

Probe zur Lösung der Berechnungsbeispiele BB_11.x:

Allgemeine Hinweise:

Die Lösungen der Berechnungsbeispiele 11.x wurden mit einem (für diese Zwecke selbst entwickelten) **MATHEMATICA**-Programm getestet (siehe nachfolgende Tabellen und Kennlinien).

Es berechnet mit den gegebenen Daten des Kerns (Kernform sowie a ; b ; d ; h ; $s_L = \delta$ oder r_i ; r_a ; $s_L = \delta$) und der Durchflutung $\Theta = I_E \cdot N$ folgende Größen:

- Resultierende konstruktive Daten: s_E und A
- Daten der Luftspaltgeraden B^* und H_E^*
- Daten des Arbeitspunktes (B_{AP} ; H_{AP})
- Magnetischer Gesamtwiderstand $R_{m,ges}$
- Magnetischer Gesamtfluss Φ_{ges}
- Magnetische Feldstärken H_E und H_L

Falls A nicht bekannt ist, muss zur Berechnung von Φ und R_m ein typischer Wert gesetzt werden (Annahme!)

Für den Kern soll Trafoblech nach DIN 46400 verwendet werden. Die Magnetisierungskennlinie wird mit der Luftspaltgeraden und dem eingestellten Arbeitspunkt als Grafik ausgegeben.

Bild 11.0_1 zeigt die mit **MATHEMATICA** erzeugte Magnetisierungskennlinie.

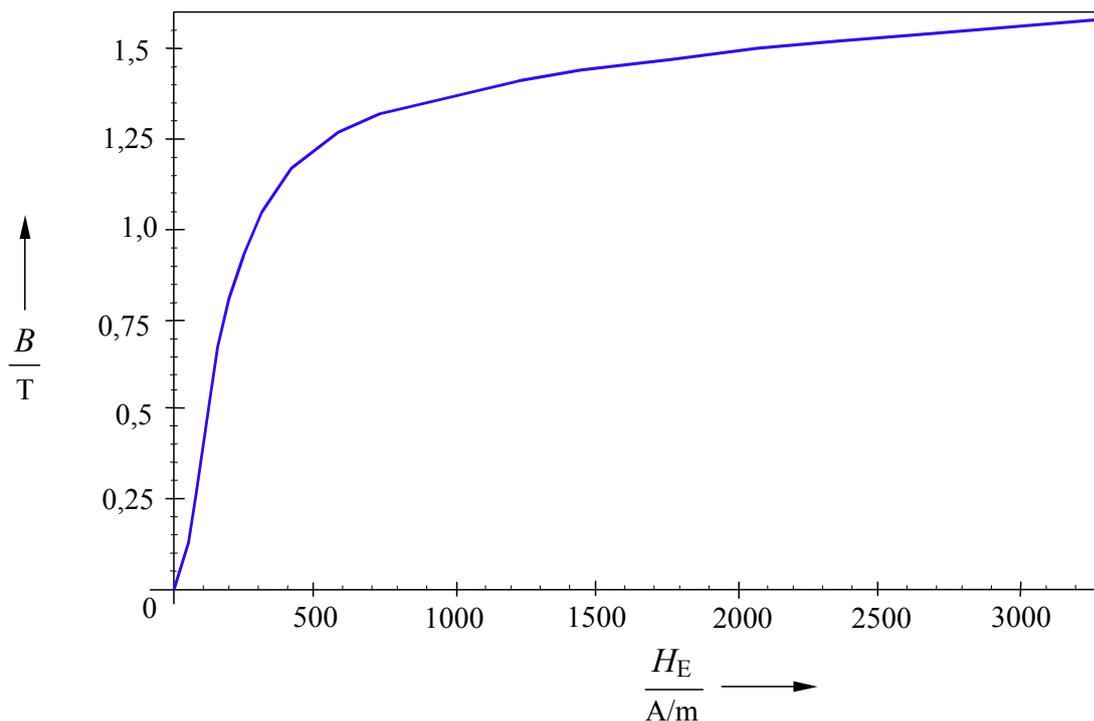


Bild 11.0_1: Magnetisierungskennlinie nach DIN 46400

Eine zusätzliche Simulation der Magnetisierungskennlinien der BB 11.x mit **PSpice** soll eine weitere Kontrolle der Lösungen ermöglichen und den Bearbeiter der Berechnungsbeispiele (**nach** dem Durchrechnen) zum Nachvollziehen dieser Simulationsergebnisse anregen.

Zur Simulation kann die spannungsgesteuerte Stromquelle GTABLE aus der Library ABM.SLB oder der Transformator XFRM_NON verwendet werden (siehe Bild 11.0_2). Die mit dem Transformator erzeugten Magnetisierungskennlinien müssen allerdings an die Spezifik der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst werden.

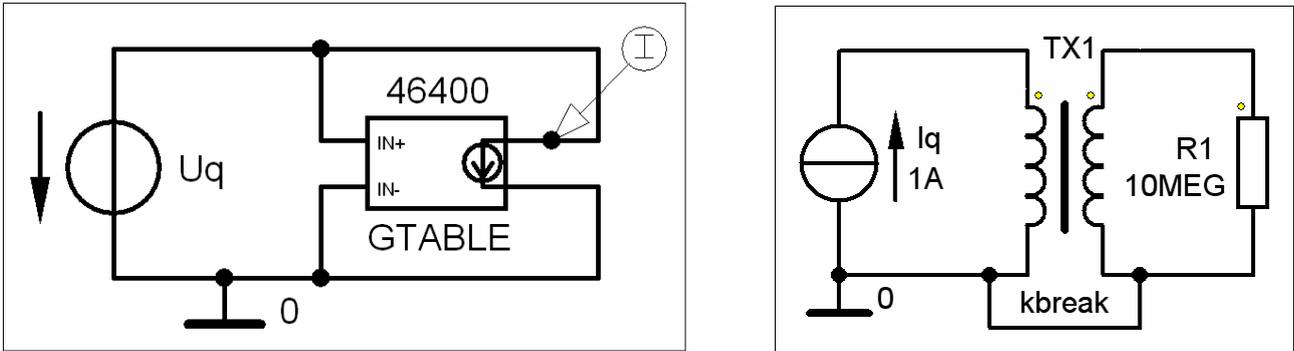


Bild 11.0_2: Simulation einer Magnetisierungskennlinie mit PSpice

Bild 11.0_3 zeigt eine mit **PSpice** erzeugte Magnetisierungskennlinie.

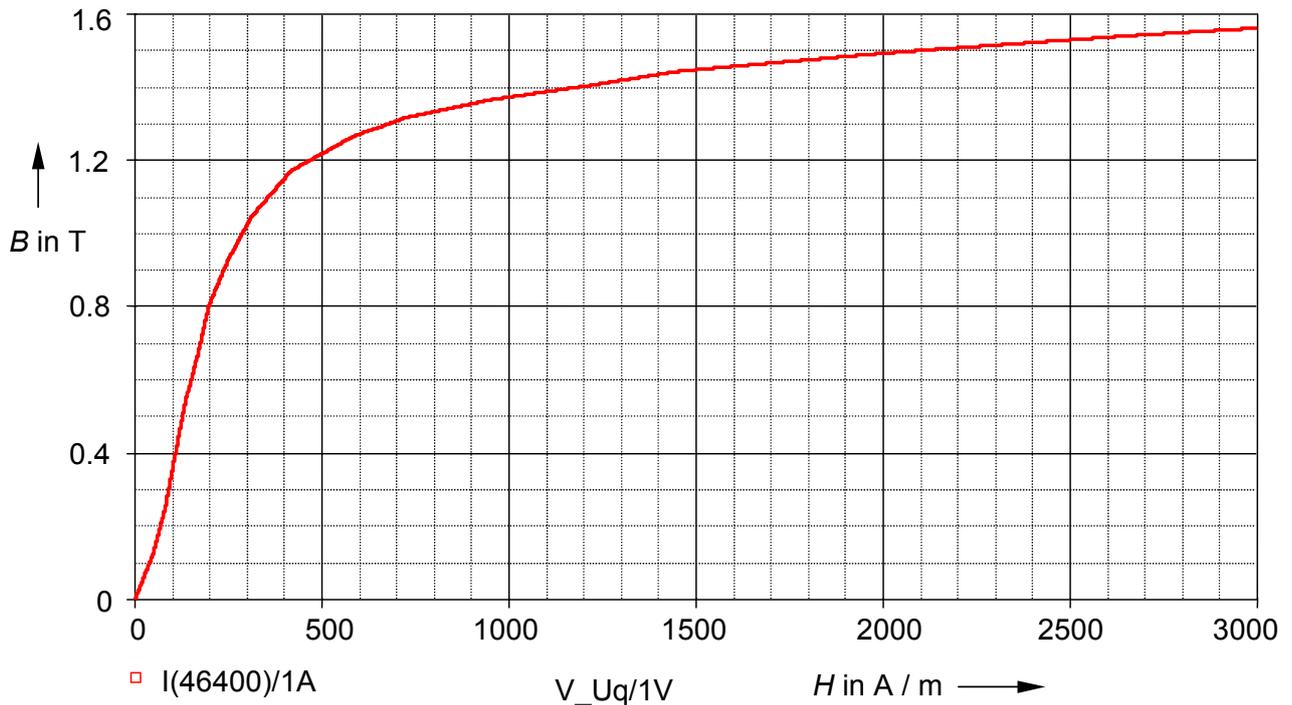


Bild 11.0_3: Mit GTABLE erzeugte Magnetisierungskennlinie nach DIN 46400

BB 11.1: Ringspule aus Kunststoff

Tabelle BB_11.1_1: Legende zur Tabelle BB_11.1_2 und Ausdruck der Lösungen (rechts)

Kernform	s_E in mm (*)	A in mm ²	Ringkern	314.2	314.2
s_L in mm	B^* in T	H^* in A / m	$\frac{1}{1000000}$	2.51×10^5	636.62
B_{AP} in T	H_{AP} in A / m	μ_r	0.0008	636.6	1.
$R_{m,ges}$ in A / Vs	Φ_{ges} in Vs	Θ in A	7.957×10^8	2.513×10^{-7}	200.
B_E in T	H_E in A / m	H_L in A / m	0.0008	636.6	636.6

Tabelle BB_11.1_2: Lösungsübersicht zum BB_11.1

Ringkern	$s_E = 314,2$ mm	$A = 314,2$ mm ²
$s_L \rightarrow 0$	$B^* \rightarrow \infty$	$H^* = 636,6$ A / m
$B_{AP} = 0,8$ mT	$H_{AP} = 636,6$ A / m	$\mu_r = 1$
$R_{m,ges} = 795,7 \cdot 10^6$ A / Vs	$\Phi_{ges} = 251 \cdot 10^{-9}$ Vs	$\Theta = 200$ A
$B_E = 0,8$ mT	$H_E = 636,6$ A / m	$H_L = 636,6$ A / m

Rechnung stimmt !

(*) Anmerkung:

Das verwendete Programm ist für die Berechnung von Eisenkreisen ohne und mit Luftspalt konzipiert. Bei einem Kern aus nichtferromagnetischem Material (hier: $\mu_r = 1$) wird die für den magnetischen Widerstand verantwortliche mittlere Weglänge als „Eisenweg“ aufgefasst.

BB 11.2: Ringspule aus Dynamoblech mit Luftspalt

Teilaufgabe a):

Der magnetische Widerstand und der magnetische Fluss wurden für eine angenommene Vorgabe berechnet, dass die vom Fluss durchsetzte Fläche einen Durchmesser $d = 20 \text{ mm}$ aufweist. Das entspricht einer durchsetzten Fläche von $A = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 314,2 \text{ mm}^2$.

Tabelle BB_11.2_1: Legende zur Tabelle BB_11.2_2 und Ausdruck der Lösungen zu a) (siehe unten)

Kernform	s_E in mm (*)	A in mm^2
s_L in mm	B^* in T	H^* in A / m
B_{AP} in T	H_{AP} in A / m	μ_r
$R_{m,ges}$ in A / Vs	Φ_{ges} in Vs	Θ in A
B_E in T	H_E in A / m	H_L in A / m

Ringkern	310.	314.2
0.45	1.4	1612.7
1.11	365.49	2416.8
1.434×10^6	0.000348717	500
1.11	365.5	8.833×10^5

Tabelle BB_11.2_2: Lösungsübersicht a) zum BB_11.2

Rechnung stimmt !

Ringkern	$s_E = 310 \text{ mm}$	$A = 314,2 \text{ mm}^2$
$s_L = 0,45 \text{ mm}$	$B^* = 1,4 \text{ T}$	$H^* = 1613 \text{ A / m}$
$B_{AP} = 1,11 \text{ T}$	$H_{AP} = 365,5 \text{ A / m}$	$\mu_r = 2417$
$R_{m,ges} = 1,43 \cdot 10^6 \text{ A / Vs}$	$\Phi_{ges} = 348,7 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}$	$\Theta = 500 \text{ A}$
$B_E = 1,1 \text{ T}$	$H_E = 366 \text{ A / m}$	$H_L = 883,3 \cdot 10^3 \text{ A / m}$

Bild BB_11.2_1 zeigt die berechnete Magnetisierungskennlinie, die dieser Berechnung zugrunde liegt. In diese Darstellung sind die berechnete Luftspaltgerade / der berechnete Arbeitspunkt für den Fall a) eingezeichnet. Es handelt sich um eine rechnerische (und nicht um eine grafische) Lösung!

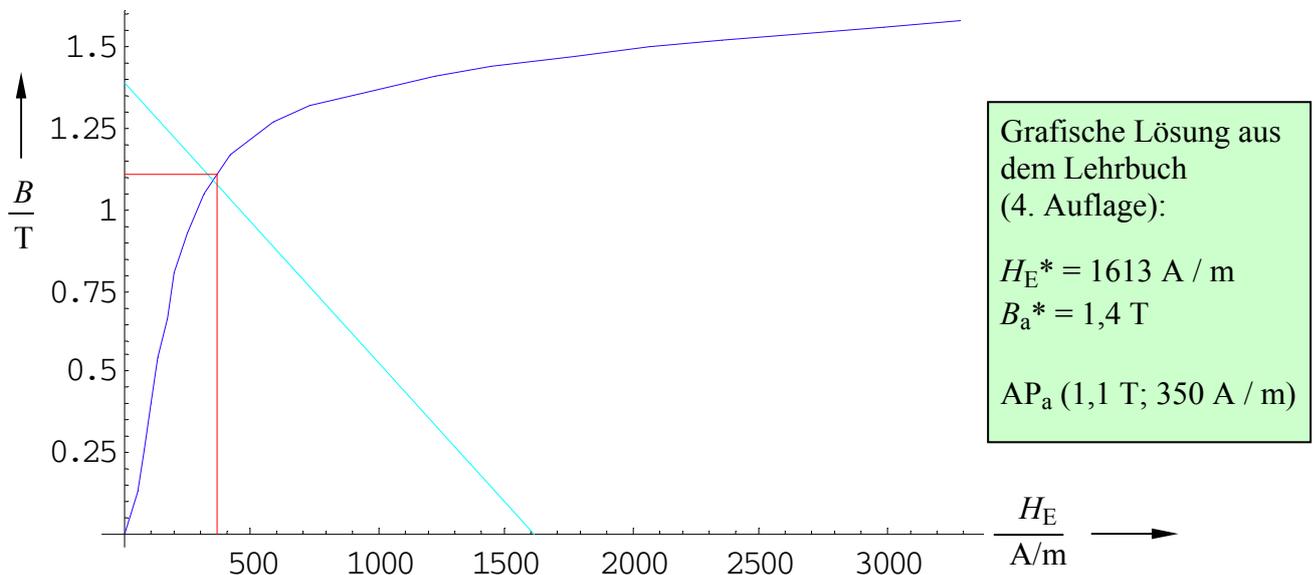


Bild BB_11.2_1: Arbeitspunkt in der Magnetisierungskennlinie nach DIN 46400

Teilaufgabe b):

Der magnetische Widerstand und der magnetische Fluss wurden für eine angenommene Vorgabe berechnet, dass die vom Fluss durchsetzte Fläche einen Durchmesser $d = 20 \text{ mm}$ aufweist. Das entspricht einer Kernfläche von $A = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 314,2 \text{ mm}^2$.

Die Probe kann gemäß der Struktur des verwendeten Simulationsprogramms nur „rückwärts“ – also von der im Lehrbuch gezeigten grafischen Lösung zurück zu den Angaben der vorgegebenen Aufgabenstellung vorgenommen werden.

Tabelle BB_11.2_3: Legende zur Tabelle BB_11.2_4 und Ausdruck der Lösungen zu b) (siehe rechts)

Kernform	s_E in mm (*)	A in mm^2	Ringkern	309.8	314.2
s_L in mm	B^* in T	H^* in A / m	0.72	0.873	1614.1
B_{AP} in T	H_{AP} in A / m	μ_r	0.781903	192.496	3232.4
$R_{m,ges}$ in A / Vs	Φ_{ges} in Vs	Θ in A	2.035×10^6	0.000245642	500
B_E in T	H_E in A / m	H_L in A / m	0.782	192.5	6.222×10^5

Tabelle BB_11.2_4: Lösungsübersicht b) zum BB_11.2

Rechnung stimmt !

Ringkern	$s_E = 310 \text{ mm}$	$A = 314,2 \text{ mm}^2$
$s_L = 0,72 \text{ mm}$	$B^* = 0,873 \text{ T}$	$H^* = 1614 \text{ A / m}$
$B_{AP} = 0,78 \text{ T}$	$H_{AP} = 192,5 \text{ A / m}$	$\mu_r = 3232$
$R_{m,ges} = 2,035 \cdot 10^6 \text{ A / Vs}$	$\Phi_{ges} = 245,6 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}$	$\Theta = 500 \text{ A}$
$B_E = 0,78 \text{ T}$	$H_E = 193 \text{ A / m}$	$H_L = 622,2 \cdot 10^3 \text{ A / m}$

Bild BB_11.2_2 zeigt die berechnete Magnetisierungskennlinie, die dieser Berechnung zugrunde liegt. In diese Darstellung sind die berechnete Luftspaltgerade / der berechnete Arbeitspunkt für den Fall b) eingezeichnet. Es handelt sich um eine rechnerische (und nicht um eine grafische) Lösung!

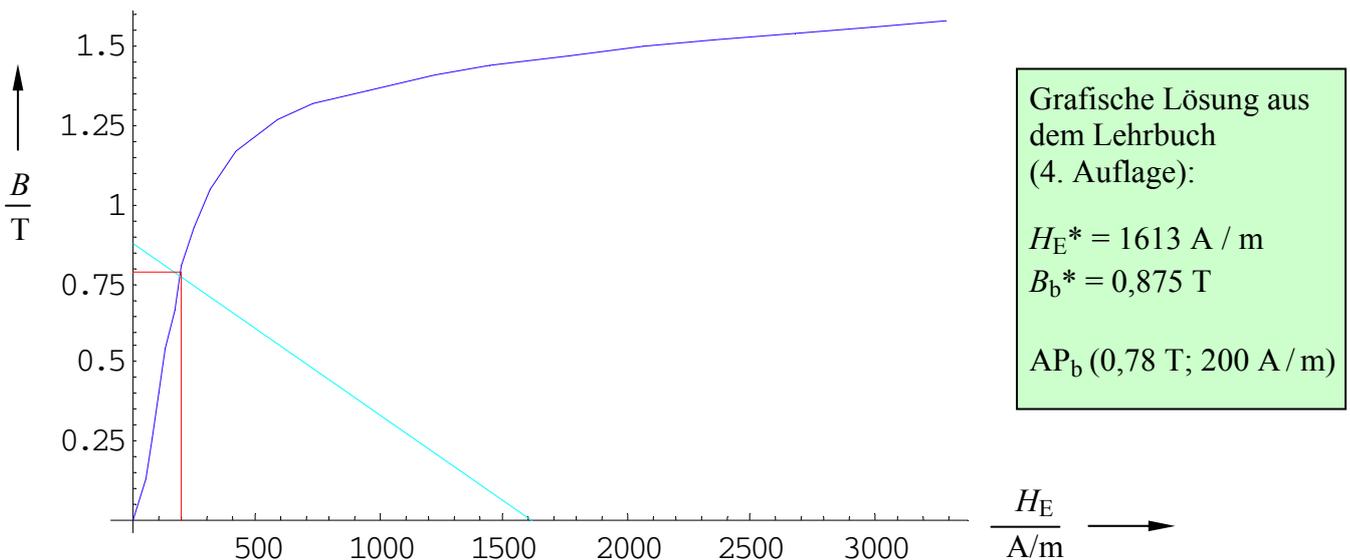


Bild BB_11.2_2: Arbeitspunkt in der Magnetisierungskennlinie nach DIN 4640

Die geringen Abweichungen im Vergleich zur Lösung im Lehrbuch resultieren aus der Tatsache, dass in der hier vorliegenden Probe die Magnetisierungskennlinie nach DIN 46400 verwendet wurde. In der 3. Auflage des Lehrbuchs wurde dagegen eine beliebige Kennlinie (Handskizze) verwendet, die bereits bei kleineren Feldstärken den Sättigungsbereich erreicht. In der 4. Auflage wird mit einer einheitlichen Magnetisierungskennlinie (DIN 46400) gearbeitet.

BB 11.3: Geteilter Ring aus Dynamoblech

Tabelle BB_11.3_1: Legende zur Tabelle BB_11.3_2 und Ausdruck der Lösungen (siehe unten)

Kernform	s_E in mm (*)	A in mm^2
s_L in mm	B^* in T	H^* in A / m
B_{AP} in T	H_{AP} in A / m	μ_r
$R_{m,ges}$ in A / Vs	Φ_{ges} in Vs	Θ in A
B_E in T	H_E in A / m	H_L in A / m

Ringkern	150.6	314.2
0.2	1.13	1195.2
0.897157	240.091	2973.6
6.386×10^5	0.00028185	180
0.897	240.1	7.139×10^5

Der magnetische Widerstand und der magnetische Fluss wurden für eine angenommene Vorgabe berechnet, dass die vom Fluss durchsetzte Fläche einen Durchmesser $d = 20$ mm aufweist. Das entspricht einer Kernfläche von $A = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 314,2 \text{ mm}^2$.

Tabelle BB_11.3_2: Lösungsübersicht zum BB_11.3 Rechnung stimmt !

Ringkern	$s_E = 150,6 \text{ mm}$	$A = 314,2 \text{ mm}^2$
$s_L = 0,2 \text{ mm}$	$B^* = 1,13 \text{ T}$	$H^* = 1195 \text{ A / m}$
$B_{AP} = 0,9 \text{ T}$	$H_{AP} = 240,1 \text{ A / m}$	$\mu_r = 2974$
$R_{m,ges} = 6,4 \cdot 10^5 \text{ A / Vs}$	$\Phi_{ges} = 281,9 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}$	$\Theta = 180 \text{ A}$
$B_E = 0,9 \text{ T}$	$H_E = 240 \text{ A / m}$	$H_L = 713,9 \cdot 10^3 \text{ A / m}$

Bild BB_11.3_1 zeigt die berechnete Magnetisierungskennlinie, die dieser Berechnung zugrunde liegt. In diese Darstellung sind die berechnete Luftspaltgerade und der berechnete Arbeitspunkt eingezeichnet. Es handelt sich um eine rechnerische (und nicht um eine grafische) Lösung!

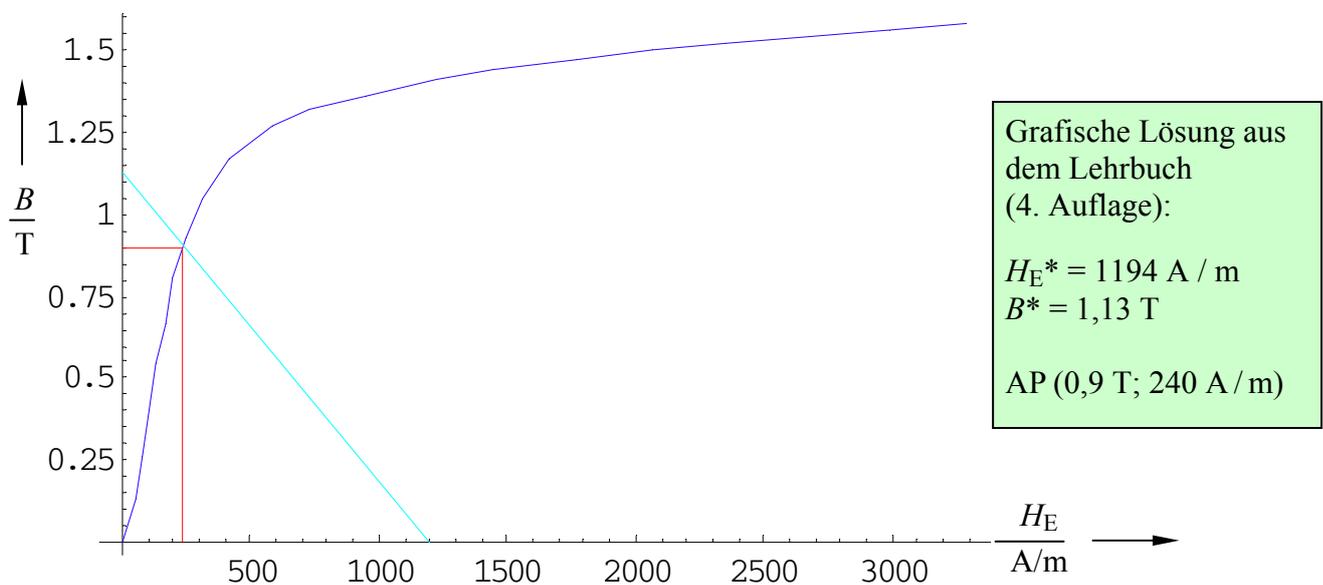


Bild BB_11.3_1: Arbeitspunkt in der Magnetisierungskennlinie nach DIN 4640

BB 11.4: Verzweigter magnetischer Kreis aus Dynamoblech mit Luftspalt

Tabelle BB_11.4_1: Legende zur Tabelle BB_11.4_2 und Ausdruck der Lösungen (unten)

Kernform	s_E in mm (*)	A in mm^2
s_L in mm	B^* in T	H^* in A / m
B_{AP} in T	H_{AP} in A / m	μ_r
$R_{m,ges}$ in A / Vs	Φ_{ges} in Vs	Θ in A
B_E in T	H_E in A / m	H_L in A / m

Rechteckkern	239.5	400
0.5	1.01	1670.1
0.8645	222.75	3088.4
1.157×10^6	0.0003458	400
0.864	222.8	6.879×10^5

Tabelle BB_11.4_2: Lösungsübersicht zum BB_11.4

Rechnung stimmt !

Rechteckkern	$s_E = 239,5$ mm	$A = 400$ mm^2
$s_L = 0,5$ mm	$B^* = 1$ T	$H^* = 1670$ A / m
$B_{AP} = 0,86$ T	$H_{AP} = 223$ A / m	$\mu_r = 3088$
$R_{m,ges} = 1,157 \cdot 10^6$ A / Vs	$\Phi_{ges} = 345,8 \cdot 10^{-9}$ Vs	$\Theta = 400$ A
$B_E = 0,86$ T	$H_E = 223$ A / m	$H_L = 688 \cdot 10^3$ A / m

Bild BB_11.4_1 zeigt die berechnete Magnetisierungskennlinie, die dieser Berechnung zugrunde liegt. In diese Darstellung sind die berechnete Luftspaltgerade und der berechnete Arbeitspunkt eingezeichnet. Es handelt sich um eine rechnerische (und nicht um eine grafische) Lösung!

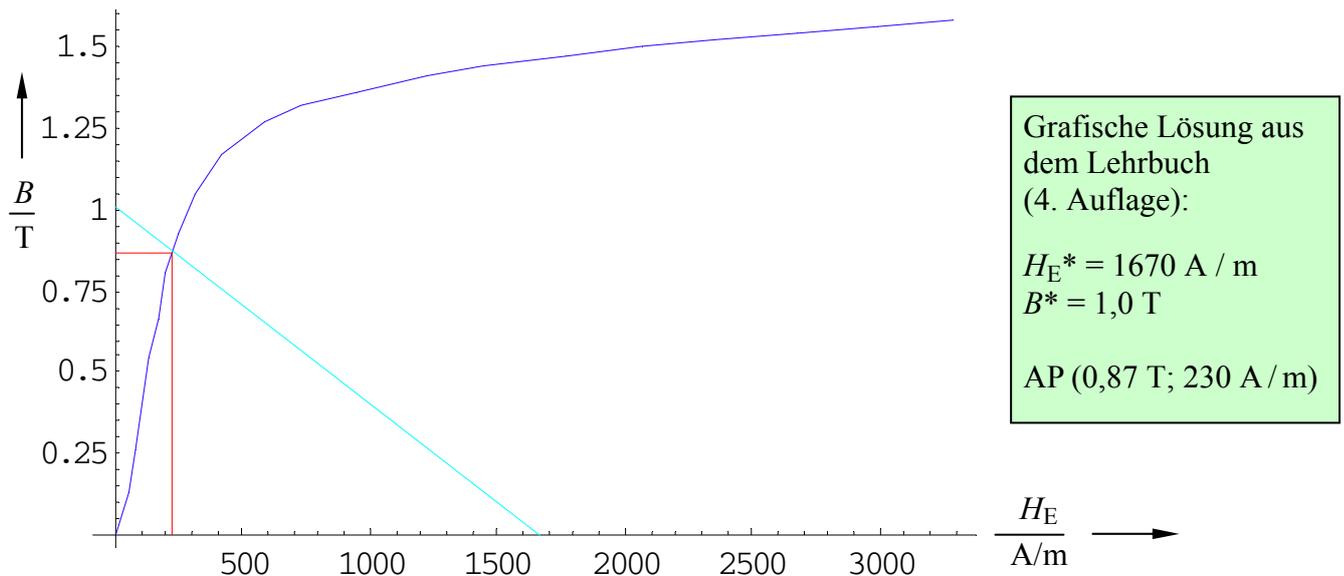


Bild BB_11.4_1: Arbeitspunkt in der Magnetisierungskennlinie nach DIN 46400

Beachte:

In der 3. Auflage des Lehrbuchs wurde mit einer etwas veränderten Magnetisierungskennlinie im Vergleich zur 4. Auflage (einheitliche Kennlinie nach DIN 46400) gearbeitet.