac{\mu Vsec}{cm^2} = \frac{10^{-6}\ Vsec}{10^{-4}\ m^2} = 10^{-2}\ \frac{Vsec}{m^2}$

$B/\mu Vsec/cm^2$	20	40	60	80	100	120	140	160
H/A/cm μ_r L/mH	0,6 2653 54,3	1,0 3183 65,1	1,3 3673 75,2	1,9 3351 68,6	3,0 2653 54,3	5,1 1872 38,3	11,7 952 19,5	35,0 364 7,4



Üb. 7.2.1.1/1:

$u_{R(t)} = i_{(t)} \cdot R \implies u_{R(t)}$ verlauft proportional dem eingespeisten Strom

Aus (7.2.1.1/1) $\quad u_{L(t)} = L \cdot \frac{di}{dt}$

$0 \le t \le t_1$ $\quad \frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{I-0}{t_1-0} = \frac{I}{t_1}$

$u_{L(t)} = \frac{L \cdot I}{t_1}$

$t_1 \le t \le 2t_1$ $\quad \frac{di}{dt} = 0 \implies u_{L(t)} = 0$

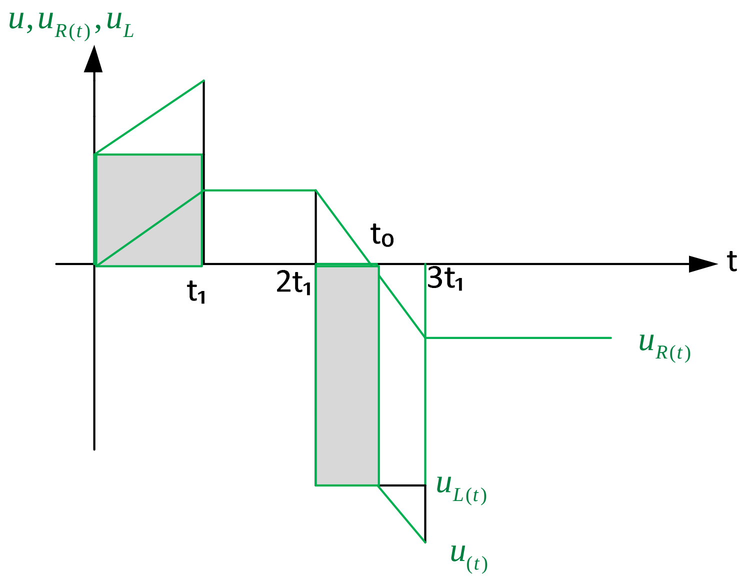
$2t_1 \le t \le 3t_1$ $\quad \frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{-I-(+I)}{3t_1-2t_1} = \frac{-2I}{t_1}$

$u_{L(t)} = -L \cdot \frac{2 \cdot I}{t_1}$

$3t_1 \le t \le \infty$

$\frac{di}{dt} = 0 \implies u_{L(t)} = 0$

$$\boldsymbol{u_{(t)} = u_{R(t)} + u_{L(t)}}$$



Die beiden grauen Flächen müssen gleiche Größe haben, denn zur Zeit t_0 ist der Kreis wieder im Ausgangszustand, d.h, der durch den Strom I erzeugte Fluss ist wieder abgebaut ($H \sim I, B \sim H, \Phi \sim \mathrm{B} \Longrightarrow \Phi \sim \mathrm{I}$)

Aus (7.2.1.1/1) $u_{L(t)} = \frac{d\Psi}{dt}$

$\Psi = \int_0^{t_0} u_{L(t)} \cdot dt = 0 \Longrightarrow$ Flächen müssen gleich sein.

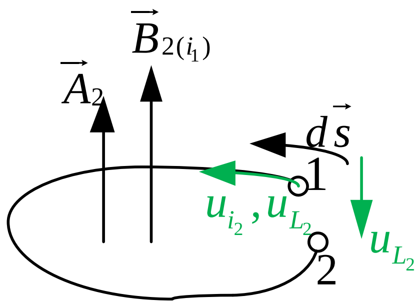
Üb. 7.2.1.2/1:

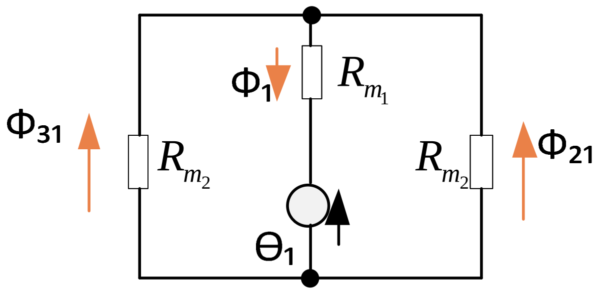
Aus (7.2.1/7) $L_{i_1} = \frac{{n_1}^2}{R_m} = \underbrace{\frac{\Psi_1}{I_1} = \frac{n_1 \cdot \Phi_1}{I_1}}_{aus(7.2.1/3)}$

Aus (7.2.1.2/1) $L_{ges_1} = \sum_{i=1}^{3} L_{i_1} = \mathbf{3} \cdot L_{i_1} = \frac{\mathbf{3}}{\boldsymbol{R_m}} \quad (n_1 = 1) \Longrightarrow R_m = \frac{3}{L_{ges_1}}$

$$\mathbf{L_2} = \frac{\mathbf{n_2}^2}{\mathbf{R_m}} = \frac{\mathbf{3}^2}{\mathbf{3}} \mathbf{L_{ges_1}} = \mathbf{3} \cdot \mathbf{L_{ges_1}}$$

Üb. 7.2.2/1:





$$R_{m2} = \frac{\frac{1}{2}d_m\pi}{\mu_0\mu_r A}$$

$$R_{m1} = \frac{d_m}{\mu_0\mu_r A}$$

$$R_{m\,ges} = R_{m1} + \frac{R_{m2}}{2} = \frac{d_m}{\mu_0\mu_r A} + \frac{1}{4}\frac{d_m\pi}{\mu_0\mu_r A} = \frac{d_m}{\mu_0\mu_r A}\left[1 + \frac{\pi}{4}\right]$$

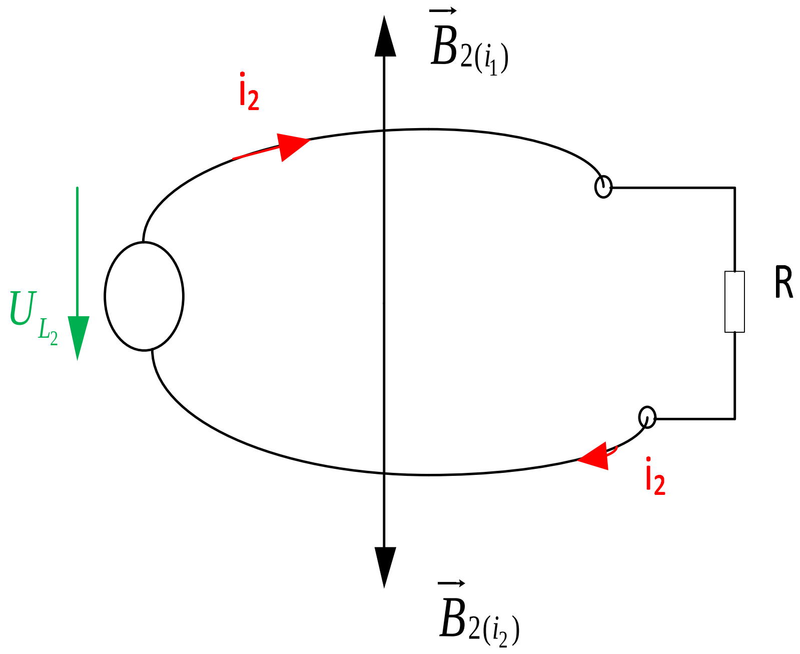
$$\Phi_1 = \frac{\theta_1}{R_{m\,ges}} = \frac{n_1 \cdot i_1}{\frac{d_m}{A\cdot\mu_0\mu_r}\left[1 + \frac{\pi}{4}\right]} = \frac{n_1 \cdot i_1 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{d_m\left[1 + \frac{\pi}{4}\right]}$$

$$\Phi_{21} = \Phi_{31} \Longrightarrow \Phi_1 = \Phi_{21} + \Phi_{31} = 2\Phi_{21}$$

$$\Phi_{21} = \frac{\Phi_1}{2} = \frac{n_1 \cdot i_1 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2d_m\left[1 + \frac{\pi}{4}\right]}$$

Aus (7.2.2/2) $M_{21} = \frac{n_2}{i_1} \cdot \Phi_{21} = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2d_m\left[1+\frac{\pi}{4}\right]}$ M_{21} positiv, da $\vec{A}$ in Richtung $\vec{B}_{2(i_1)}$ *gewählt*.

Aus (7.2.2/1) $u_{L2} = M_{21} \cdot \frac{di_1}{dt} = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2d_m\left[1+\frac{\pi}{4}\right]} \cdot \frac{di_1}{dt}$



Kontrolle: $\vec{B}_{2(i_2)}$ muss zu $\vec{B}_{2(i_1)}$ entgegengesetzt sein.

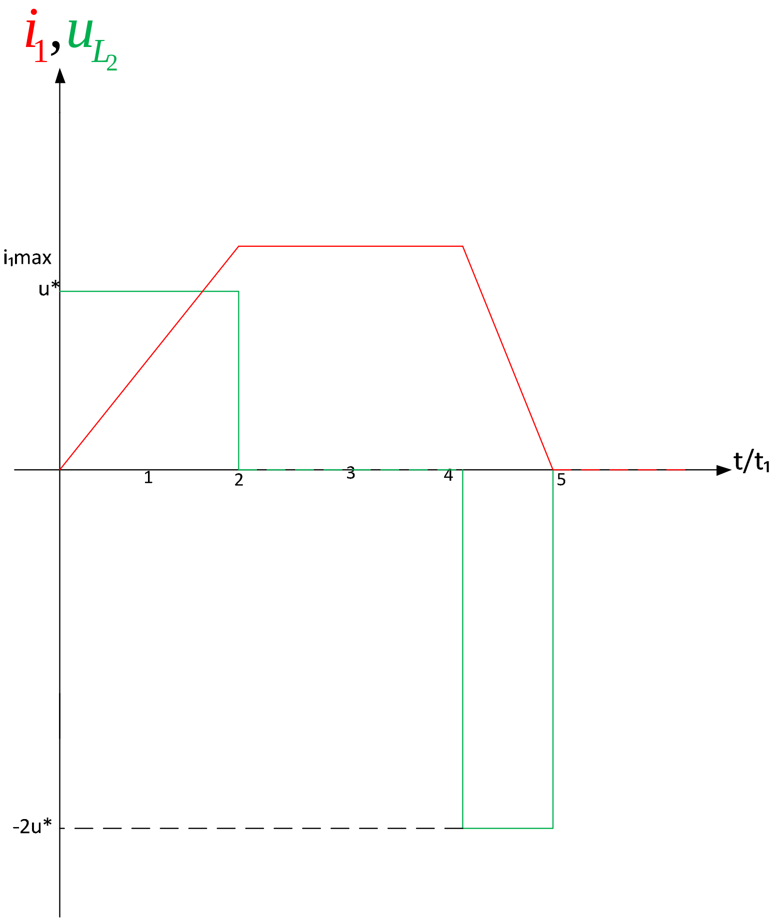
$0 \leq \frac{t}{t_1} \leq 2$ $\quad \frac{di_1}{dt} = \frac{\Delta i_1}{\Delta t} = \frac{i_{1max}}{2t_1}$

$$\boldsymbol{u_{L_2} = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2d_m\left[1+\frac{\pi}{4}\right]} \cdot \frac{i_{1max}}{2t_1} = u^*}$$

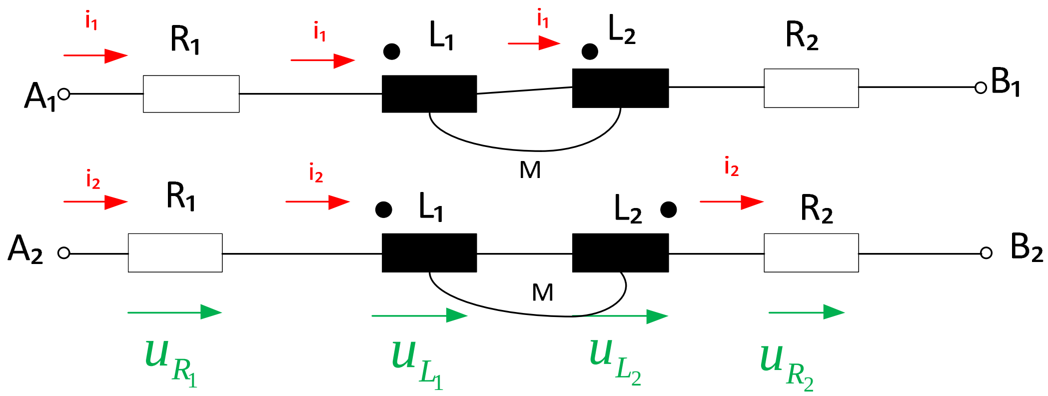
$2 \leq \frac{t}{t_1} \leq 4$ $\quad \frac{di_1}{dt} = 0 \Longrightarrow \boldsymbol{u_{L_2} = 0}$

$4 \leq \frac{t}{t_1} \leq 5$ $\quad \frac{di_1}{dt} = \frac{\Delta i_1}{\Delta t} = \frac{0 - i_{1max}}{5t_1 - 4t_1} = -\frac{i_{1max}}{t_1}$

$$\boldsymbol{u_{L_2} = -\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2d_m\left[1+\frac{\pi}{4}\right]} \cdot \frac{i_{1max}}{t_1} = -2u^*}$$



Üb. 7.2.4/1:



a) $u_{A_1B_1} = u_{R_1} + u_{L_1} + u_{L_2} + u_{R_2} = i_1 R_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_1}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt} + i_1 R_2$

$u_{A_1B_1} = i_1(R_1 + R_2) + \frac{di_1}{dt}(L_1 + L_2 + 2M) \triangleq i_1 R_{A_1B_1} + \frac{di_1}{dt} \cdot L_{A_1B_1}$

$$\boldsymbol{R_{A_1B_1} = R_1 + R_2}$$

$$\boldsymbol{L_{A_1B_1} = L_1 + L_2 + 2M}$$

$$u_{A_2B_2} = u_{R_1} + u_{L_1} + u_{L_2} + u_{R_2} = i_2R_1 + L_1 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt} + i_2R_2$$

$$u_{A_2B_2} = i_2(R_1 + R_2) + \frac{di_2}{dt}(L_1 + L_2 - 2M) \triangleq i_2R_{A_2B_2} + \frac{di_2}{dt} \cdot L_{A_2B_2}$$

$$R_{A_2B_2} = R_1 + R_2$$

$$\boldsymbol{L_{A_2B_2} = L_1 + L_2 - 2M}$$

b) Aus (7.2.3/11) $k = 1 = \frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$

Aus (7.2.3/5) $L_\sigma = 0 \Longrightarrow L_h = L\}^{L_{h_1}=L_1}_{L_{h_2}=L_2}$

Aus (7.2.3/6) $\left.\begin{matrix} L_{h_1}=\frac{n_1}{n_2}\cdot M=L_1 \\ L_{h_2}=\frac{n_2}{n_1}\cdot M=L_2 \end{matrix}\right\} \underset{L_1=L_2=M=L}{\overset{n_1=n_2}{\Longrightarrow}}$ $\boldsymbol{L_{A_1B_1} = 4L}$

$$\boldsymbol{L_{A_2B_2} = 0}$$

$L_{A_2B_2} = 0$ lässt sich technisch nur durch bifilare Wicklung erreichen$\Longrightarrow$ induktionsarme Widerstände

Üb. 8.1/1:

Aus (8.1/5) $L_i = \frac{2 \cdot W_i}{I^2}$

Aus Bsp. 8.1/1 $W_i = \frac{\mu_0}{2} \iiint_{Volumen} H_i^2 dV$ $mit\ dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot dr$

$0 \le r \le r_d$ $H_i = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot {r_d}^2} \cdot r$

$$W_i = \frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot l}{2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot {r_d}^4} \cdot \int_0^{r_d} r^3 dr = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{4\pi} \frac{l}{{r_d}^4} \left[\frac{r^4}{4}\right]_0^{r_d}$$

$$W_i = \frac{\mu_0 \cdot I^2}{16\pi} \frac{l{r_d}^4}{{r_d}^4} = \frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot l}{16\pi}$$

$$\boldsymbol{L_i = \frac{\mu_0 \cdot l}{8\pi}} \quad siehe\ 1.\ Term\ in\ Beispiel\ 8.1/1$$

Üb. 8.1/2:

a) Aus Bsp. 8.1/1 $W = \frac{\mu_0}{2} \iiint_{Volumen} H^2 dV$

$dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot dr$

Aus Üb. 5.3.2/1 $r_1 = r = r_a$: $H = \frac{nI}{2 \cdot \pi \cdot r}$

$$W = \frac{\mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot h}{2 \cdot 4\pi^2} \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{r}{r^2} dr = \frac{\mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2 \cdot h}{4\pi} \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{1}{r} dr$$

$$\boldsymbol{W = \frac{\mu_0 \cdot n^2 \cdot I^2 \cdot h}{4\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$$

b) Aus (8.1/5) $\boldsymbol{L = \frac{2W}{I^2} = \frac{\mu_0 \cdot n^2 \cdot h}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$

Üb. 8.1/3:

Energieerhaltung bedingt: $W_{magn} = W_{elektr.}$

Aus (8.1/5) $W_{magn} = \frac{1}{2} L I^2$

Aus (4.4.8/1) ET1 $W_{elektr.} = \frac{1}{2} C U^2$

$$\frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} C U^2$$

$$C = L \cdot \left(\frac{I}{U}\right)^2 = 3{,}6\,\frac{Vsec}{A}\left(\frac{1\,A}{300\,V}\right)^2 = 4 \cdot 10^{-5}\,\frac{Vsec}{A}\frac{A^2}{V^2}$$

$$\boldsymbol{C = 40 \cdot 10^{-6}\,\frac{Asec}{V} = 40\,\mu F}$$

Üb. 8.2/1:

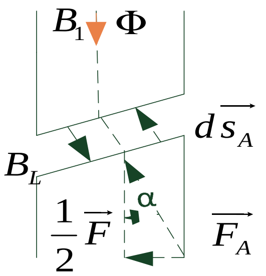
Aus (8.2/2) $F = \frac{\overbrace{2A_1}^{A_{ges}}}{2\mu_0} \cdot B_L^2 = \frac{A_1}{\mu_0} B_L^2$

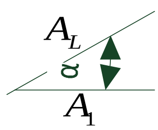
$B_L = \sqrt{\frac{F\mu_0}{A_1}}$ $\qquad W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$

$$VAsec = N \cdot m \Longrightarrow N = \frac{VAsec}{m}$$

$B_L = \sqrt{\frac{3{,}7 \cdot 10^3\,VAsec \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} Vsec}{100 \cdot 10^{-4} m^2 m \quad Am}}$ $\qquad B_L = \sqrt{\frac{0{,}465\,V^2 sec^2}{m^4}} = 0{,}682\,\frac{Vsec}{m^2}$

2. Weg:





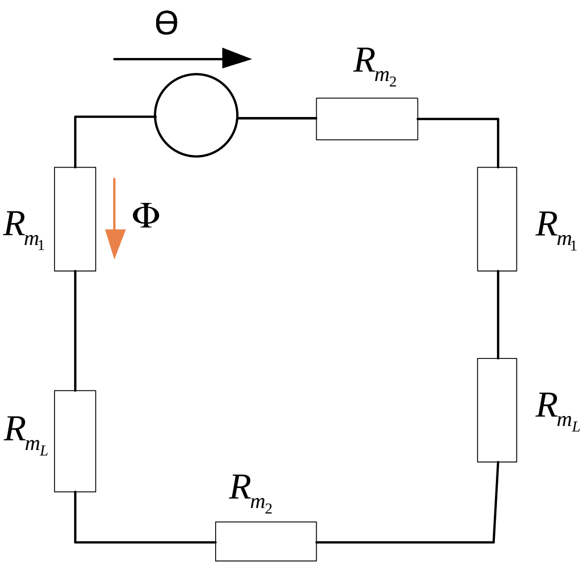
Aus (8.2/2) $F_A = \frac{A_L}{2\mu_0} B_L^2$

$$\cos(\alpha) = \frac{A_1}{A_L} \Longrightarrow A_L = \frac{A_1}{\cos(\alpha)}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\frac{1}{2}F}{F_A} \Longrightarrow F_A = \frac{F}{2\cos(\alpha)}$$

$\frac{F}{2\cos(\alpha)} = \frac{A_1}{\cos(\alpha)\cdot 2\cdot\mu_0} B_L^2 \Longrightarrow \quad \boldsymbol{B_L} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{F\cdot\mu_0}}{\boldsymbol{A_1}}}$ siehe 1. Weg

b)



$R_{m_1} = \frac{l_1}{\mu\cdot A_1} = \frac{l_1}{A_1}\frac{H_1}{B_1}$ $\qquad R_{m_2} = \frac{l_2}{\mu\, A_2} = \frac{l_2}{A_2}\frac{H_2}{B_2}$

$$R_{m_L} = \frac{l_L}{\mu_0 \cdot A_L} = \frac{l_L \cdot \cos(\alpha)}{\mu_0 \cdot A_1} = \frac{2{,}5 \cdot 10^3\, m \cdot \cos(30°)}{4\pi \cdot 10^{-7}\, \frac{Vsec}{Am} \cdot 100 \cdot 10^{-4}\, m^2}$$

$$R_{m_L} = 1{,}723 \cdot\ 10^5\ \frac{A}{Vsec}$$

$$I \cdot n = \theta = \Phi \cdot 2\left(R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_L}\right)$$

$$I = \frac{2\cdot\Phi}{n}\left(R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_L}\right)$$

Aus a) $B_L = 0{,}682\ \frac{Vsec}{m^2}$ $\qquad \Phi = \iint_A \vec{B}\cdot d\vec{A}$

$$\Phi = B_L \cdot A_L = B_L \cdot \frac{A_1}{\cos(\alpha)} = 0{,}682 \cdot \frac{Vsec \cdot 100 \cdot 10^{-4}\, m^2}{m^2 \cos(30°)} = 7{,}875 \cdot 10^{-3} Vsec$$

$$\Phi = konst = B_1 \cdot A_1 = B_2 \cdot A_2$$

$$\left.\begin{aligned}B_1&=\frac{\Phi}{A_1}=\frac{7{,}875\cdot 10^{-3}\,Vsec}{100\cdot 10^{-4}m^2}=0{,}7875\,\frac{Vsec}{m^2}\Rightarrow H_1=2{,}15\,\frac{A}{cm}\\ B_2&=\frac{\Phi}{A_2}=\frac{7{,}875\cdot 10^{-3}\,Vsec}{90\cdot 10^{-4}\,m^2}=0{,}875\,\frac{Vsec}{m^2}\Rightarrow H_2=2{,}6\,\frac{A}{cm}\end{aligned}\right\}$$ aus Bild 6.4/20

$$R_{m1}=\frac{l_1}{A_1}\frac{H_1}{B_1}=\frac{0{,}35\,m\cdot\ 2{,}15\,A\qquad m^2}{100\cdot 10^{-4}m^2 10^{-2}\,m\cdot\ 0{,}7875\,Vsec}=9{,}556\cdot 10^3\,\frac{A}{Vsec}$$

$$R_{m2}=\frac{l_2}{A_2}\frac{H_2}{B_2}=\frac{0{,}6\,m\cdot 2{,}6\,A\qquad m^2}{90\cdot 10^{-4}\,m^2 10^{-2}\,m\cdot\ 0{,}875\,Vsec}=19{,}81\cdot 10^3\,\frac{A}{Vsec}$$

$$I=\frac{2\cdot\Phi}{n}\left(R_{m1}+R_{m2}+R_{mL}\right)$$

$$=\frac{2\cdot 7{,}875\cdot 10^{-3}Vsec}{300}(9{,}556+19{,}81+172{,}3)\cdot 10^3\,\frac{A}{Vsec}$$

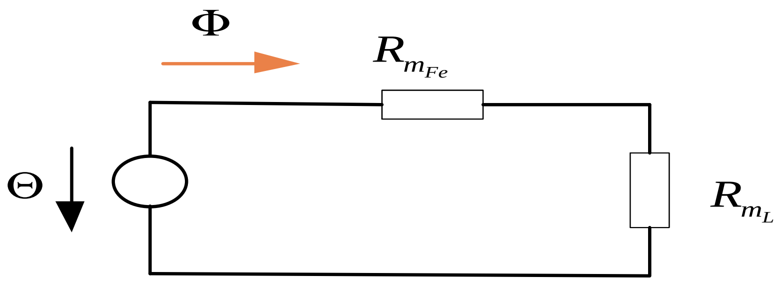
$$\mathbf{I=10{,}59\ A}$$

Üb. 8.2/2:

Aus (8.2/2) $F(d\vec{s})=\frac{A^*}{2\mu_0}B^2$ siehe Bild 8.2/7: A^* = Gesamtfläche $=2\,A=20cm^2$

$$\Phi=\text{Konst},\qquad \text{A}=\text{Konst},\quad\Longrightarrow \text{B}_{\text{Luft}}=\text{B}_{\text{Eisen}}=\frac{\Phi}{A}=B$$

a)



$$\theta=I\cdot n_{ges}=\Phi\cdot\left(R_{mFe}+R_{mL}\right)=\text{B}\cdot\text{A}\left(R_{mFe}+R_{mL}\right)$$

$$R_{mL}=\frac{2\cdot s}{\mu_0\cdot A}$$

$$R_{mFe}=\frac{l_m}{\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}=\frac{l_m}{A}\frac{H_{Fe}}{B}$$

$$\theta=B\cdot A\left[\frac{l_m}{A}\frac{H_{Fe}}{B}+\frac{2.s}{\mu_0.A}\right]=l_m\cdot H_{Fe}+\frac{2\cdot s\cdot B}{\mu_0}$$

Forderung: $\Delta=H_{Fe}+\underbrace{\frac{1}{l_m}\left(\frac{2\cdot s\cdot B}{\mu_0}-\theta\right)}_{\Delta'}=0$ $\qquad B=f(H_{Fe})$

$$l_m=0{,}5\,m;\quad \frac{2\cdot s}{\mu_0\cdot A}=\frac{5\cdot 10^{-3}m}{4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Vsec}{Am}}=3978{,}87\,\frac{Am^2}{Vsec}\,;$$

$\theta = 2\,A \cdot 1700 = 3400\,A$

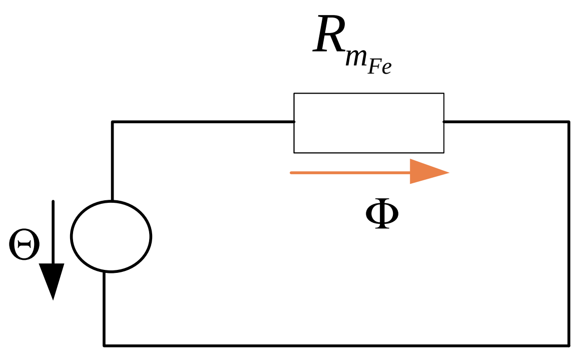
Magnetisierungskurve (Bild 1)

$H_{Fe}/\frac{A}{m}$	$B/\frac{Vsec}{m^2}$	$\Delta^{\prime}/\frac{A}{m}$	$\Delta = \frac{A}{m}$
100	0,41	-3537,33	-3437,33
200	0,815	-314,44	-114,44
220	0,85	-35,92	+184,08
210	0,835	-115,29	+54,71
205	0,82	-276,65	-69,65

$B \approx \frac{0{,}82+0{,}835}{2} = 0{,}8275\ \frac{Vsec}{m^2}$

$$F = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}\ m^2}{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\ \frac{Vsec}{Am}}\ 0{,}8275^2\ \frac{V^2 sec^2}{m^4} = 544{,}91\ \frac{VAsec}{m} = \mathbf{544{,}91\ N}$$

b)



$\theta = I \cdot n_{ges} = \Phi \cdot R_{mFe} = \mathrm{B} \cdot \mathrm{A} \cdot \frac{l_m}{A} \frac{H_{Fe}}{B}$

$H_{Fe} = \frac{I \cdot n_{ges}}{l_m} = \frac{2\,A \cdot 1700}{0{,}5\,m} = 6800\ \frac{A}{m} = 68\ \frac{A}{cm}$

Aus Magnetisierungskurve: $B(H_{Fe}) = 1{,}68\ \frac{Vsec}{m^2}$

$F = \frac{A \cdot B^2}{\mu_0} = \frac{10 \cdot 10^{-4}\ m^2 \quad \cdot 1{,}68^2\ V^2 sec^2}{4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{Vsec}{Am} \qquad m^4} = \mathbf{2246\ N}$