

## Magnetfeldmessung in einer Luftspule

### Versuchsziele

- Messung des Magnetfeldes  $B$  in einer langen Luftspule in Abhängigkeit von der Stromstärke  $I$ .
- Messung des Magnetfeldes  $B$  in einer langen Luftspule in Abhängigkeit von deren Länge  $L$  bei fester Windungszahl  $N$ .

### 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

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot d\mathbf{s} \times \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (I)$$

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

der einzelnen Leiterstücke zusammen, deren Länge und Richtung durch den Vektor  $d\mathbf{s}$  beschrieben wird. Dabei ist  $\mathbf{r}$  der Ortsvektor vom Leiterstück zum Punkt  $P$ . Die Berechnung des gesamten Magnetfeldes erfordert somit die Lösung eines Integrals.

Diese Berechnung ist häufig sehr umständlich und führt auch nur für Leiter mit bestimmten Symmetrien zu einer analytischen Lösung. In anderen Fällen, z. B. zur Berechnung des Magnetfeldes in einer langen Spule, ist die Anwendung des *Ampère-*

schen Durchflutungsgesetzes, das sich ebenso wie das *Biot-Savart-Gesetz* auf die *Maxwell-Gleichungen* zurückführen lässt, wesentlich einfacher. Es lautet

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot \int_A \mathbf{j} \cdot d\mathbf{A} = \mu_0 \cdot I_A \quad (II),$$

$\mathbf{j}$ : Stromdichte,  $I_A$ : Strom durch die Fläche  $A$ ,  
 $S$ : geschlossene Randkurve der Fläche  $A$ .

Zur Berechnung des Magnetfeldes in einer langen Spule wählt man  $A$  und  $S$ , wie in Fig. 1 dargestellt. Wenn die Spule genügend lang ist, verläuft das Magnetfeld im Spuleninneren parallel zur Spulenachse und ist außerhalb verschwindend gering. D.h. nur auf dem Teilstück  $S_1$  der Randkurve  $S$  gibt es eine von Null verschiedene Komponente des Magnetfeldes in Richtung der Randkurve. Also ist

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot \int_{S_1} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \cdot L \quad (III).$$

$L$ : Länge des Teilstückes  $S_1$

Außerdem ist

$$I_A = N \cdot I \quad (IV)$$

$N$ : Zahl der Windungen innerhalb von  $A$ ,  $I$ : Spulenstrom

und somit

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{L} \quad (V).$$

Zur Überprüfung dieses Ergebnisses wird im Versuch das Magnetfeld in einer langen Spule mit einer axialen  $B$ -Sonde gemessen. Sie enthält einen Hallensensor, der parallel zur Sondenachse empfindlich ist.

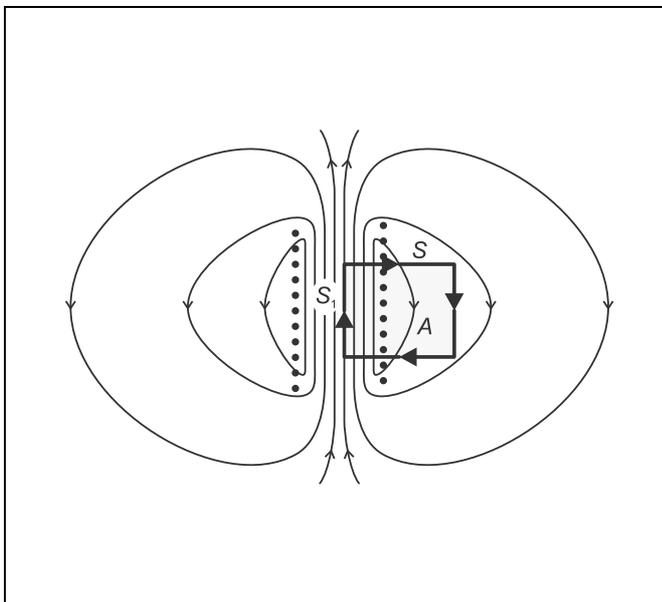


Fig. 1 Berechnung des Magnetfeldes in einer langen Spule

**Geräte**

1 Spule veränderlicher Windungsdichte . . .	516 242
1 Hochstrom-Netzgerät . . . . .	521 55
1 Teslameter . . . . .	516 62
1 Axiale B-Sonde . . . . .	516 61
1 Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m . . . . .	501 16
1 Ständer für Rohre und Spulen . . . . .	516 249
1 Sockel . . . . .	300 11
Experimentierkabel, Ø 2,5 mm <sup>2</sup> . . . . .	501 30

**Aufbau**

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

- Spule veränderlicher Windungsdichte auf Ständer für Rohre und Spulen legen und an Hochstrom-Netzgerät anschließen.
- Axiale B-Sonde mittels 6poligem Verbindungskabel an Teslameter anschließen, mit der Stativstange aus dem Lieferumfang der Sonde in Sockel festklemmen und so ausrichten, dass sich der Hallsensor **(a)** im Zentrum des Kunststoffkörpers der Spule befindet.

**Durchführung**

**a) Messung in Abhängigkeit von der Stromstärke *I*:**

- Am Teslameter den Messbereich 20 mT wählen und mit Taste Compensation den Nullpunkt kalibrieren.
- Anschlussbuchsen **(b, c)** der Spule symmetrisch zusammenschieben, so dass die Spulenlänge 15 cm beträgt (**b**: 12,5 cm, **c**: 27,5 cm).
- Stromstärke *I* in Schritten von 2 A erhöhen und jeweils das Magnetfeld *B* bestimmen; dabei immer wieder den Strom auf 0 A zurückdrehen und den Nullpunkt des Teslameters überprüfen.

**b) Messung in Abhängigkeit von der Länge *L*:**

- Stromstärke *I* = 20 A anlegen.
- Zur Einstellung verschiedener Spulenlängen *L* die Anschlussbuchsen **(b, c)** symmetrisch auseinanderziehen und jeweils das Magnetfeld *B* bestimmen; dabei immer wieder den Strom auf 0 A zurückdrehen und den Nullpunkt des Teslameters überprüfen.

**Messbeispiel**

**a) Messung in Abhängigkeit von der Stromstärke *I*:**

Tab. 1: Messergebnisse für *N* = 30 und *L* = 15 cm

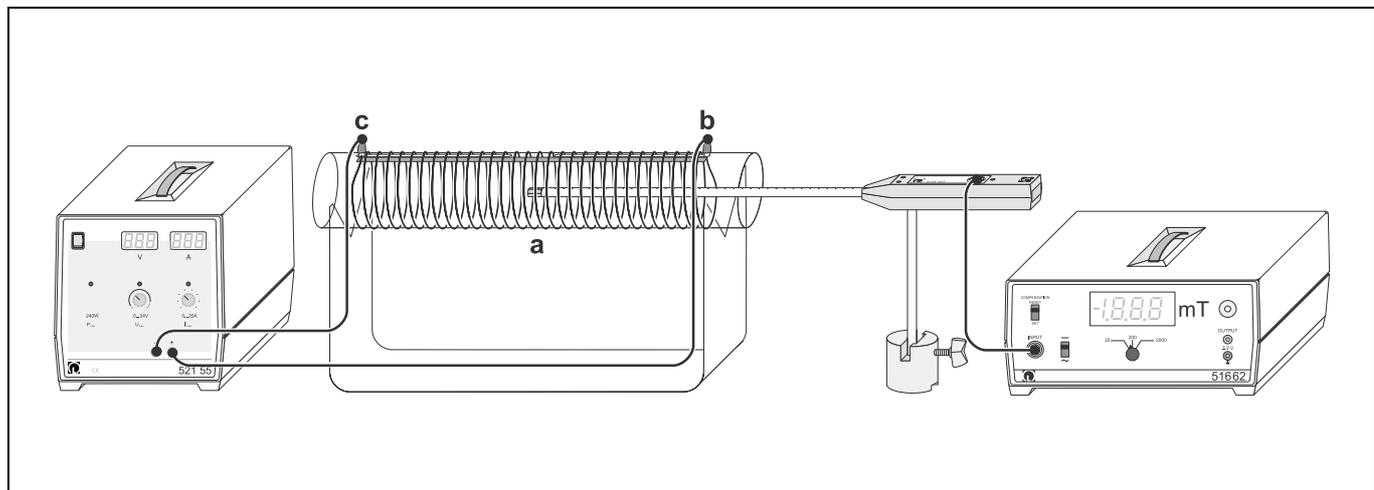
$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0	0
2	0,52
4	1,02
6	1,52
8	1,96
10	2,48
12	2,94
14	3,46
16	3,96
18	4,49
20	4,98

**b) Messung in Abhängigkeit von der Länge *L*:**

Tab. 2: Messergebnisse für *N* = 30 und *I* = 20 A

$\frac{L}{cm}$	$\frac{B}{mT}$
8	6,70
10	6,09
15	4,98
20	3,97
25	3,11
30	2,62
35	2,32
40	2,05

Fig. 2 Versuchsaufbau zur Magnetfeldmessung in einer langen Spule



## Auswertung und Ergebnis

### a) Messung in Abhängigkeit von der Stromstärke $I$ :

In Fig. 3 ist die Abhängigkeit des Magnetfeldes  $B$  von der Stromstärke  $I$  graphisch dargestellt. Die Messwerte (vgl. Tab. 1) liegen im Rahmen der Messgenauigkeit auf der eingezeichneten Ursprungsgeraden, d. h. das Magnetfeld  $B$  ist proportional zur Stromstärke  $I$ .

Die Steigung der eingezeichneten Ursprungsgeraden beträgt

$$a_1 = 0,248 \frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

Gemäß (V) berechnet man die Geradensteigung für  $N = 30$  und  $L = 15 \text{ cm}$  zu

$$a_1 = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} = 0,251 \frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

### b) Messung in Abhängigkeit von der Länge $L$ :

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit des Magnetfeldes von der Windungsdichte  $n = \frac{N}{L}$ . Für  $n < 3 \text{ cm}^{-1}$  stimmen die aus Tab. 2 entnommenen Messwerte gut mit der eingezeichneten Ursprungsgeraden überein. Die Abweichung für große Windungsdichten  $n$  bzw. kleine Längen  $L$  ist leicht zu erklären, da Gl. (II) für lange Spulen berechnet wurde.

Die Steigung der eingezeichneten Ursprungsgeraden beträgt

$$a_2 = 2,58 \text{ mT} \cdot \text{cm}$$

Gemäß (V) berechnet man für  $I = 20 \text{ A}$

$$a_2 = \mu_0 \cdot I = 2,51 \text{ mT} \cdot \text{cm}.$$

In Fig. 5 ist die Abhängigkeit des Magnetfeldes von der Länge  $L$  dargestellt. Hier stimmen die Messwerte für  $L > 10 \text{ cm}$  gut mit der eingezeichneten Hyperbel

$$B = \frac{a_3}{L}$$

mit  $a_3 = 77,5 \text{ mT} \cdot \text{cm}$  überein.

Gemäß (V) berechnet man für  $I = 20 \text{ A}$  und  $N = 30$  den Wert  $a_3 = 75,4 \text{ mT cm}$ .

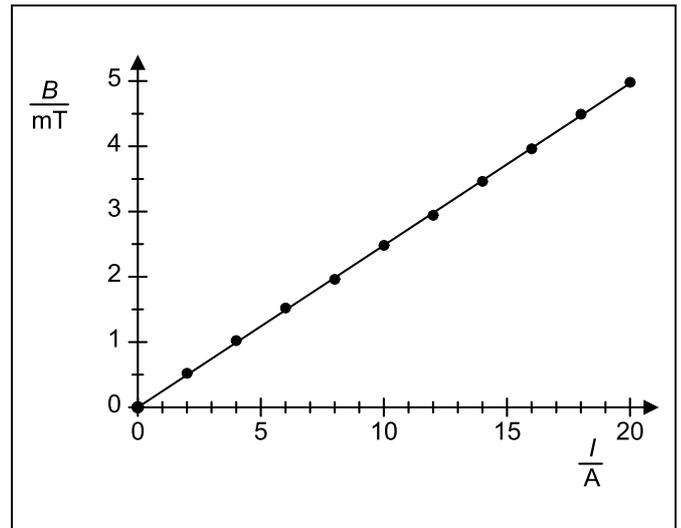


Fig. 3 Magnetfeld  $B$  im Zentrum der Luftspule in Abhängigkeit von der Stromstärke  $I$

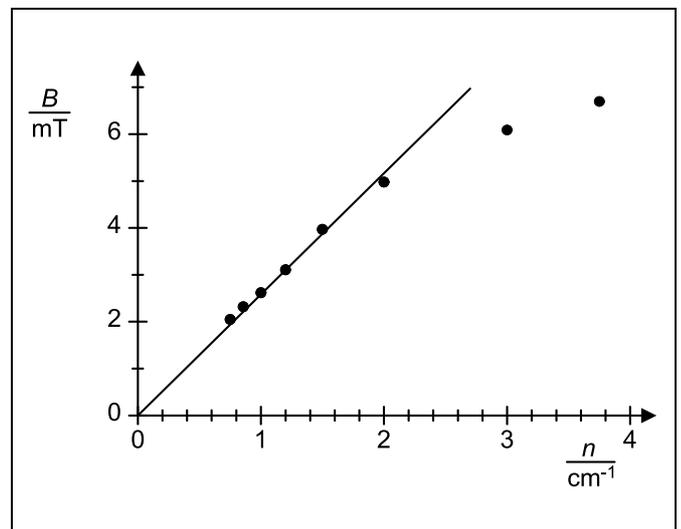


Fig. 4 Magnetfeld  $B$  im Zentrum der Luftspule in Abhängigkeit von der Windungsdichte  $n$

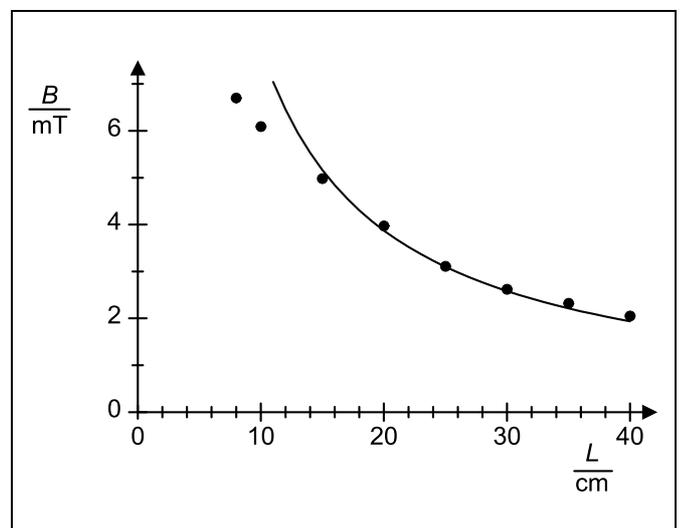


Fig. 5 Magnetfeld  $B$  im Zentrum der Luftspule in Abhängigkeit von deren Länge  $L$  bei fester Windungszahl  $N$

