

Lösung Aufgabe 9 auf <https://www.mikrocontroller.net/topic/184345>

a) **Ansatz:** Bestimmung der Kraft über die in den Luftspalten gespeicherte Energie:

$$dW = F ds$$

Magnetische Energie (abgeleitet aus Maxwell'schen Gleichungen) in beiden Luftspaltvolumina zusammen (Fläche im Luftspalt ist A_2 , siehe hierzu u.a. Gleichung 2.1 mit Kommentar) :

$$\begin{aligned} W_{\text{magn}} &= \frac{1}{2} \oint_V B \cdot H dV \\ &= \frac{1}{2\mu_0} B_L^2 \cdot 2 A_2 l_L \end{aligned}$$

Daraus folgt (Annahme: Energie über Weg linear) :

$$F = \frac{dW}{ds} = \frac{1}{\mu_0} B_L^2 A_2 \quad (1)$$

b) **Durchflutungsgesetz:**

$$\oint H ds = N \cdot I$$

Im Kreis überall $\vec{H} \parallel \vec{s}$ daher $\sum_i H_i s_i = N I$

$$\begin{aligned} (H_1 + H_2) \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} + 2 H_L \cdot l_L &= N \cdot I \\ \Leftrightarrow \\ \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \cdot (B_1 + B_2) \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} + \frac{B_L}{\mu_0} \cdot 2 l_L &= N \cdot I \quad (2) \end{aligned}$$

Magnetischer Fluss wird durch Ferrite geführt, daher im Kreis überall konstant:

$$\phi = \iint_A B dA = \text{const.}$$

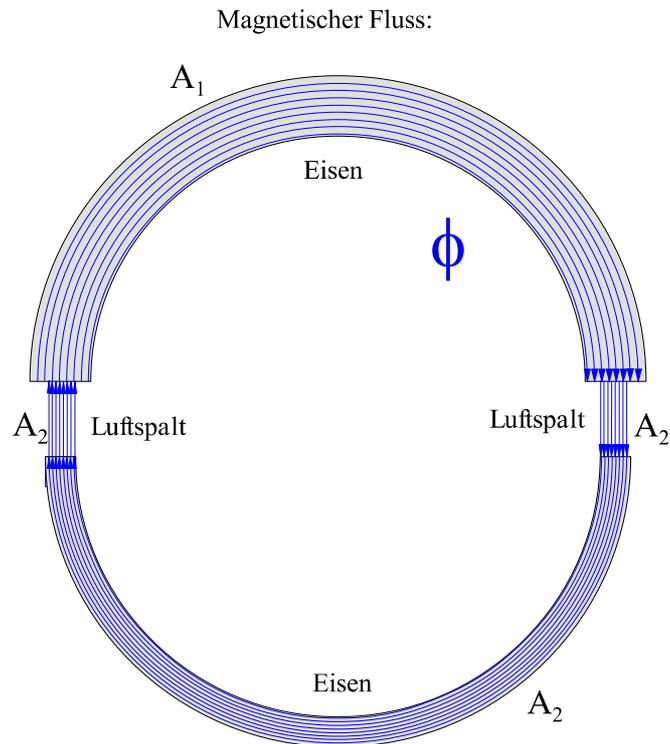
Aus Bild:

$$\vec{B} \parallel \vec{A} \text{ an jeder Stelle, daher } \phi = B \cdot A$$

$$B_1 \cdot A_1 = B_2 \cdot A_2 \Leftrightarrow B_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot B_2$$

Desweiteren ist wegen $\phi = \text{const.}$ auch $B_L = B_2$ (2.1)

Gleichung (2.1) ist eigentlich der entscheidende Ansatz: Man nimmt an, dass durch die Führung des magnetischen Flusses durch das Eisen die Feldlinien auch im Luftspalt auf die kleinere Fläche A_2 konzentriert sind:



Ersetzen von B_1 durch B_2 in (1) ergibt:

$$\frac{\pi}{\mu_0 \mu_r} \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{A_2}{A_1} B_2 + B_2 \right) + \frac{2}{\mu_0} B_2 \cdot l_L = N \cdot I$$

\Leftrightarrow

$$B_2 \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{\pi D}{\mu_r 2} \frac{A_1 + A_2}{A_1} + 2l_L \right) = N \cdot I$$

\Leftrightarrow

$$B_2 = B_L = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\left(\frac{\pi D}{\mu_r 2} \frac{A_1 + A_2}{A_1} + 2l_L \right)} \quad (3)$$

(3) in (1) einsetzen ergibt die Lösung:

$$F = \mu_0 \frac{A_2 \cdot N^2 \cdot I^2}{\left(\frac{\pi D}{\mu_r 2} \frac{A_1 + A_2}{A_1} + 2l_L \right)^2}$$

Einsetzen der Werte ergibt: $F = 190.53699 \text{ N}$