Magnetfeld einer Zylinderspule

BESTIMMUNG DES MAGNETFELDES VON ZYLINDERSPULEN UNTERSCHIEDLICHER LÄNGE.

- Bestimmung der magnetischen Flussdichte *B* in einer Zylinderspule in Abhängigkeit von der Stromstärke *I*.
- Messung der magnetischen Flussdichte *B* in einer Zylinderspule mit veränderlicher Windungsdichte in Abhängigkeit von der Stromstärke *I*.
- Bestätigung der Proportionalität zur Windungsdichte für große Längen.

UE3030500

10/15 UD

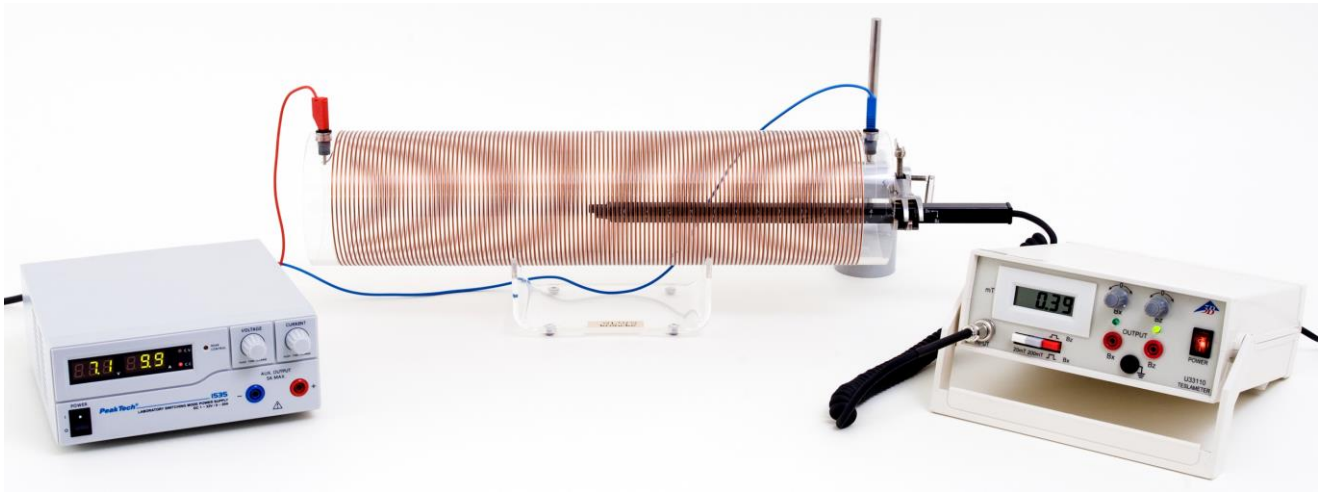

Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Das Biot-Savart-Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte *B* und dem elektrischen Strom *I* durch einen Leiter beliebiger Geometrie. Berechnet werden die Beiträge infinitesimal kleiner Stücke des Leiters zur gesamten magnetischen Flussdichte. Das gesamte Feld berechnet man durch Integration über die Geometrie des Leiters. In einigen Fällen, z.B. bei einer langen Zylinderspule, lässt sich eine einfache analytische Lösung angeben.

Ein infinitesimales, von einem Strom *I* durchflossenes Leiterstück d***s*** erzeugt nach Biot-Savart am Ort ***r*** die magnetische Flussdichte

$$(1) \quad \mathrm{d}B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{\mathrm{d}s \times r}{r^3} .$$

B: magnetische Flussdichte

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{Am}}$: Vakuumpermeabilität

Im Inneren der Zylinderspule ist die magnetische Flussdichte parallel zur Zylinderachse ausgerichtet und beträgt

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I .$$

N: Windungszahl, *L*: Länge der Spule

solange die Länge der Spule wesentlich größer als ihr Radius ist. Die magnetische Flussdichte ist also unabhängig vom Spulendurchmesser und proportional zur Windungsdichte, der Zahl der Windungen pro Längeneinheit, und zum Strom durch die Spule.

Im Experiment wird mit einem axialen Teslameter die magnetische Flussdichte in der Spulenmitte langer Spulen bei Strömen bis zu 20 A gemessen. Nachgewiesen werden die Unabhängigkeit vom Spulendurchmesser sowie die Proportionalität zum Strom und zur Windungsdichte. Für Letzteres steht eine Spule mit variabler Windungsdichte zur Verfügung.

GERÄTELISTE

1	Feldspule, 100 mm	U12252	1000591
1	Feldspule, 120 mm	U12253	1000592
1	Spule veränderlicher Windungsdichte	U8496175	1000965
1	Ständer für Zylinderspulen	U8496150	1000964
1	Teslameter	U33110	1003313/4
1	DC-Netzgerät 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Satz 15 Experimentierkabel 2,5 mm²	U13801	1002841
1	Tonnenfuß, 1000 g	U13265	1002834
1	Stativstange, 250 mm	U15001	1002933
1	Universalmuffe	U13255	1002830
1	Universalklemme	U13261	1002833

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Hinweis:
Das Experiment wird beispielhaft für die Feldspule 100 mm (Durchmesser *D* = 10 cm) durchgeführt.

- Messanordnung gemäß Fig. 1 aufbauen.
- Feldspule mit *D* = 10 cm an den rückseitigen Ausgang 0 – 20 A des DC-Netzgeräts anschließen. Das DC-Netzgerät noch nicht einschalten.
- Magnetfeldsonde mit Hilfe des Stativmaterials so positionieren, dass sich die axiale Hallsonde (Fig. 2) genau im Zentrum der Spule befindet.

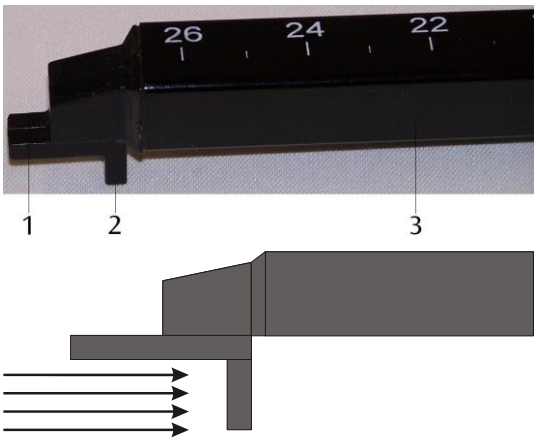

Fig. 2: Oben: Magnetfeldsonde, 1 tangentiale Hallsonde (z-Richtung), 2 axiale Hallsonde (x-Richtung), 3 Sondenträger. Unten: Messung axialer Magnetfelder.

Mit der axialen Hallsonde wird die Komponente der magnetischen Induktion *B* entlang der Sondenachse gemessen. Zeigt das *B*-Feld in Richtung der Sondenachse (Fig. 2 unten), ist der angezeigte Wert positiv, bei umgekehrter Orientierung negativ.

- Magnetfeldsonde an die Anschlussbuchse für Magnetfeldsonde des Teslameters anschließen (Fig. 3).

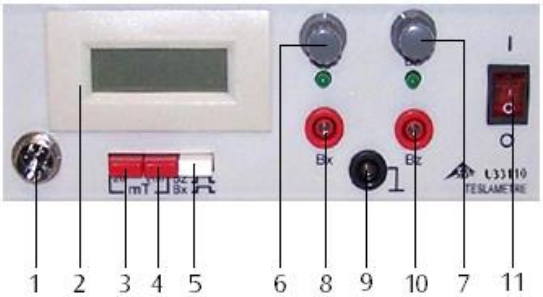

Fig. 3: Bedienelemente des Teslameters:

1 Anschlussbuchse für Magnetfeldsonde
2 Digitalanzeige
3 Messbereichswahlschalter 20 mT
4 Messbereichswahlschalter 200 mT
5 Messmoduswahlschalter axial (B_X) und tangential (B_Z)
6 Nullpunktsteller B_X mit LED Betriebsanzeige
7 Nullpunktsteller B_Z mit LED Betriebsanzeige
8 Ausgangsbuchse für Messmodus B_X
9 Massebuchse
10 Ausgangsbuchse für Messmodus B_Z
11 Ein-/Ausschalter

- Teslameter einschalten, Messbereich 20 mT wählen und den Messmoduswahlschalter auf axial (B_X) einstellen.
- Nullpunktabgleich durchführen. Dazu den Nullpunktsteller B_X so lange drehen, bis Null oder ein möglichst kleiner Wert im Anzeigefeld erscheint.
- DC-Netzgerät einschalten, Strom in 1 A – Schritten von 0 auf 20 A erhöhen, bei jedem Schritt die magnetische Flussdichte B_X ablesen und zusammen mit der eingestellten Stromstärke *I* in Tab. 1 notieren.

Sicherheitshinweis:
- Ströme 10 A < *I* ≤ 20 A nur kurzzeitig anlegen!
- Feldspule mit *D* = 10 cm durch die Spule veränderlicher Windungsdichte (Fig. 4) ersetzen.
- Spulenlängen *L* = 7, 12, 17, 22, 27 und 32 cm symmetrisch zur Spulenmitte einstellen und die oben beschriebene Messreihe für jede Spulenlänge wiederholen. Alle Werte in Tab. 2 eintragen.

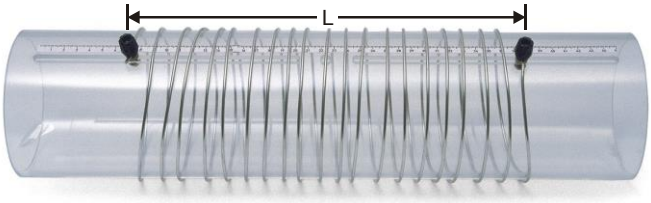

Fig. 4: Spule veränderlicher Windungsdichte.

Hinweis:
Die Spule kann optional jeweils an ihren Enden auf zwei Ständern 1000964 gelagert werden. Dadurch braucht sie bei der Einstellung der unterschiedlichen Längen nicht jedes Mal vom Ständer genommen und die Magnetfeldsonde nicht jedes Mal neu positioniert werden.

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit des Stroms *I* durch die Feldspule mit *D* = 10 cm.

I / A	*B* / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit des Stroms *I* für verschiedene Spulenlängen *L*.

I / A	*B* / mT					
	L = 7 cm	*L* = 12 cm	*L* = 17 cm	*L* = 22 cm	*L* = 27 cm	*L* = 32 cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

AUSWERTUNG

- Die Messwerte aus Tab. 1 in einem *B*(*I*) – Diagramm darstellen (Fig. 5).

Die gemäß Formel (2) erwartete Proportionalität der magnetischen Flussdichte *B* zum Strom *I* durch die Spule wird bestätigt.

Hinweis:
Durch eine entsprechende Messung mit der Feldspule 120 mm (*D* = 12 cm) kann gezeigt werden, dass die Proportionalität der magnetischen Flussdichte *B* zum Strom *I* durch die Spule unabhängig vom Spulendurchmesser ist.

- Die Messwerte aus Tab. 2 mit den unterschiedlichen Spulenlängen *L* als Parameter in einem *B*(*I*) – Diagramm darstellen (Fig. 6).

Die gemäß Formel (2) erwartete Proportionalität der magnetischen Flussdichte *B* zum Strom *I* durch die Spule wird für alle Spulenlängen bestätigt.

Die Geradensteigungen nehmen auf Grund der umgekehrten Proportionalität der magnetischen Flussdichte *B* zur Spulenlänge *L* mit zunehmender Spulenlänge ab.

- Aus den unterschiedlichen Längen *L* und der Windungszahl *N* = 30 der Spule mit veränderlicher Windungszahl die Windungsdichte *N*/*L* berechnen und die Werte in Tab. 3 eintragen.
- Magnetische Flussdichte *B* bei *I* = 20 A für die berechneten Windungsdichten aus Tab. 2 übernehmen und in Tab. 3 eintragen.
- Die Messwerte aus Tab. 3 in einem *B*(*N*/*L*) – Diagramm darstellen (Fig. 7).
- Die Proportionalität zur Windungsdichte bestätigt sich solange die Länge der Spule größer als das Dreifache des Spulenradius ist. Der Durchmesser der Spule mit veränderlicher Windungsdichte beträgt *D* = 10 cm.

Tab. 3: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit von der Windungsdichte *N*/*L* bei *I* = 20 A. Windungszahl *N* = 30.

L / cm	*N*/*L* / 1/cm	*B* / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

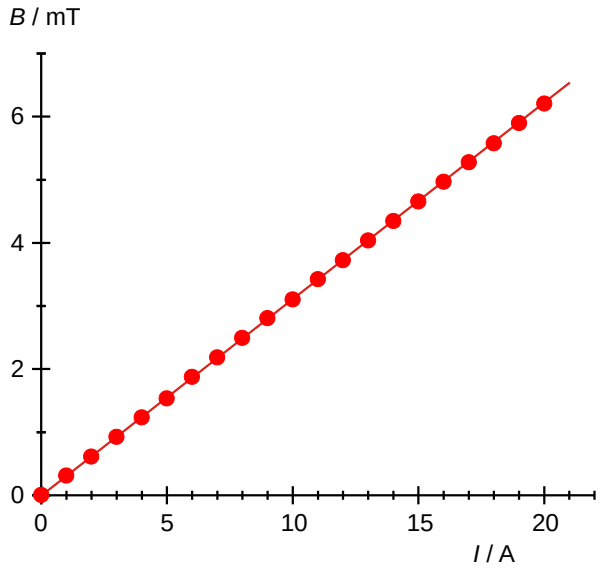

Fig. 5: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit des Stroms *I* durch die Feldspule mit *D* = 10 cm.

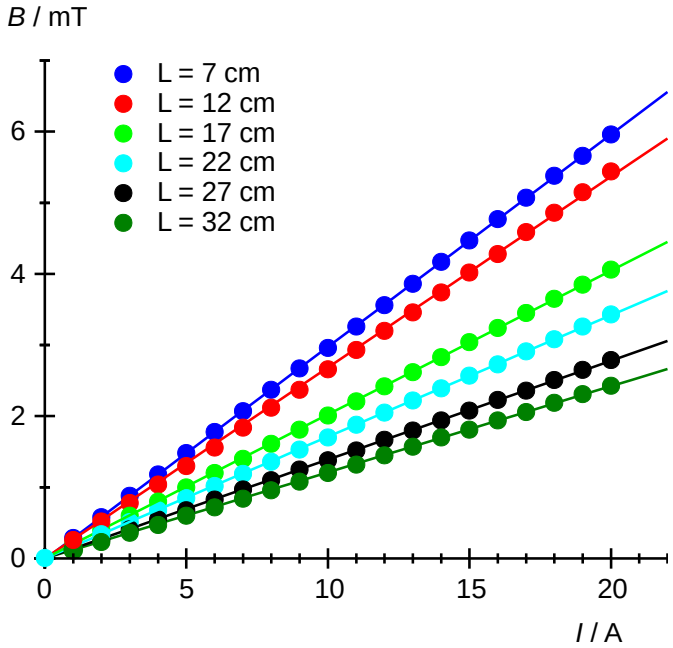

Fig. 6: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit vom Strom *I* durch die Spule mit veränderlicher Windungsdichte für verschiedene Spulenlängen *L*.

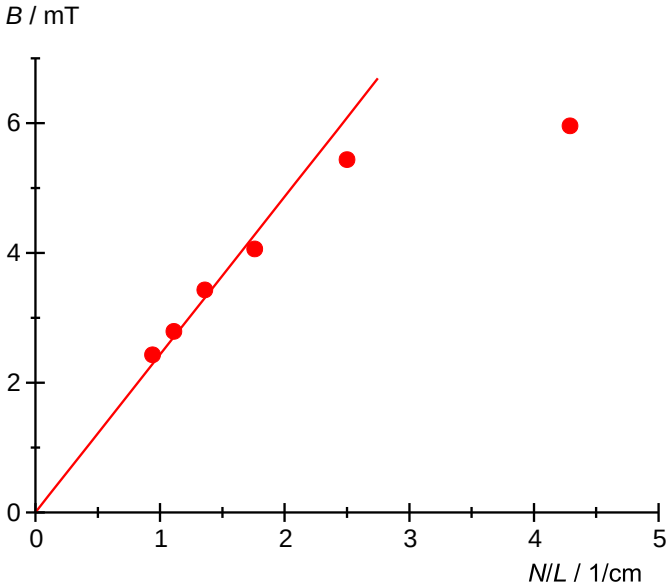

Fig. 7: Magnetische Flussdichte *B* in Abhängigkeit von der Windungsdichte *N*/*L* bei *I* = 20 A.

© Copyright 2015 3B Scientific GmbH