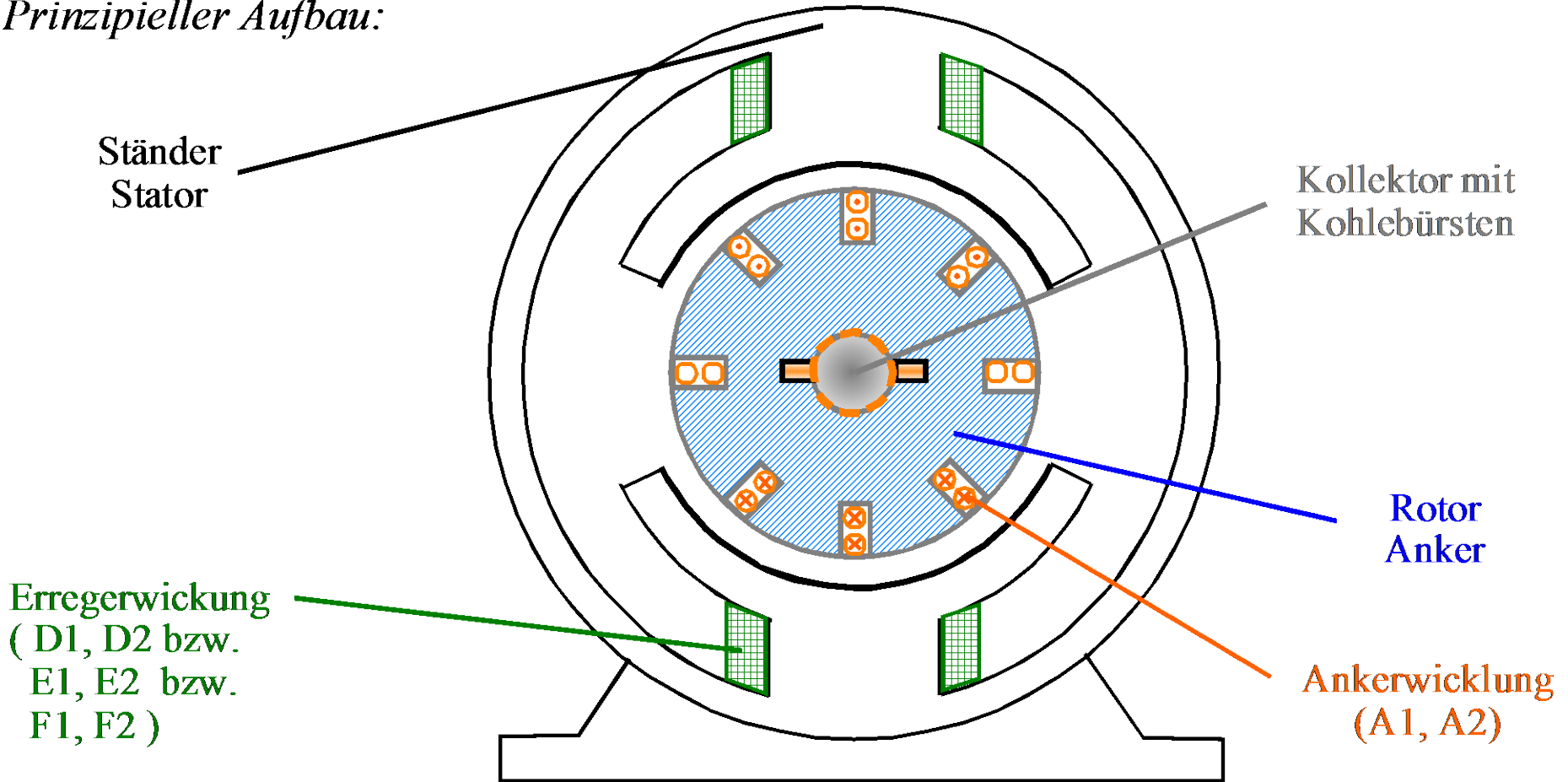


Gleichstrommotor



1. Aufbau des Gleichstrommotors

Prinzipieller Aufbau:



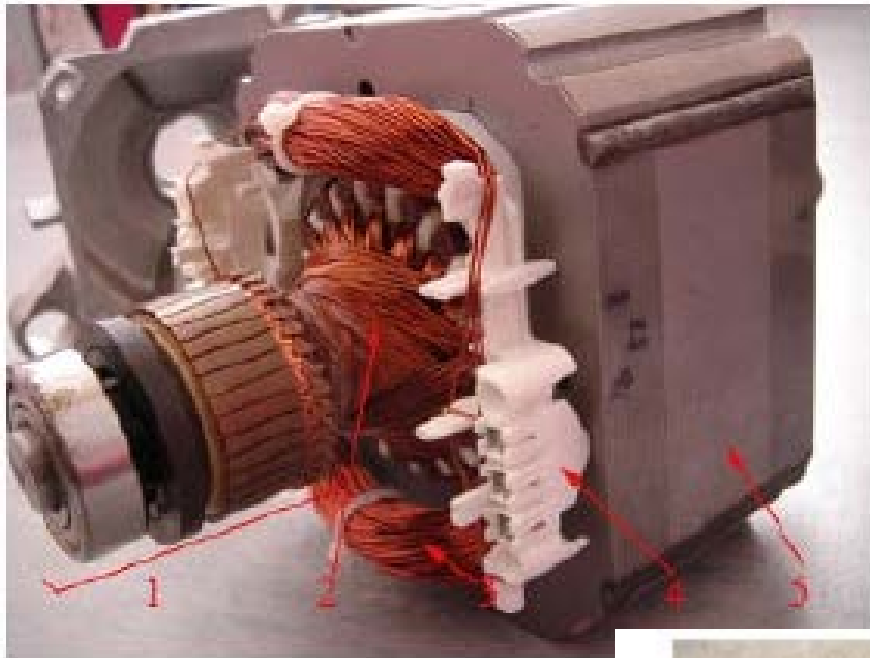
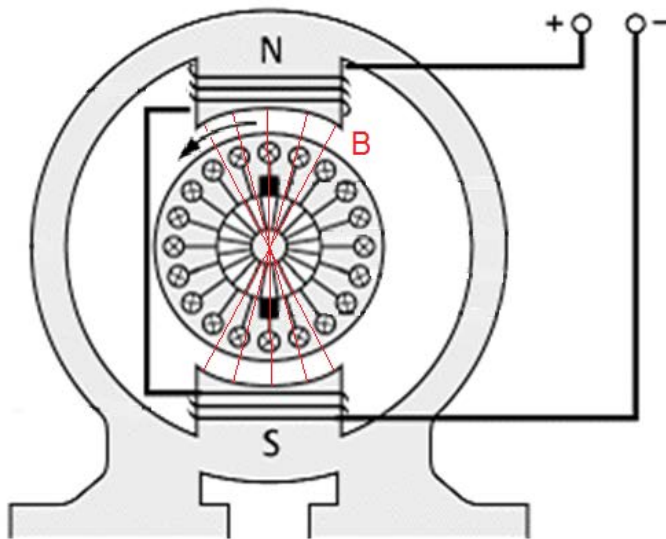


Abbildung1: Motor
 1 Anker
 2 Ankerwicklung
 3 Ständerwicklung
 4 Klemmkasten
 5 Ständer



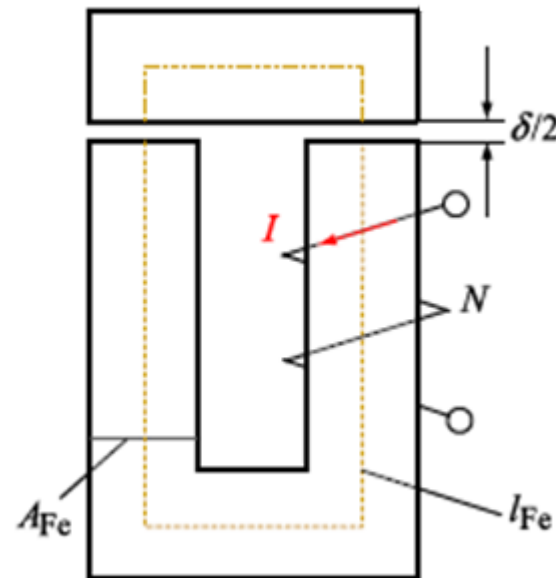
Abbildung 2: Anker
 1 - Kommutator, 2 - Isolierstern, 3 - Ankerkern, 4 - Wicklung,
 5 - Kugellager, 6 - Welle, 7 - Lamellen

2. Der magnetische Kreis im Motor

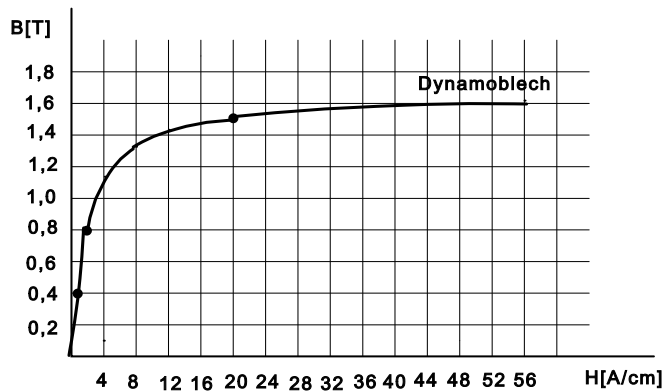


Feldlinien schließen sich über Ständerbleche

Vereinfachte Darstellung des Magnetkreises mit Statorwicklung:



Eisenkennlinie



Flussdichte B im Luftspalt liegt bei ca. 1T

Beispiel:

Gegeben ist ein Magnetkern aus Dynamoblech gemäß Abbildung.

Wie groß muss die Durchflutung Θ der Erregerwicklung gewählt werden, wenn eine magnetische Induktion $B_{\delta} = 1,1\text{T}$ im Luftspalt erreicht werden soll?

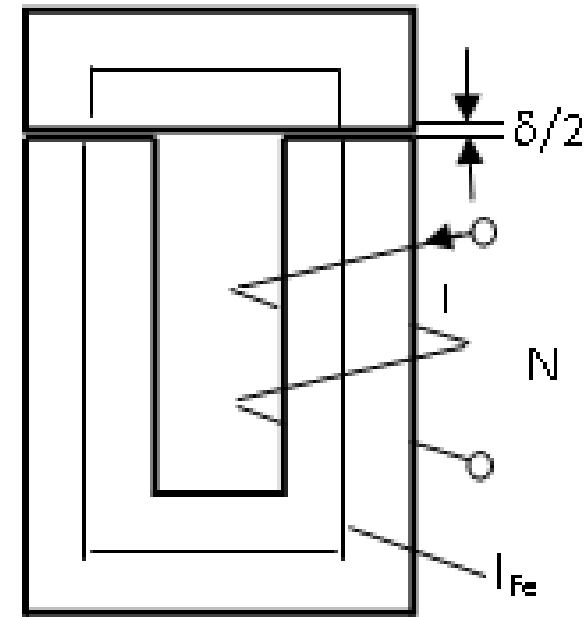
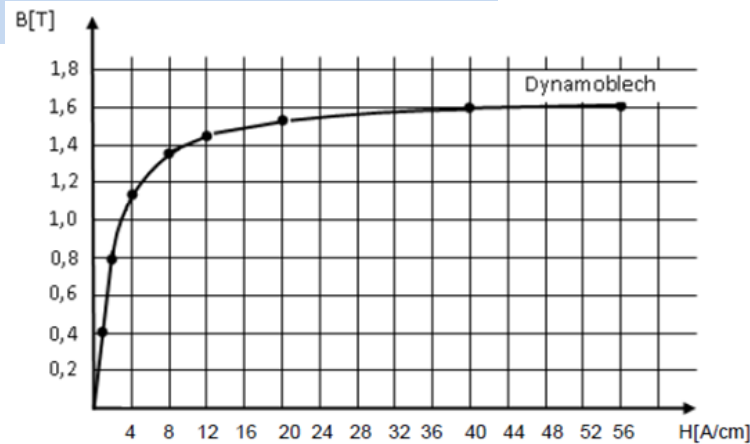
$$A_{\text{Fe}} = 600 \text{ mm}^2$$

$$l_{\text{Fe}} = 24 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 \text{ mm}$$

$$\sigma \text{ (Streifaktor)} = 0,1$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

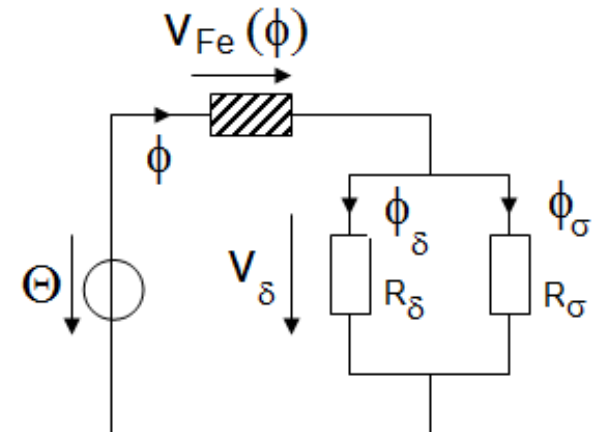


$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{v \text{ umfasst}} I_v$$

$$\vec{H} \parallel d\vec{l}$$

$$H_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}} + H_{\delta} \cdot \delta = w \cdot I = \Theta$$

$$V_{\text{Fe}} + V_{\delta} = w \cdot I = \Theta$$



$$H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{\delta} \cdot \delta = w \cdot I = \ominus \quad B = \mu \cdot H$$

$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = 875 \frac{A}{mm^2}$$

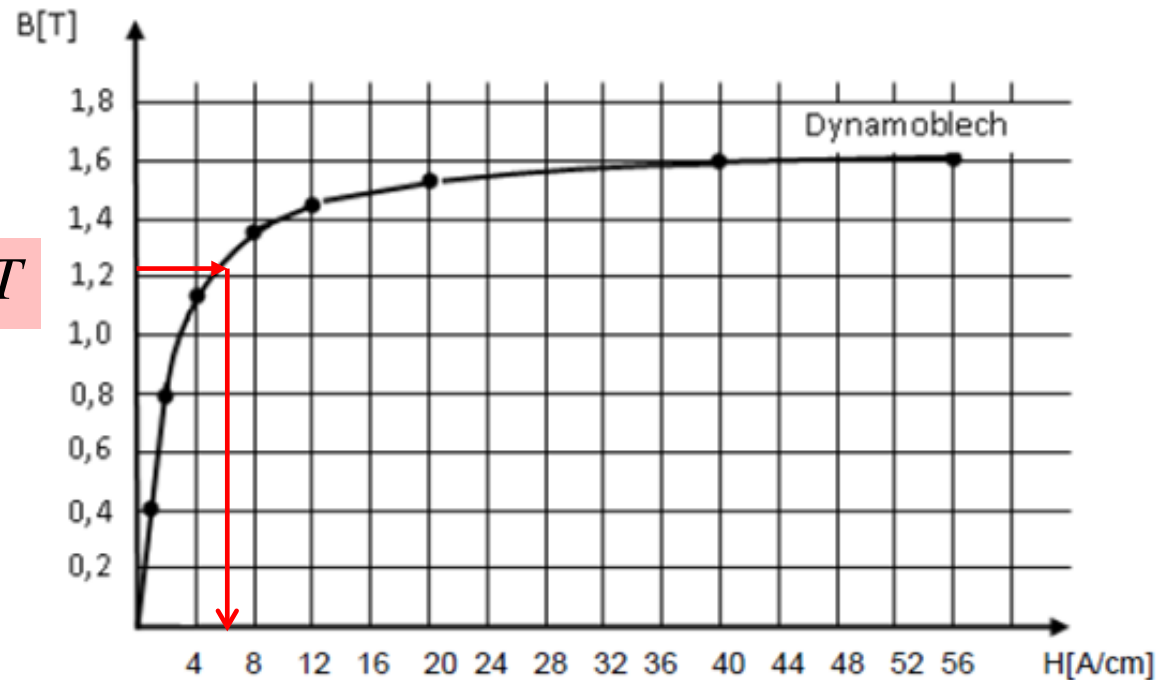
H_{Fe} aus der Kennlinie – dazu muss B_{Fe} bekannt sein:

$$\Phi_{Fe} \cdot (1 - \sigma) = \Phi_{\delta} \quad B_{Fe} \cdot A_{Fe} \cdot (1 - \sigma) = B_{\delta} \cdot A_{\delta}$$

$$B_{Fe} = \frac{B_{\delta} \cdot A_{\delta}}{(1 - \sigma) \cdot A_{Fe}} = 1,22T$$

$$B_{Fe} = \frac{B_{\delta} \cdot A_{\delta}}{(1 - \sigma) \cdot A_{Fe}} = 1,22T$$

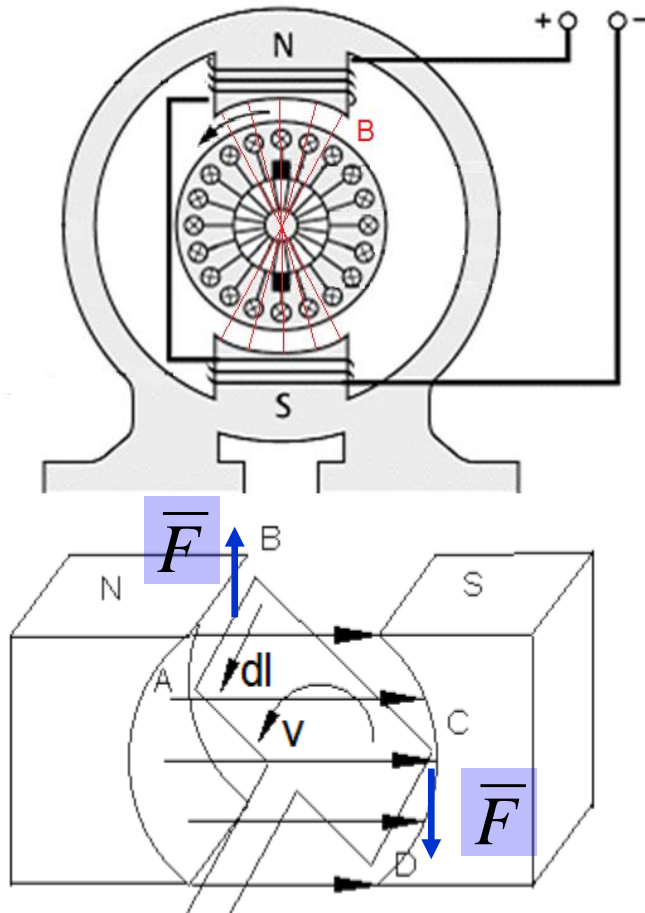
$$B_{Fe} = 1,22T$$



$$H_{Fe} = 6 \frac{A}{cm}$$

$$\Theta = w \cdot I = 6 \frac{A}{cm} \cdot 24cm + 875 \frac{A}{mm} \cdot 1mm = 1019A$$

3. Kraftwirkung auf den Anker



Strom durch Feldwicklung bzw. deren Windungszahl nun bekannt!

Nächster Schritt:
Kraftwirkung auf Ankerwicklung ermitteln

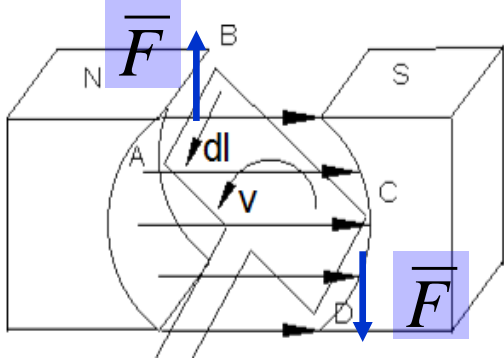
$$\vec{F} = I \oint d\vec{l} \times \vec{B}$$

In den Schleifenabschnitten BA und DC gilt:

$$d\vec{l} \perp \vec{B}$$

Die Schleifenabschnitte AD und CB sind außerhalb des Eisenpaketes des Ankers, also ist die Flussdichte B etwa 0!





$$F = I \cdot \left(\int_B^A dl_1 \cdot B + \int_A^D dl_2 \cdot B + \int_D^C dl_3 \cdot B + \int_C^B dl_4 \cdot B \right)$$

(Länge des Ankers sei l)

$$F = 2 \cdot I \cdot l \cdot B$$

Bei w Windungen der Ankerwicklung:

$$F = 2 \cdot w \cdot I \cdot l \cdot B$$

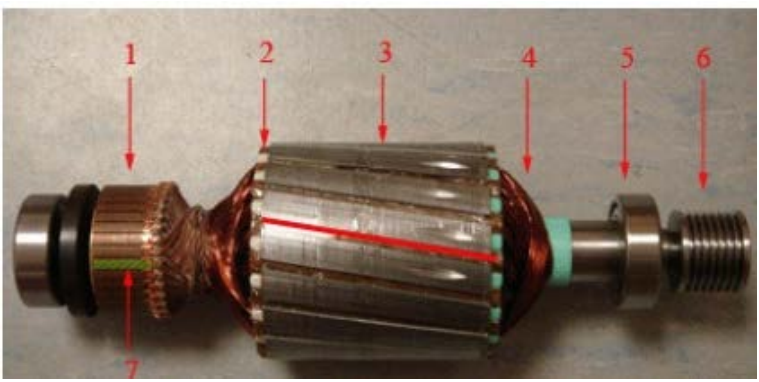
$$\bar{M} = \bar{r} \times \bar{F} \quad \bar{r} \perp \bar{F}$$

$$M = 2 \cdot w \cdot I \cdot l \cdot r \cdot B$$

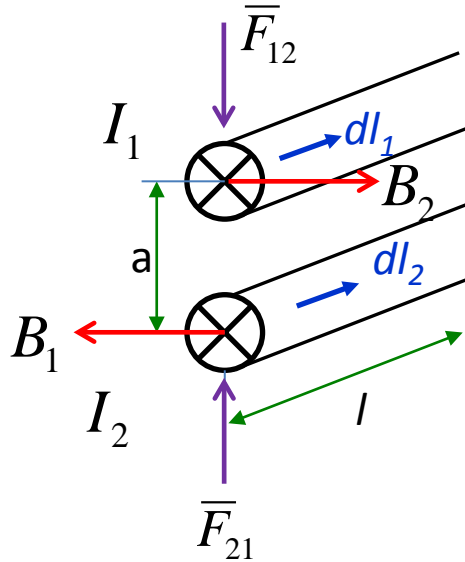
$$\Phi = 2 \cdot r \cdot l \cdot B$$

2. Maschinengleichung:

$$M = k_2 \cdot \Phi \cdot I_A$$



Kraftwirkung auf benachbarte Windungen:



$$\bar{F} = I \oint d\bar{l} \times \bar{B}$$

$$\bar{F}_{12} = I_1 \int d\bar{l}_1 \times \bar{B}_2 \quad d\bar{l}_1 \perp \bar{B}_2$$

$$F_{12} = I_1 \cdot l \cdot B_2 \quad B_2 = \mu_0 \cdot H_2$$

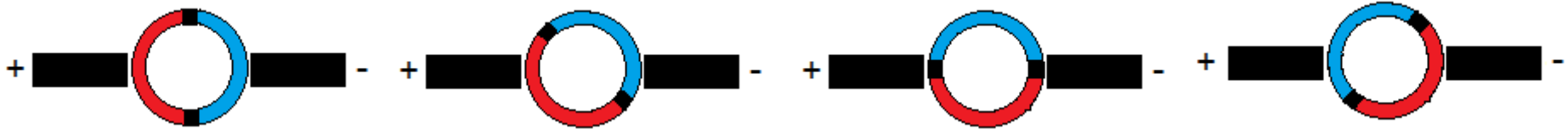
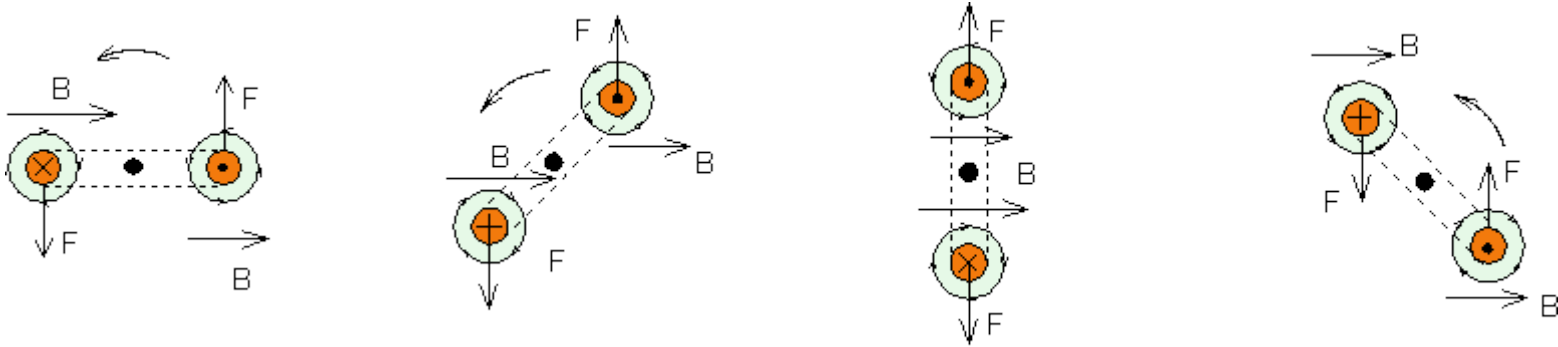
$$H_2 = \frac{\Theta_2}{l_{\text{Feldlinie}}} = \frac{I_2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

$$F_{12} = \frac{I_1 \cdot \mu_0 \cdot l \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

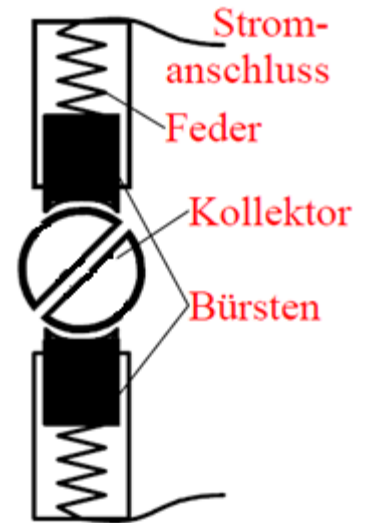
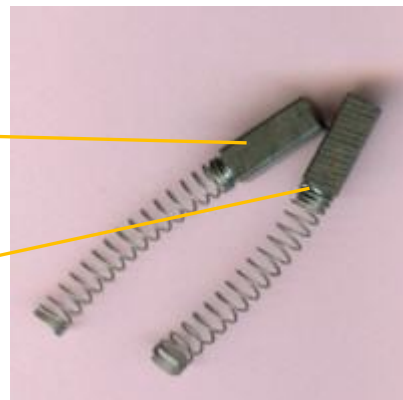
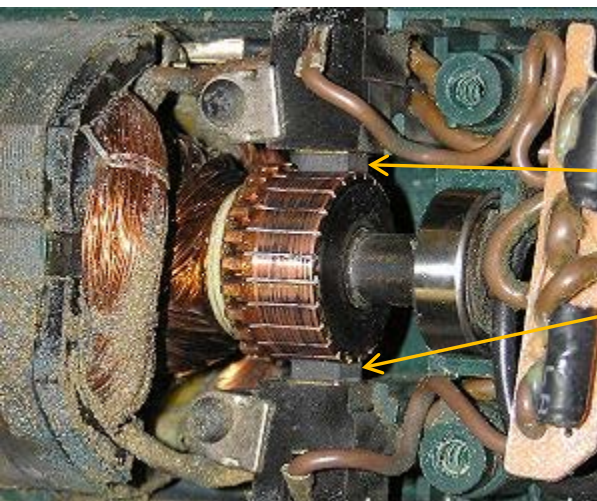
$$\bar{F}_{21} = I_2 \int d\bar{l}_2 \times \bar{B}_1$$

$$F_{12} = F_{21}$$

Problem: bei Motor nur halbe Umdrehung möglich!

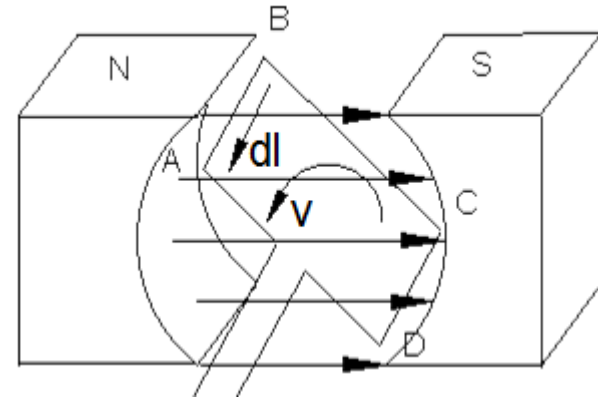
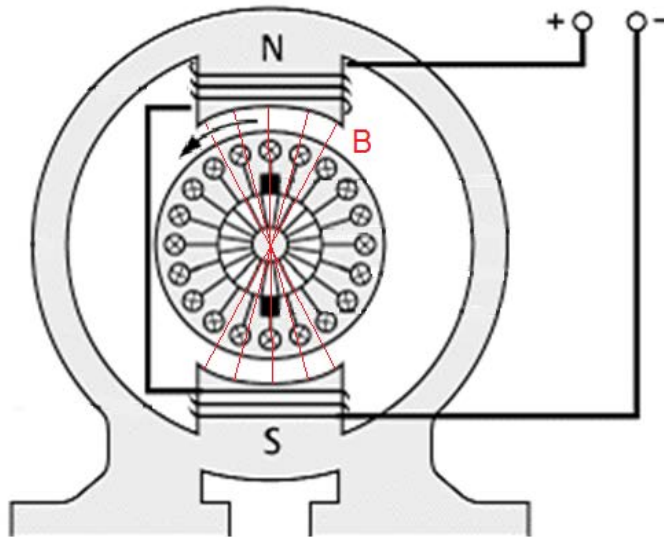


Abhilfe: Umpolen der Ankerwicklung
bei halber Umdrehung =>
Stromwender oder Kommutator



4. Berechnung der Ankerspannung

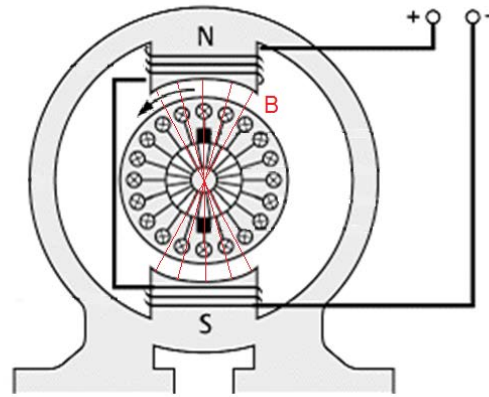
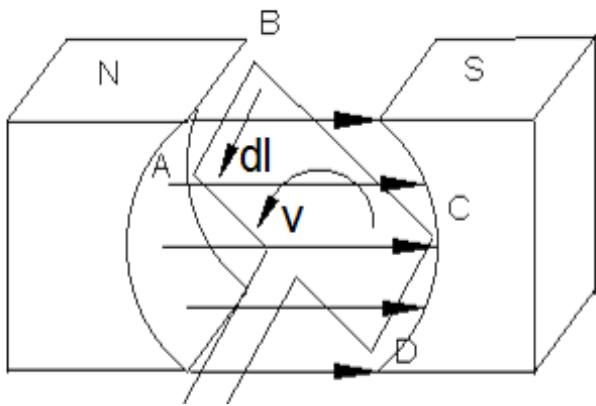
Anker dreht sich im Magnetfeld => Induktion einer Spannung!



$$u_i = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl}$$

Magnetfeld wird durch Eisen im Anker zum **radialen Feld**, es gilt also $\vec{v} \perp \vec{B}$

$$u_{uml} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl} = \int_B^A (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl}_{BA} + \int_A^D (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl}_{AD} + \int_D^C (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl}_{DC} + \int_C^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl}_{CB}$$



$$u_{uml} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_B^A (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}_{BA} + \int_A^D (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}_{AD} + \int_D^C (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}_{DC} + \int_C^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}_{CB}$$

$$= 0 \qquad \qquad \qquad = 0$$

$\vec{v} \times \vec{B}$ parallel zu $d\vec{l}_{BA}$ und $d\vec{l}_{DC}$; $\vec{v} \times \vec{B}$ senkrecht zu $d\vec{l}_{AD}$ und $d\vec{l}_{CB}$

$$u_{uml} = 2 \cdot \int_0^l v B dl = 2vBl \qquad v = \omega \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r$$

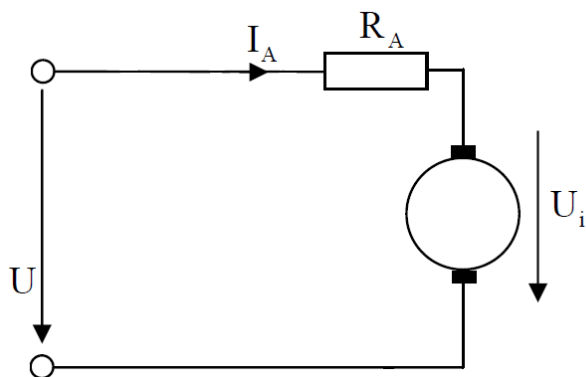
$$u_{uml} = 4 \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot B \cdot l$$

1. Maschinengleichung:

$$u_i = k_1 \cdot n \cdot \Phi$$

$$\Phi = 2 \cdot r \cdot l \cdot B$$

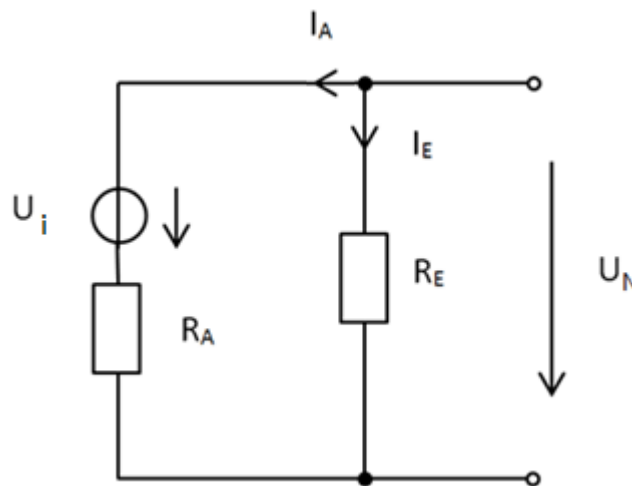
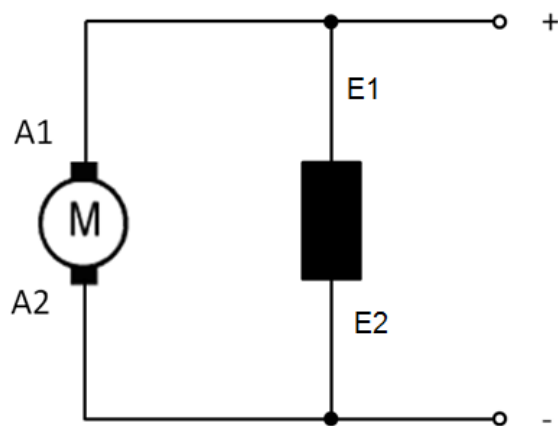
5. Gleichstromersatzschaltbild und Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors



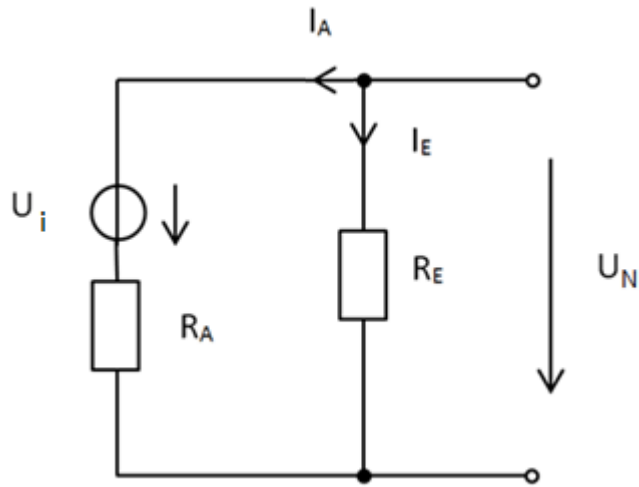
Maschengleichung:

$$U = I_A \cdot R_A + U_i$$

Meist als Nebenschlussmotor ausgeführt



Erregerstrom I_E ist konstant, da U_N direkt an Erregerwicklung (Feldwicklung) anliegt
=> Magnetfluss ϕ ist auch konstant!



(U_N : Nennspannung des Motors)

$$U_N = U_i + I_A \cdot R_A$$

1. Maschinengleichung:

$$U_i = K_1 \cdot n \cdot \Phi$$

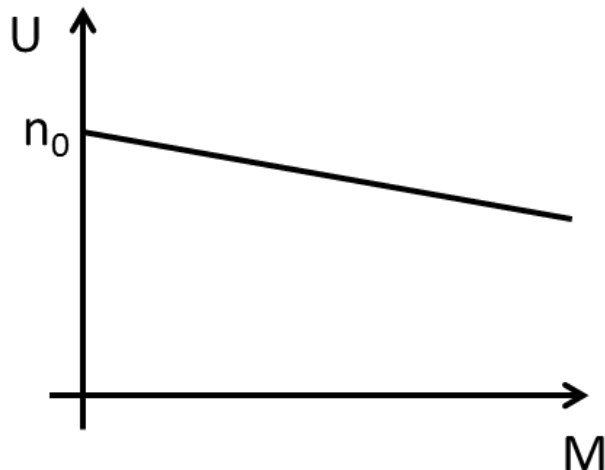
2. Maschinengleichung:

$$M = K_2 \cdot \Phi \cdot I_A$$

$$I_A = \frac{M}{K_2 \cdot \Phi}$$

$$U_N = K_1 \cdot n \cdot \Phi + \frac{M}{K_2 \cdot \Phi} \cdot R_A$$

n-M-Kennlinie Nebenschlussmotor:

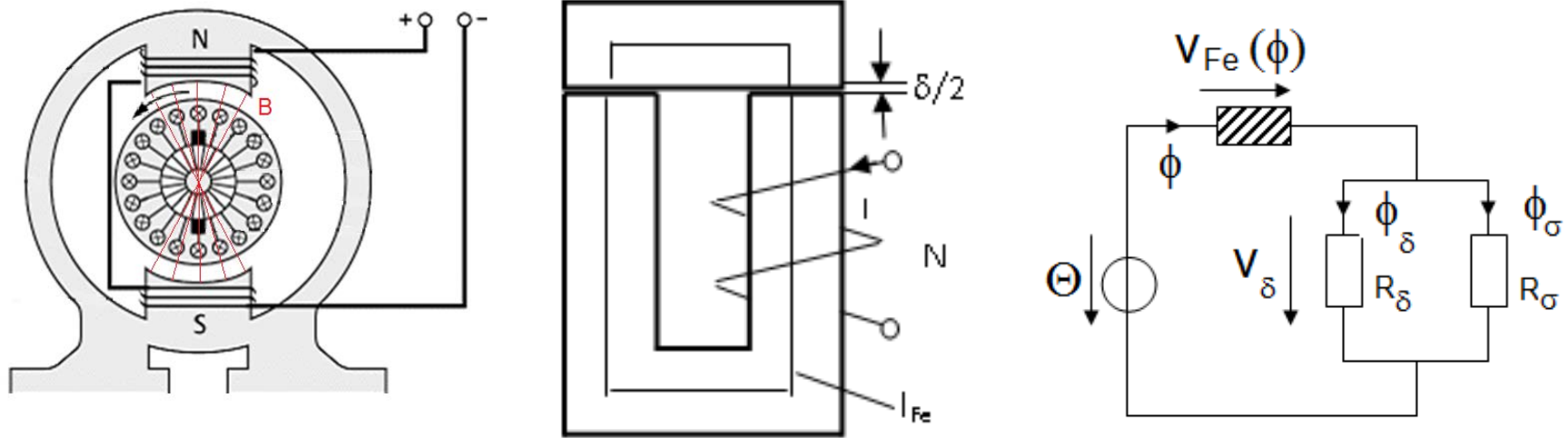


$$n = \frac{U_N}{K_1 \cdot \Phi} - \frac{R_A \cdot M}{K_1 \cdot K_2 \cdot \Phi^2} = n_0 - K \cdot M$$

(n_0 : Leerlaufdrehzahl des Motors)

6. Einschalten des Gleichstrommotors

Motor besteht aus 2 Spulen, Berechnung der Induktivität der Feldspule:



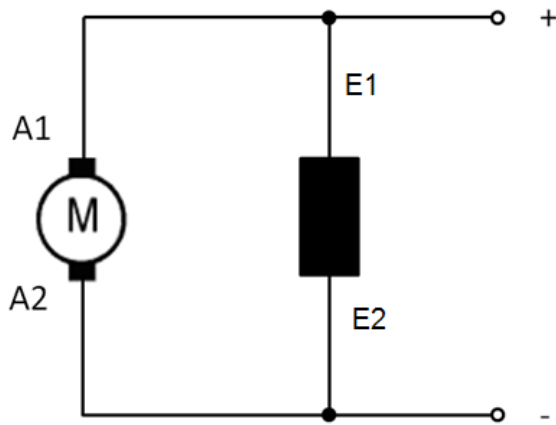
Vereinfachung: da $B=1T$, liegt an Grenze des linearen Bereiches, also kann R_{Fe} stückweise linear betrachtet werden!

$$L_{Feld} = \frac{\Psi}{I} = \frac{w \cdot \Phi}{I}$$

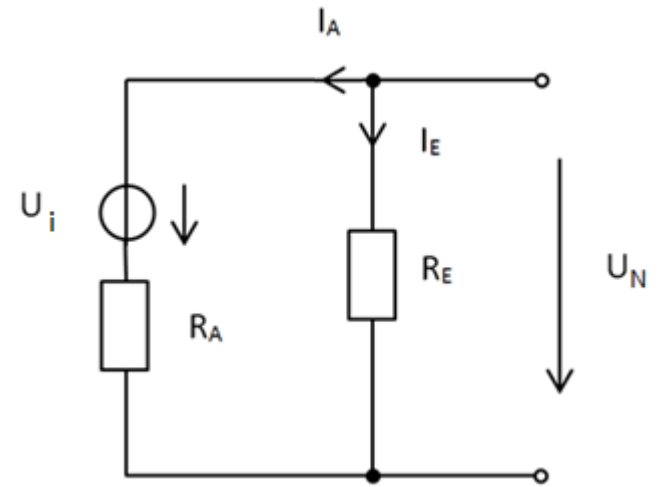
$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m} = \frac{w \cdot I}{R_m}$$

$$R_m = R_{Fe} + R_\delta \cdot (1 - \sigma)$$

$$L_{Feld} = \frac{w^2}{R_m} = \frac{w^2}{R_{Fe} + R_\delta \cdot (1 - \sigma)}$$



nach $t = 5\tau$
wirkt nur noch
Kupferwiderstand der
Feld – und Ankerspule



Widerstand der Ankerwicklung liegt im unteren Ω -Bereich,

die induzierte Ankerspannung U_0 wirkt erst bei höheren Drehzahlen, also hoher Einschaltstrom, der begrenzt werden muss (Anlasser)

$$U_N = U_i + I_A \cdot R_A$$

6. Wechselwirkungen der Magnetfelder - Gegeninduktivität

Anker- und Erregermagnetfeld beeinflussen sich

Grundprinzip: 2 räumlich nahe Spulen => Gegeninduktivität,
wirkt über Eisenkreis und über Luftkopplung

Verdeutlichung der Luftkopplung an folgendem Beispiel:

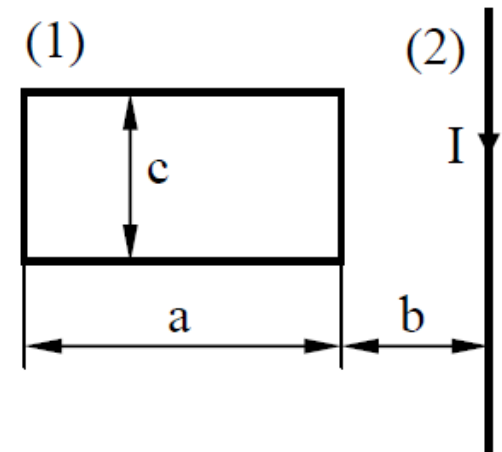
- 2) Eine einfache, rechteckförmige Leiterschleife befindet sich im Feld eines sehr langen, linienhaften Leiters.
- a) Leiten Sie die allgemeine Gleichung zur Berechnung der gegenseitigen Induktivität L_{12} für diese Anordnung aus der Definitionsgleichung der Gegeninduktivität ab.
- b) Ermitteln Sie den Wert für L_{12} mit den gegebenen Werten.

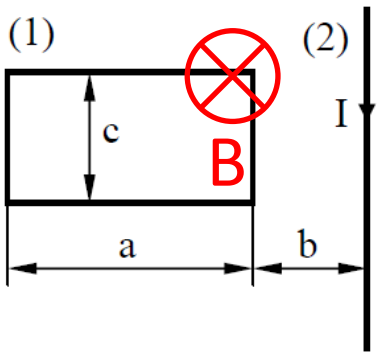
$$a = 30 \text{ cm}$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$c = 20 \text{ cm}$$

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m}$$





$$L_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I} = \frac{w \cdot \Phi_{12}}{I}$$

$$\Phi = \iint \bar{B} \cdot d\bar{A} \quad \bar{B} \parallel d\bar{A}$$

$$\Phi_{12} = \iint B_{12} \cdot dA$$

B konstant in Richtung c!

$$\Phi_{12} = c \cdot \int_b^{b+a} B_{12} \cdot dr \quad B = \mu_0 \cdot H \quad H = \frac{\ominus}{l} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$\Phi_{12} = c \cdot \int_b^{b+a} \mu_0 \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot dr$$

$$\Phi_{12} = c \cdot \mu_0 \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{b+a}{b}\right)$$

$$L_{12} = \frac{c \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{b+a}{b}\right)$$