

ET2 Labor 1 1. Aufgabe (A18.17) teilweise gelöst

Potenzielle Fragen von Tutoren:

- warum gibt es hier nur einen $1/4$ Magnet: Wegen Symmetrie
- wo treten die Inhomogenitäten auf: In den Ecken
- irgendwas wie sich diese Arbeitspunkt-Gerade verschiebt, das findet man raus aus der Formel im Buch

Die numerischen Ergebnisse sollten etwas variiert werden ;)
(ändert sich ja, je nachdem wie genau man beim Integrieren klickt)

A18.17 Dauermagnetsystem:

Abb. A18.17a zeigt ein Magnetsystem, das durch zwei starr magnetisierte Dauermagnetplatten der Remanenzflussdichte $B_r = 0,38\text{T}$ erregt wird. Wie groß ist die Flussdichte in den beiden Luftspalten mit der Länge δ ? Vernachlässigen Sie Streuungen und magnetische Spannungen in den Rückschlussteilen.

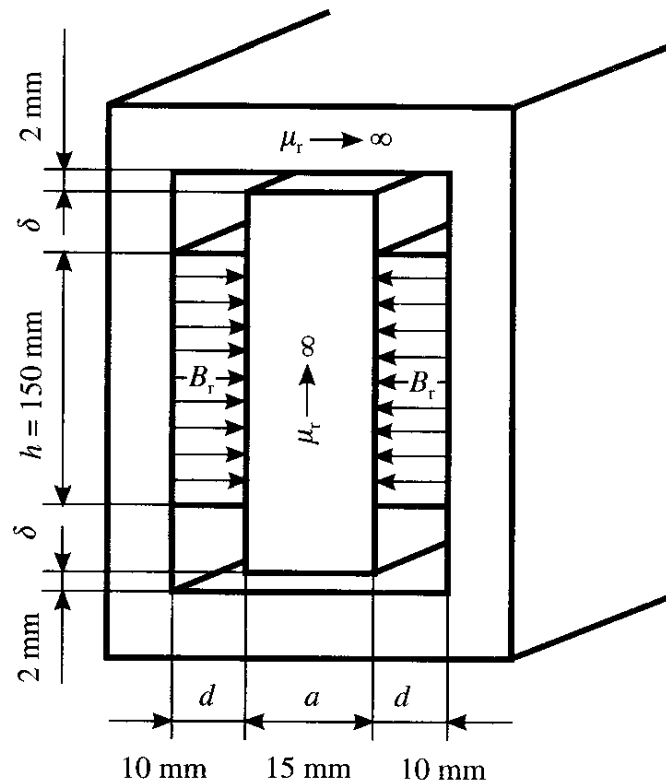


Abb. A18.17a

Programm für die Laborübung:

Lösen Sie zuerst die Aufgabe A18.17 und bearbeiten Sie dann die über die ursprüngliche Fragestellung hinausgehenden Punkte:

- Bestimmen Sie - zusätzlich zur Luftspaltflussdichte B_L - unter den getroffenen Annahmen (starr magnetisierte Dauermagnete, ideal magnetisierbare Eisenteile, vernachlässigbare Streuflüsse) und unter Zuhilfenahme von Durchflutungssatz, Flusserhaltung, Kennliniengleichung des starren Dauermagneten und der Verknüpfungsbeziehung im leeren Raum
 - die Luftspaltfeldstärke H_L ,
 - die Flussdichte B_M in den Magneten,
 - die Feldstärke H_M in den Magneten.

Luftspaltflussdichte	B_L	1,27 T
Luftspaltfeldstärke	H_L	$1,01 \cdot 10^6$ A/m
Flussdichte im Magneten	B_M	0,127 T
Feldstärke im Magneten	H_M	$-201,6 \cdot 10^3$ A/m

Tab.1 Ergebnisse der Überschlagsrechnung

- Tragen Sie die Ergebnisse in Tab. 1 und im $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein:
 - für die Magnete: Kennlinie, Arbeitspunkt, Arbeitsgerade
 - für den Luftspalt: Arbeitspunkt, Arbeitsgerade
- Angenommen, Sie müssen z. B. aus Kostengründen das Volumen des Magnetmaterials um die Hälfte reduzieren. Dies gelingt z.B. durch eine der beiden folgenden Varianten:

Variante 1: Verringern Sie die Magnetplattendicke d um die Hälfte auf den Wert $d/2 = 5$ mm und füllen Sie den entstandenen Luftspalt mit ideal magnetisierbarem Material ($\mu_r \rightarrow \infty$).

Variante 2: Verringern Sie die Magnetbreite h vertikalsymmetrisch um die Hälfte auf den Wert $h/2 = 75$ mm. Das frei werdende Volumen wird mit Luft ($\mu_r = 1$) gefüllt.

- Überlegen und argumentieren Sie, ob und wie die Arbeitspunkte der Magnete und der Luftspalte auf die beiden skizzierten Änderungen reagieren werden (Tab. 2 und 3: **Zutreffendes ankreuzen!**).

Var. 1	wird größer	wird kleiner	bleibt gleich
B_L		X 0,76 T	
H_L		X $0,604 \cdot 10^6$	
B_M		X 0,076 T	
H_M	X $-241,2 \cdot 10^3$		

Tab.2 Vermutliche Änderungen für Variante 1: „Halbe Dicke“

Bitte überprüfen, kann sein dass 1 Kreuz falsch ist, glaube das bei B_M von Var.2 oder das bei H_M

Var. 2	wird größer	wird kleiner	bleibt gleich
B_L		X	
H_L		X	
B_M	X		
H_M		X	

Tab.3 Vermutliche Änderungen für Variante 2: „Halbe Breite“

5. Wiederholen Sie die Überschlagsrechnung für die Arbeitspunkte der Magnete und Luftspalte für die beiden Modifizierungen und tragen Sie die Ergebnisse für B_L , H_L , B_M und H_M für beide Varianten in die Tab. 4 und ins $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein.

		Var. 1	Var. 2
Luftspaltflussdichte	B_L	0,76 T	0,95 T
Luftspaltfeldstärke	H_L	$0,60 \cdot 10^6$ A/m	$0,75 \cdot 10^6$ A/m
Flussdichte im Magneten	B_M	0,076 T	0,19 T
Feldstärke im Magneten	H_M	$-241,2 \cdot 10^3$ A/m	$-150 \cdot 10^3$ A/m

Tab.4 Ergebnisse der Überschlagsrechnung für die Varianten 1 („Halbe Dicke“) und 2 („Halbe Breite“)

6. Führen Sie nun die numerische Feldberechnung **für alle 3 Fälle** (volles Magnetvolumen, sowie beide Reduktionsmöglichkeiten) durch und achten Sie bei der Darstellung der Ergebnisse insbesondere auf ein skaliertes Flussröhrenbild (Bestimmen Sie in der von Ihnen gewählten Art der Darstellung die zwischen zwei Feldlinien (=Flussröhrenwänden) transportierte Menge des längenbezogenen magnetischen Flusses $\Delta \Phi'$).
7. Werten Sie die Ergebnisse der numerischen Feldberechnung aus:
- (a) Bestimmen Sie die pauschalen längenbezogenen Flussmengen in Magnet (Φ_M') und Luftspalt (Φ_L') und die Streuflusskomponente (Φ_σ') durch **Abzählen der Flussröhren** (Eintrag in Tab. 5).

		Original-konfiguration	Variante 1 Halbe Dicke	Variante 2 Halbe Breite
$\Delta \Phi'$	Flussmenge pro Röhre	0,8 mWb		
Φ_M'	längenbez. Magnetfluss	15 mWb		
Φ_L'	längenbez. Luftspaltfluss	7 mWb		
Φ_σ'	längenbez. Streufluss	8 mWb		

Tab.5 Auswertung der numerischen Feldberechnung: Ergebnisse der Methode „Abzählen der Flussröhren“ für die Originalkonfiguration sowie die Variante 1 („Halbe Dicke“) und 2 („Halbe Breite“).

- (b) Ermitteln Sie den längenbezogenen Fluss in Magnet (Φ_M') und Luftspalt (Φ_L') sowie den längenbezogenen Streufluss **durch numerische Integration** der lokalen Flussdichteverteilungen und tragen Sie die Werte in die Tabellen 6 – 8 ein .
 - (c) Bestimmen Sie die **räumliche Verteilung** der magnetischen Flussdichte und daraus ableitbare **Durchschnittswerte** im Magneten und im Luftspalt. Die dazugehörigen Feldstärkewerte erhalten Sie graphisch durch Schnitt mit der Magnetkennlinie.
 - (d) Schätzen Sie schließlich den längenbezogenen Fluss in Magnet (Φ_M') und Luftspalt (Φ_L') durch eine **Multiplikation der mittleren Flussdichte mit der jeweiligen Seitenlänge** (Produktnäherung) ab und tragen auch diese Werte in die Tabellen 6 – 8 ein.
8. Tragen Sie die Ergebnisse der numerischen Feldberechnung für die Arbeitspunkte für Magnet und Luftspalt für alle 3 Fälle (Original und beide Reduziervarianten) in das $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein!
9. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Überschlagsrechnung mit denjenigen aus der numerischen Feldberechnung. Quantifizieren (Prozentangaben!) und interpretieren Sie die Abweichungen.

		Num. Integration (Punkt 7 (b))	Produktnäherung (Punkt 7 (d))
	Einheiten		
Φ_M'	Links		
	Mitte		
	Rechts		
Φ_L'	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_σ'	Eisenkern		
	Gesamt		

Tab.6 Ergebnisse für „Originalgröße“

Die numerischen Ergebnisse dürfen und sollen entspr. variieren.
Produktnäherung sollte jeder den selben Wert haben.

		Num. Integration (7b)	Produktnäherung (7d)
	Einheiten	mWb / m	mWb / m
Φ_M'	Links	12,48	5,7
	Mitte	12,49	5,7
	Rechts	12,44	5,7
Φ_L'	Oben	3,9	5,7
	Mitte	4,02	5,7
	Unten	4,02	5,7
Φ_σ'	Eisenkern	8,36	5,7
	Gesamt	12,48	5,7

Tab.7 Ergebnisse für „Halbe Dicke“

		Num. Integration (7b)	Produktnäherung (7d)
	Einheiten	mWb / m	mWb / m
Φ_M'	Links	11,35	7,1
	Mitte	11,32	7,1
	Rechts	11,32	7,1
Φ_L'	Oben	3,54	7,1
	Mitte	3,52	7,1
	Unten	3,66	7,1
Φ_σ'	Eisenkern	7,6	7,1
	Gesamt	11,32	7,1

Tab.8 Ergebnisse für „Halbe Breite“

10. Stellen Sie für die verschiedenen Methoden (Abzählen der Flussröhren, numerische Integration, Produkt aus mittlerer Flussdichte und Querschnittfläche) Bilanzen der Form

$$\Phi_{\text{Magnet}} = \Phi_{\text{Luftspalt}} + \Phi_{\text{Streufuss}}$$

auf und vergleichen Sie die Ergebnisse.

Originalgrösse:

$$\Phi_{m'i} = 14,98 \text{ mWb/m} \quad (i = \text{num. Integration})$$

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'i} + \Phi_{s'i} = 6,6 \text{ mWb/m} + 8 \text{ mWb/m} = 14,6 \text{ mWb/m}$$

Produktnäherung:

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'} + \Phi_{s'} \quad (\text{mit } \Phi_{s'} = 0!)$$

$$9,525 \text{ mWb/m} = 9,525 \text{ mWb/m}$$

Halbe Dicke

$$\Phi_{m'i} = 12,45 \text{ mWb/m}$$

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'i} + \Phi_{s'i} = 4,02 \text{ mWb/m} + 8,36 \text{ mWb/m} = 12,38 \text{ mWb/m}$$

Produktnäherung:

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'} + \Phi_{s'} \quad (\text{mit } \Phi_{s'} = 0!)$$

$$5,7 \text{ mWb/m} = 5,7 \text{ mWb/m}$$

Halbe Breite:

$$\Phi_{m'i} = 11,32$$

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'i} + \Phi_{s'i} = 3,52 \text{ mWb/m} + 7,6 \text{ mWb/m} = 11,12 \text{ mWb/m}$$

Produktnäherung:

$$\Phi_{m'} = \Phi_{l'} + \Phi_{s'} \quad (\text{mit } \Phi_{s'} = 0!)$$

$$7,1 \text{ mWb/m} = 7,1 \text{ mWb/m}$$

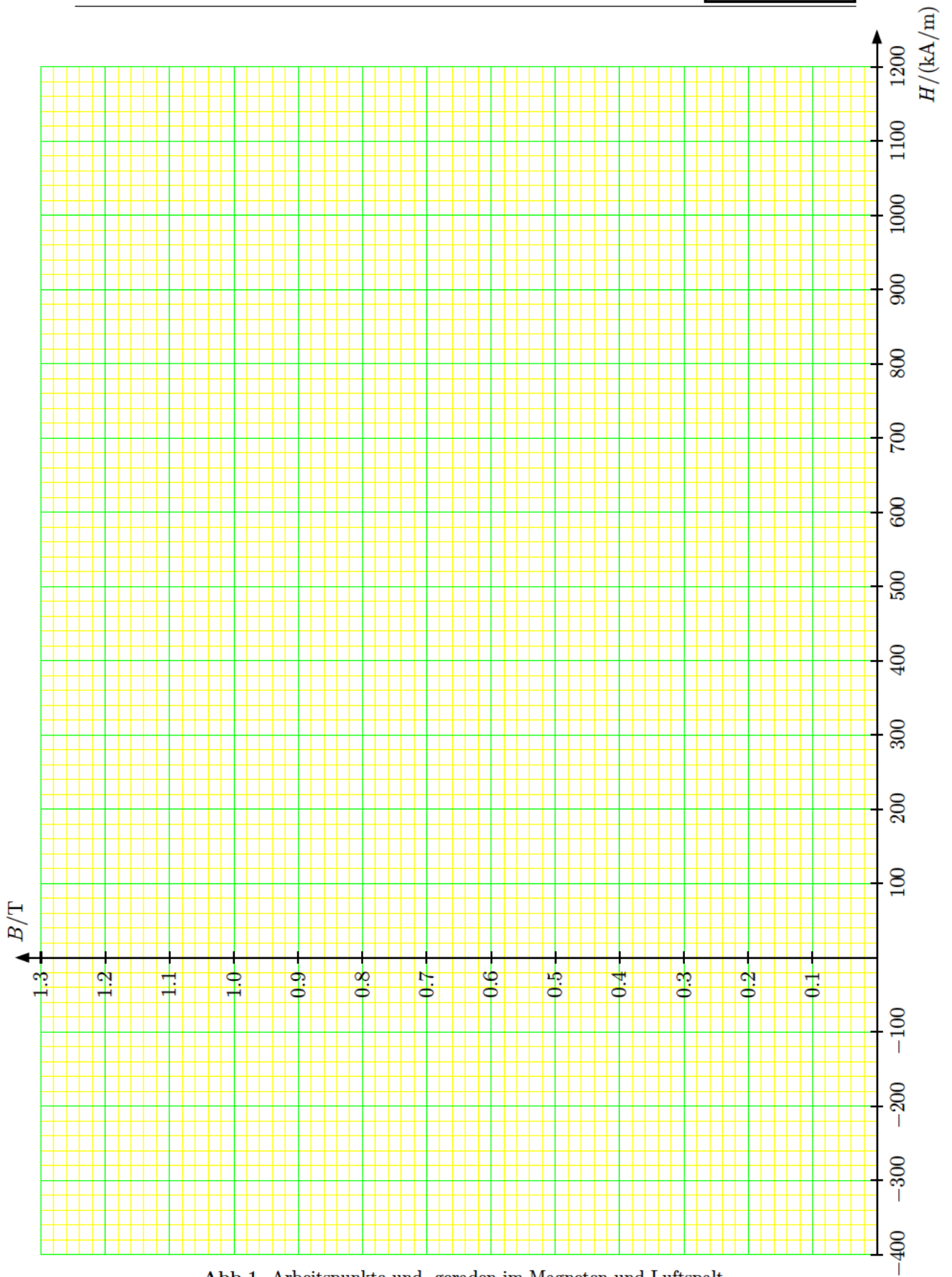


Abb.1 Arbeitspunkte und -geraden im Magneten und Luftspalt.

Dimensionierung eines einfachen Magnetkreises:

- Durchflutungssatz:

$$H_M l_M + H_L l_L = \Theta$$

($\Theta = NI$... Durchflutung einer Spule mit Windungszahl N und Stromstärke I im gemischt erregten Kreis.)

- Satz vom magnetischen Hüllenfluss:

$$B_M A_M - B_L A_L = 0$$

- Verknüpfungsbeziehung für Permanentmagneten:

$$B_M = B_r + \mu_0 H_M = \mu_0 (H_M + H_c)$$

(B_r ... Remanenzflussdichte, $H_c = B_r/\mu_0$... Koerzitivfeldstärke)

- Verknüpfungsbeziehung für leeren Raum (Luft):

$$B_L = \mu_0 H_L$$

Auflösen dieser 4 Gleichungen nach den 4 Unbekannten B_L , H_L , B_M und H_M ergibt für die

- Flussdichte in Luft:

$$B_L = \frac{B_r + \mu_0 \frac{NI}{l_M}}{\frac{A_L}{A_M} + \frac{l_L}{l_M}}$$

- Feldstärke in Luft:

$$H_L = \frac{1}{\mu_0} B_L = \frac{\frac{B_r}{\mu_0} + \frac{NI}{l_M}}{\frac{A_L}{A_M} + \frac{l_L}{l_M}}$$

- Flussdichte im Magneten:

$$B_M = \frac{A_L}{A_M} B_L = \frac{B_r + \mu_0 \frac{NI}{l_M}}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}}$$

- Feldstärke im Magneten:

$$H_M = \frac{\Theta}{l_M} - \frac{l_L}{l_M} \frac{B_L}{\mu_0} = \frac{NI}{l_M} \frac{1}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}} - \frac{B_r}{\mu_0} \frac{1}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}}$$