

Magnetfeldmessung am geraden Leiter und an kreisförmigen Leiterschleifen

Versuchsziele

- Messung des Magnetfeldes am geraden Leiter und an kreisförmigen Leiterschleifen in Abhängigkeit von der Stromstärke.
- Messung des Magnetfeldes am geraden Leiter in Abhängigkeit vom Abstand zur Leiterachse.
- Messung des Magnetfeldes an kreisförmigen Leiterschleifen in Abhängigkeit vom Schleifenradius und vom Abstand auf der Mittelpunktsachse.

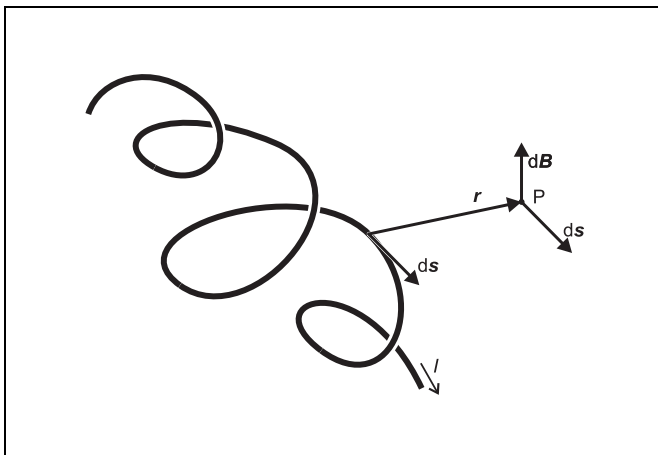


Fig. 1 Berechnung des Magnetfeldes eines stromdurchflossenen Leiters als Integral über den Leiter.

Grundlagen

Das Magnetfeld B eines beliebigen vom Strom I durchflossenen Leiters an einem Ort P setzt sich nach dem *Biot-Savart*-Gesetz aus den Beiträgen

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot ds \times \frac{r}{r} \quad (I)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}; \text{ magnetische Feldkonstante}$$

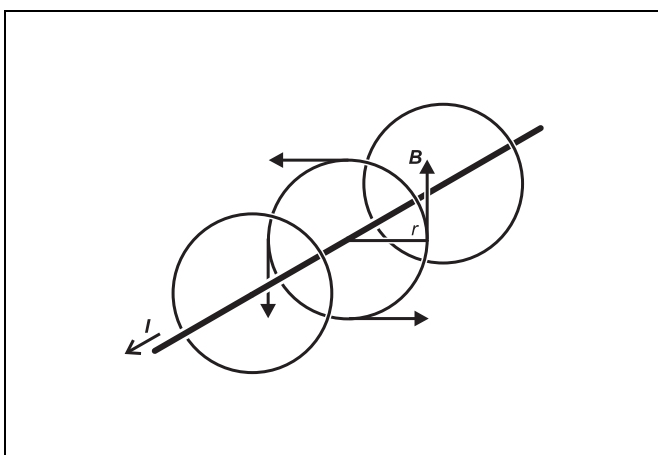
der einzelnen Leiterstücke zusammen, deren Länge und Richtung durch den Vektor ds beschrieben wird. Dabei ist r der Ortsvektor vom Leiterstück zum Punkt P (siehe Fig. 1).

Die Berechnung des gesamten Magnetfeldes erfordert somit die Lösung eines Integrals. Analytische Lösungen lassen sich nur für Leiter mit bestimmten Symmetrien angeben. So beträgt das Magnetfeld eines unendlich langen Drahtes im Abstand r zur Achse

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{2}{r} \quad (II)$$

und die Feldlinien verlaufen konzentrisch zur Zylinderachse (siehe Fig. 2). Das Magnetfeld einer kreisförmigen Leiterschleife-

Fig. 2 Magnetfeld eines unendlich langen Drahtes.



Geräte	
1 Satz vier Leiter	516 235
1 Teslameter	516 62
1 Axiale B-Sonde	516 61
1 Tangentiale B-Sonde	516 60
1 Verbindungskabel 6polig	501 16
1 Hochstrom-Netzgerät	521 55
1 Kleine Optische Bank	460 43
1 Halter für Steckelemente	460 21
2 Leybold-Muffen	301 01
1 Großer Stativfuß, V-förmig	300 01
1 Satz 6 Kupplungen	501 644
Experimentierkabel, Ø 2,5 mm ²	

Aufbau und Durchführung

a) Magnetfeld eines geraden Leiters:

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 4 dargestellt.

- Kleine Optische Bank im großen Stativfuß aufstellen und waagrecht ausrichten.
- Halter für Steckelemente (a) mit Leybold-Muffe montieren.
- Halter für geraden Leiter (b₁) aufstecken, geraden Leiter festklemmen und an Hochstrom-Netzgerät anschließen.
- Tangentiale B-Sonde an Teslameter anschließen und dessen Nullpunkt abgleichen (siehe Gebrauchsanweisung zum Teslameter).
- Anschließend tangentielle B-Sonde in Leybold-Muffe montieren (linke Kante der Leybold-Muffe bei Skalenstrich 50,0 cm) und seitlich sowie in der Höhe auf die Mitte des geraden Leiters ausrichten.
- Geraden Leiter bis unmittelbar an den Hall-Sensor (c₁) führen (Abstand s = 0).
- Spulenstrom I von 0 bis 20 A in Schritten von 2 A erhöhen, das Magnetfeld B messen und Messwerte notieren.
- Bei I = 20 A die B-Sonde schrittweise nach rechts verschieben, in Abhängigkeit vom Abstand s das Magnetfeld B messen und Messwerte notieren.

fe mit dem Radius R im Abstand x auf einer Achse durch die Schleifenmitte ist

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot 2\pi \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (III)$$

Seine Feldlinien verlaufen parallel zur Achse (siehe Fig. 3).

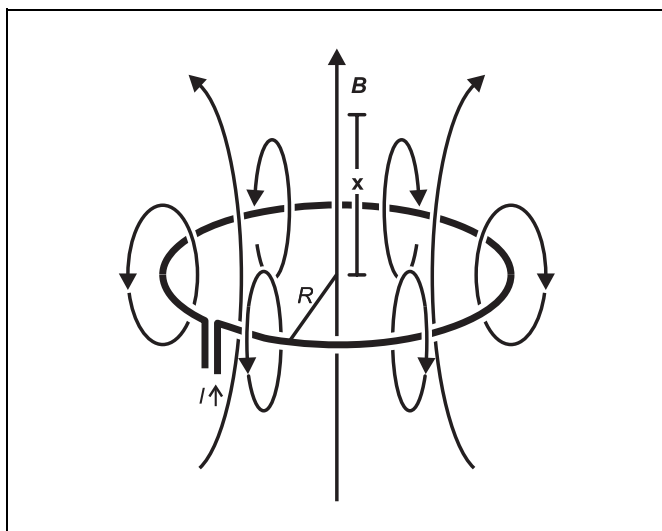
Im Versuch wird das Magnetfeld der genannten Leiter mit einer axialen bzw. einer tangentialen B-Sonde gemessen. Deren flächenhaft dünne Hall-Sensoren sind senkrecht zu ihrer Fläche empfindlich, d. h. neben der Stärke kann auch die Richtung des Magnetfeldes bestimmt werden. Überprüft wird am geraden Leiter die Abhängigkeit der magnetischen Flußdichte B und vom Abstand r, an den kreisförmigen Leiterschleifen die Abhängigkeit vom Radius R und der Ortskoordinate x sowie an beiden Leitern die Proportionalität zwischen magnetischer Flußdichte B und Stromstärke I.

b) Magnetfeld kreisförmiger Leiterschleifen:

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 5 dargestellt

- Halter für geraden Leiter gegen Adapter für Leiterschleifen (b₂) austauschen und Leiterschleife 40 mm aufstecken.
- Zum Stromanschluss der Leiterschleife Experimentierkabel in die Buchsen des Halter für Steckelemente (a) stecken.
- Axiale B-Sonde an Teslameter anschließen und Nullpunkt abgleichen (siehe Gebrauchsanweisung zum Teslameter).
- Anschließend axiale B-Sonde in Leybold-Muffe (linke Kante der Leybold-Muffe bei Skalenstrich 70,0 cm) montieren und auf die Mitte der Leiterschleife ausrichten.
- Leiterschleife möglichst genau zum Hall-Sensor (c₂) ausrichten.
- Spulenstrom I von 0 bis 20 A in Schritten von 2 A erhöhen, das Magnetfeld B messen und Messwerte notieren.
- Bei I = 20 A die B-Sonde schrittweise nach rechts und nach links verschieben, in Abhängigkeit von der Ortskoordinate x das Magnetfeld B messen und Messwerte notieren.
- Leiterschleife 40 gegen Leiterschleife 80 mm und anschließend gegen Leiterschleife 120 mm austauschen und ebenfalls das Magnetfeld als Funktion der Ortskoordinate x messen.

Fig. 3 Magnetfeld einer kreisförmigen Leiterschleife.



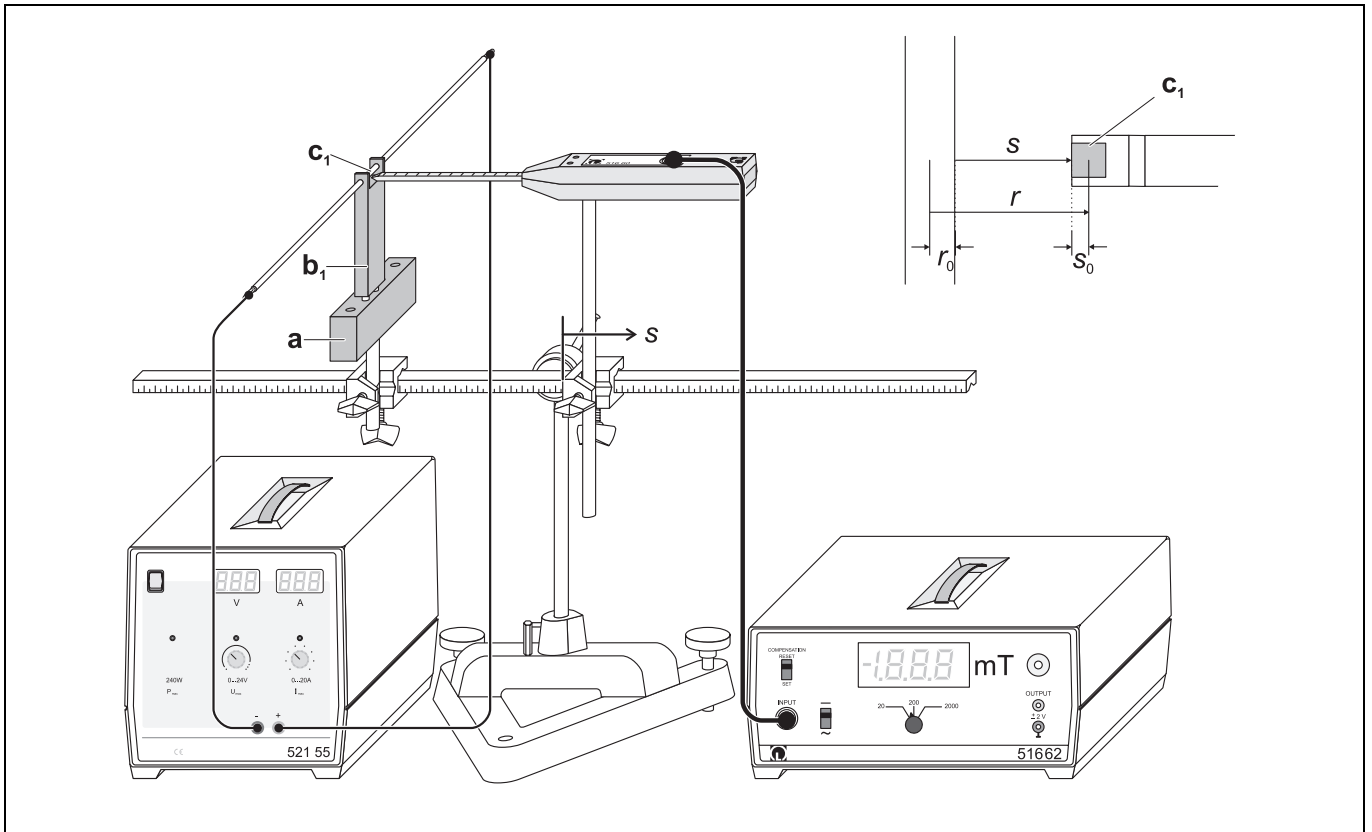
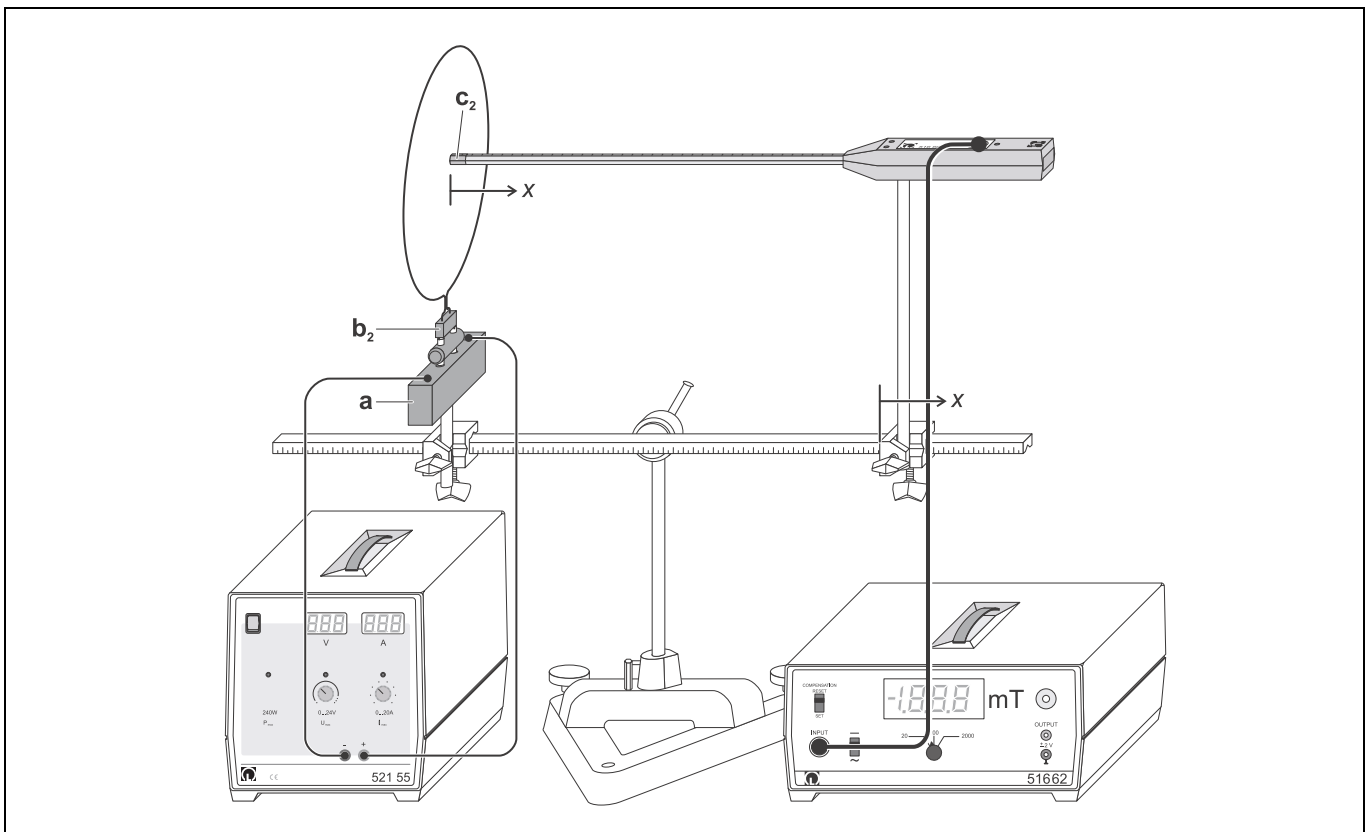


Fig. 4 Versuchsaufbau zur Magnetfeldmessung am geraden Leiter

Fig. 5 Versuchsaufbau zur Magnetfeldmessung an kreisförmigen Leiterschleifen



Messbeispiel

a) Magnetfeld eines geraden Leiters:

Tab. 1: Magnetfeld B des geraden Leiters in Abhängigkeit von der Stromstärke I (Abstand $s = 0$)

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0	0,00
2	0,13
4	0,27
6	0,40
8	0,51
10	0,64
12	0,76
14	0,91
16	1,025
18	1,15
20	1,28

Tab. 2: Magnetfeld B des geraden Leiters in Abhängigkeit vom Abstand s zwischen Leiteroberfläche und B-Sonde (Stromstärke $I = 20 A$)

$\frac{s}{mm}$	$\frac{B}{mT}$
0	1,28
1	0,97
2	0,77
3	0,64
4	0,55
5	0,48
6	0,43
7	0,395
8	0,35
9	0,33
10	0,31
15	0,21
20	0,17
25	0,14
30	0,11
40	0,085

b) Magnetfeld kreisförmiger Leiterschleifen:

Tab. 3: Magnetfeld B der Leiterschleife mit 40 mm Durchmesser in Abhängigkeit von der Stromstärke I

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0	0
2	0,07
4	0,13
6	0,19
8	0,26
10	0,32
12	0,38
14	0,45
16	0,51
18	0,58
20	0,64

Tab. 4: Magnetfeld B der Leiterschleifen in Abhängigkeit vom Abstand x

$\frac{x}{mm}$	$\frac{B}{mT}$	$\frac{x}{mm}$	$\frac{B}{mT}$	$\frac{x}{mm}$	$\frac{B}{mT}$
2R = 40 mm		2R = 80 mm		2R = 120 mm	
-10	0,005	-10	0,015		
-7,5	0,015	-9	0,02		
-5	0,035	-8	0,03		
-4	0,06	-7	0,04	-9	0,04
-3	0,11	-6	0,05	-7,5	0,06
-2,5	0,14	-5	0,08	-6	0,08
-2	0,21	-4	0,11	-4,5	0,11
-1,5	0,33	-3	0,16	-3	0,15
-1	0,45	-2	0,23	-1,5	0,19
-0,5	0,58	-1	0,29	0	0,21
0	0,64	0	0,32	1,5	0,19
0,5	0,58	1	0,3	3	0,15
1	0,46	2	0,24	4,5	0,11
1,5	0,32	3	0,17	6	0,07
2	0,22	4	0,11	7,5	0,05
2,5	0,15	5	0,08	9	0,03
3	0,1	6	0,05		
4	0,05	7	0,04		
5	0,035	8	0,025		
7,5	0,01	9	0,02		
10	0,005	10	0,015		

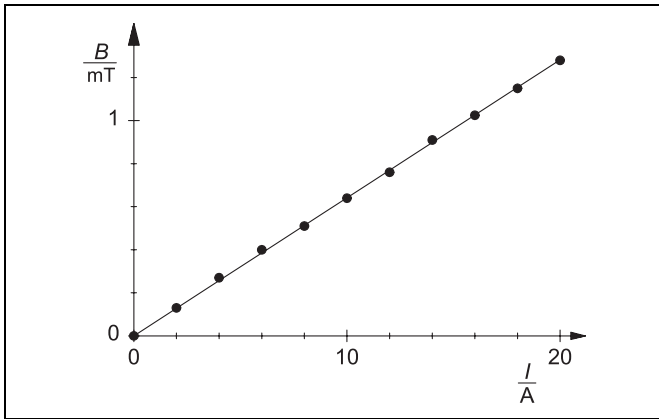


Fig. 6 Magnetfeld B des geraden Leiters in Abhängigkeit von der Stromstärke I

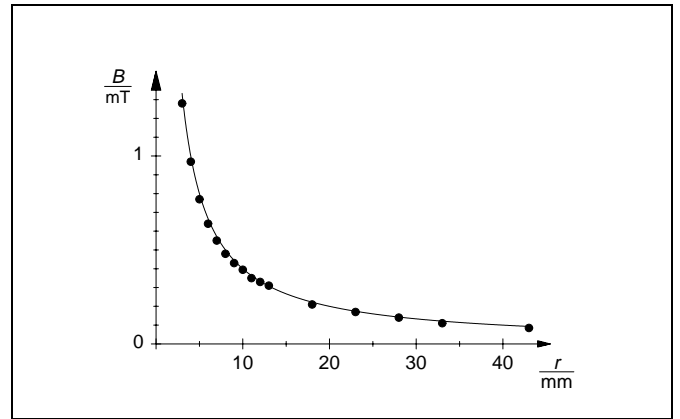


Fig. 7 Magnetfeld B des geraden Leiters in Abhängigkeit vom Abstand r zur Leiterachse

Auswertung und Ergebnis

a) Magnetfeld eines geraden Leiters:

In Fig. 6 ist die Abhängigkeit des Magnetfeldes B von der Stromstärke I für den geraden Leiter graphisch dargestellt. Die Messwerte (vgl. Tab. 1) liegen im Rahmen der Messgenauigkeit auf der eingezeichneten Ursprungsgeraden, d. h. Magnetfeld B und Stromstärke I sind proportional zueinander.

Fig. 7 zeigt eine graphische Darstellung der Messwerte aus Tab. 2. Dabei ist berücksichtigt, dass der in der Tabelle angegebene Abstand s zwischen Leiteroberfläche und Rand der B-Sonde von dem in (I) eingehenden Abstand r zur Drahtachse abweicht. Die Differenz $r - s = 3$ mm setzt sich zusammen aus dem Radius $r_0 = 2$ mm des geraden Leiters und dem Abstand $s_0 = 1$ mm zwischen dem Rand der B-Sonde und der Mitte des Hall-Sensors (siehe Fig. 4). Die in Fig. 4 eingezeichnete Kurve wurde gemäß (I) für $I = 20$ A berechnet. In der Darstellung der Fig. 8 entspricht die Kurve einer Ursprungsgeraden.

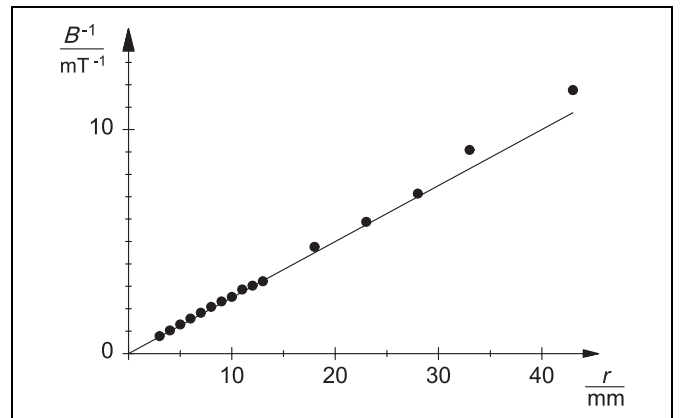


Fig. 8 Magnetfeld B des geraden Leiters in der Darstellung $1/B = f(r)$

b) Magnetfeld kreisförmiger Leiterschleifen:

Fig. 9 zeigt die Abhängigkeit des Magnetfeldes B von der Stromstärke I für eine kreisförmige Leiterschleife. Auch hier bestätigt die Übereinstimmung zwischen Messwerten (vgl. Tab. 3) und eingezeichneter Ursprungsgeraden die Proportionalität zwischen Magnetfeld B und Stromstärke I .

In Fig. 10 ist die Abhängigkeit des Magnetfeldes B von der Ortskoordinate x für alle drei kreisförmigen Leiterschleifen dargestellt. Die eingezeichneten Kurven wurden gemäß (II) für die Stromstärke $I = 20$ A berechnet.

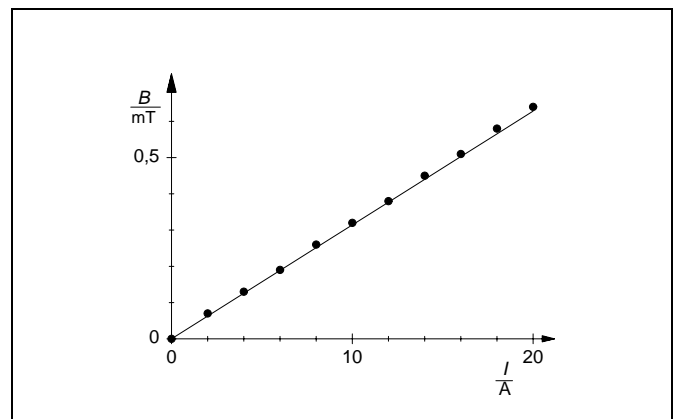


Fig. 9 Magnetfeld B der kreisförmigen Leiterschleife (Durchmesser 40 mm) in Abhängigkeit von der Stromstärke I

Fig. 10 Magnetfeld B kreisförmiger Leiterschleifen mit dem Radius R in Abhängigkeit von der Ortskoordinate x

○ $R = 60$ mm, ● $R = 40$ mm, (□) $R = 20$ mm

