

Magnetfeld außerhalb eines geraden Leiters

(Artikelnr.: P2430500)

Curriculare Themenzuordnung



Schwierigkeitsgrad



Schwer

Vorbereitungszeit



10 Minuten

Durchführungszeit



10 Minuten

empfohlene Gruppengröße



2 Schüler/Studenten

Zusätzlich wird benötigt:

Versuchsvarianten:

Schlagwörter:

Maxwellsche Gleichungen, magnetischer Fluss, Induktion, Superposition von Magnetfeldern

Einführung

Einleitung

Ein Strom, der durch einen bzw. zwei benachbarte gerade Leiter fließt, erzeugt um diese ein Magnetfeld. Die Abhängigkeiten dieser Magnetfelder vom Abstand zum Leiter und von der Stromstärke werden bestimmt.



Abb. 1: Experimenteller Aufbau zur Bestimmung des Magnetfeldes im Außenraum gerader Leiter.

Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Stromleiter, Satz von 4 Stück	06400-00	1
2	Spule, 6 Windungen (sekundär)	06510-00	1
3	Spule, 140 Windungen	06526-01	1
4	Spannvorrichtung	06506-00	1
5	Eisenkern, stabf., kurz, geblättert	06500-00	1
6	Eisenkern, U-förmig, geblättert	06501-00	1
7	PHYWE Stelltrafo mit Gleichrichter, RiSU 2016 konform DC: 12 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13540-93	1
8	Teslameter, digital	13610-93	1
9	Hall-Sonde, axial	13610-01	1
10	Stromwandler/Zangenadapter	07091-10	1
11	Digitalmultimeter 2005	07129-00	1
12	Maßstab, l = 1000 mm	03001-00	1
13	Tonnenfuß PHYWE	02006-55	1
14	Stativstange Edelstahl 18/8, l = 500 mm, d = 10 mm	02032-00	1
15	Doppelmuffe PHYWE	02040-55	1
16	Schraubzwinge	02014-00	2
17	Verbindungsleitung, 32 A, 500 mm, gelb	07361-02	2

Aufgaben

Bestimmung des Magnetfeldes

1. eines geraden Leiters als Funktion der Stromstärke,
2. eines geraden Leiters als Funktion des Abstandes vom Leiter,
3. zweier paralleler Leiter, in denen der Strom in gleicher Richtung fließt, als Funktion des Abstandes von einem Leiter auf der Verbindungsgeraden der beiden Leiter.
4. zweier paralleler Leiter, in denen der Strom in entgegengesetzter Richtung fließt, als Funktion des Abstandes von einem Leiter auf der Verbindungsgeraden der beiden Leiter.

Loading [Contrib]/a11y/accessibility-menu.js

Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau erfolgt gemäß Abb. 1. Zur Messung der Sekundärstromstärke (20 A...120 A) dient der Stromwandler. Da Primär- und Sekundärstrom linear zusammenhängen, kann auch der Primärstrom gemessen werden. Jedoch sollte dann für jeden Leiter eine Eichkurve Primär-Sekundärstrom aufgenommen werden. Aufgrund der Leitererwärmung muss der Strom nachgeregelt oder eine „Einlaufzeit“ abgewartet werden. Zwischen Aufbautransformator und Magnetfeldmessgerät kann eine Phasenverschiebung auftreten, die ein „negatives“ Magnetfeld vorspiegelt (Minimum des Magnetfeld-Anzeigeelements bei zunehmender Stromstärke). Dies kann durch primärseitiges Umpolen des Aufbautransformators behoben werden. Kurzzeitige höhere Sekundärströme sind durch Serienschaltung der Fest- und Regelspannung am Stromversorgungsgerät zu erreichen. Auf die richtige Phasenlage ist dabei zu achten.

Theorie und Auswertung

Die 1. Maxwellsche Gleichung für den Fall der Abwesenheit von zeitlich variablen elektrischen Feldern \vec{E} ,

$$\int_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

liefert zusammen mit der 4. Maxwell'schen Gleichung

$$\int_A' \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2)$$

den Zusammenhang zwischen dem durch die Fläche A fließenden stationären elektrischen Strom I ,

$$I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

und dem dadurch erzeugten Magnetfeld \vec{B}

C ist der Rand von A .

A' ist eine beliebige geschlossene Fläche.

\vec{j} ist die elektrische Stromdichte.

μ_0 ist die magnetische Feldkonstante, $\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$.

Aus (1) und (2) ergibt sich für einen langen geraden Leiter

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{|\vec{r}|} \quad (3)$$

wenn \vec{r} der Abstand des Leiters von dem Punkt ist, in dem das Magnetfeld gemessen wird.

Die Richtung von \vec{B} ist \perp sowohl zu \vec{r} als auch zu \vec{j} .

Für einen endlichen Leiter ergibt sich mit den Bezeichnungen von Abb. 2:

$$d\vec{B} = \frac{1}{4\pi} \mu_0 \frac{I}{r^3} d\vec{l} \times \vec{r} \quad (\text{Biot-Savart})$$

und daraus

$$|\vec{B}| = \frac{\mu I}{4\pi r} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2)$$

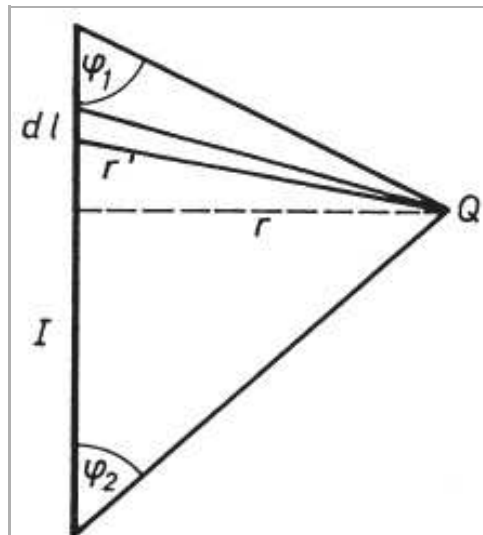


Abb. 2: Beitrag eines Leiterstücks dl zum Magnetfeld im Punkt Q .

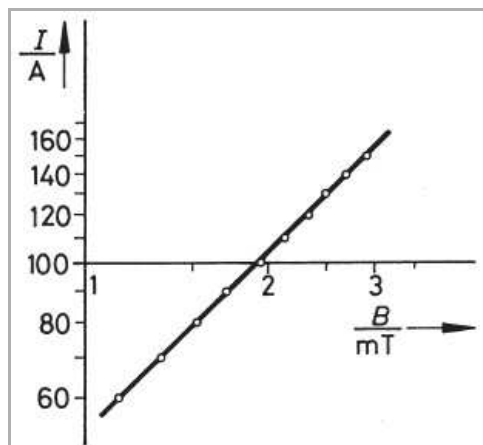


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Stromstärke und Magnetfeld eines langen Leiters (Abstand zwischen Leiter und Messpunkt: 1,1 cm).

Aus der Regressionsgeraden zu den Messwerten der Abb. 3 mit dem Potenzansatz

$$Y = A \cdot X^B$$

ergibt sich der Exponent

$$B = 0.97 \pm 0.01$$

(siehe (3))

und die Steigung

$$A = 52.91 \pm 0.01 \text{ A/mT}$$

mit (3) ergibt sich daraus

$$\mu_0 = 1.3 \cdot 10^{-6}$$

Wegen des gerätebedingten kleinen Nullausschlags sowie des Einflusses des anderen Leiters und des Aufbau-Transformators ist es zweckmäßig, die Messungen bei kleinen Abständen (bis ca. 3 cm) sowie großen Strömen (ca. 100 A) durchzuführen.

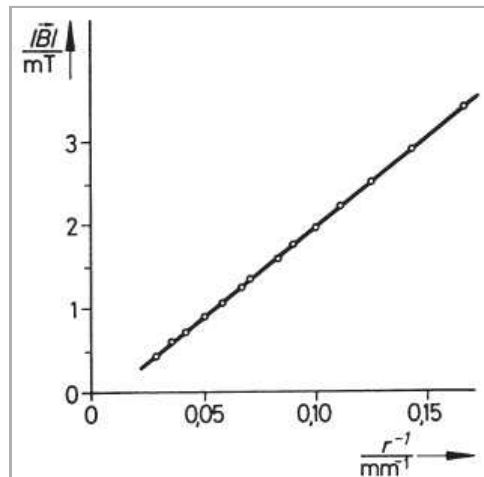


Abb. 4: Magnetfeld eines langen Leiters als Funktion des Abstandes ($I = 100 \text{ A}$).

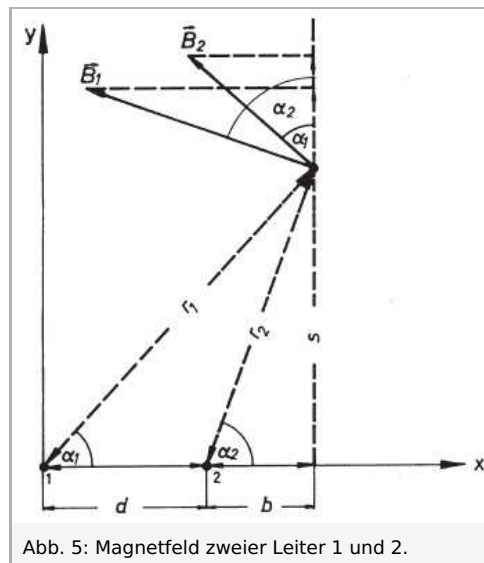


Abb. 5: Magnetfeld zweier Leiter 1 und 2.

Für den Fall zweier paralleler Leiter in z-Richtung, die beide von der gleichen Stromstärke I in gleicher ($p = 1$) bzw. entgegengesetzter Richtung ($p = -1$) durchflossen werden, ergibt die Superposition der Magnetfelder die Komponenten B_x und B_y des Magnetfeldes im Punkt Q mit den Bezeichnungen von Abb. 5.

$$B_x = |\vec{B}_1| \sin \alpha_1 + p \cdot |\vec{B}_2| \sin \alpha_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot s} \cdot (\sin^2 \alpha_1 + p \cdot \sin^2 \alpha_2)$$

$$B_y = |\vec{B}_1| \cos \alpha_1 + p \cdot |\vec{B}_2| \cos \alpha_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{b+d} \cos^2 \alpha_1 + p \cdot \frac{1}{b} \cdot \cos^2 \alpha_2 \right)$$

Für Q auf der x-Achse ergibt sich ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$)

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{b+d} + \frac{p}{b} \right)$$

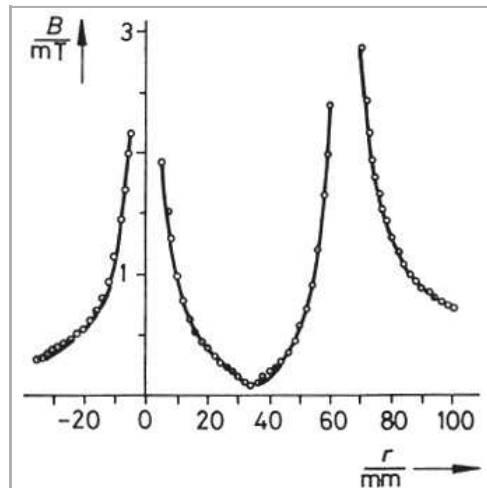


Abb. 6: Magnetfeldkomponente B_x zweier paralleler Leiter auf der x-Achse als Funktion des Abstandes von einem Leiter, wenn der Strom in beiden Leitern gleiche Richtung hat.

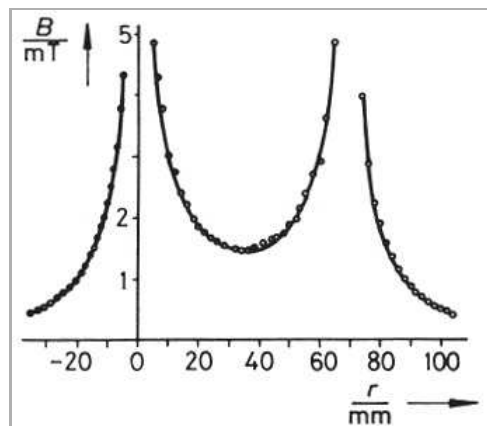


Abb. 7: Magnetfeldkomponente B_y zweier paralleler Leiter auf der x-Achse als Funktion des Abstandes von einem Leiter, wenn der Strom in beiden Leitern entgegengesetzte Richtung hat ($I = 107\text{ A}$).

Die Spitze im Minimum des Magnetfeldes rührt von der Spiegelung des negativen Magnetfeldes zu positiven Werten her, da das Messgerät nur den Absolutbetrag des Magnetfeldes anzeigt. Die verschiedenen Werte des Magnetfeldes bei $r = -5\text{ mm}$ und $r = +5\text{ mm}$ ergeben sich wegen der konstruktiven bzw. destruktiven Superposition der Magnetfelder von Leiter 1 und 2. Die Erhöhung des Feldes am Leiter 2 gegenüber dem Leiter 1 bei $r = 65\text{ mm}$ gegenüber $r = 5\text{ mm}$ ergibt sich aus der höheren Stromdichte in Leiter 2, die aus dem Widerstand des Verbindungsstückes zwischen Leiter 1 und 2 folgt. Jenseits von Leiter 2 ($r = 75\text{ mm}$) macht sich schließlich der Einfluss von Leiter 3 bemerkbar, der parallel zu Leiter 1 und 2 ist, in dem aber der Strom entgegengesetzt zu dem in Leiter 1 und 2 fließt und damit das Magnetfeld von 1 und 2 in diesem Gebiet verstärkt. Die Verstärkung der Felder ist im Raum zwischen den beiden Leitern deutlich zu erkennen, verglichen mit der Schwächung im Gebiet jenseits beider Felder.

Loading [Contrib]/a11y/accessibility-menu.js