

► Das Magnetfeld einer Spule / Bestimmung der magnetischen Feldkonstante

Ralph Schimmack, Mirco Tewes

Vorbemerkung

Wie schon in den TI Nachrichten 1/09 wird hier ein weiteres Beispiel aus der neuen Sammlung physikalischer Experimente der Arbeitsgruppe Physik innerhalb von T³ Deutschland vorgestellt. Die erweiterbare Sammlung der wichtigsten Experimente aus der Sek. II soll einen Technologieeinsatz (Datenerfassungssystem, z.B. CBL 2™ mit GTR oder CAS-Rechnern, z.B. TI-Nspire™ oder Voyage™ 200) unterstützen, der insbesondere Schüler- anstelle von Demonstrationsexperimenten und die Überwindung mathematischer Schwierigkeiten zugunsten der Behandlung physikalischer Inhalte ermöglicht. Neben den Erläuterungen zum Versuch (Lehrermaterial) enthält dieser Beitrag auch wieder als Kopiervorlage ein Schülerarbeitsblatt mit Lösungshinweisen.

Versuchsbeispiel (Lehrermaterial)

In diesem Experiment wird der proportionale Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte im Innern einer langen, von Strom durchflossenen Spule und der Stromstärke nachgewiesen. Außerdem wird der Zahlenwert der magnetischen Feldkonstante experimentell bestimmt.

Die Bestimmung solcher Naturkonstanten spielt im Unterricht eine wichtige Rolle. Die magnetische Feldkonstante ist eine universelle Naturkonstante, die bisher häufig nur im Lehrerdemonstrationsexperiment ermittelt wurde. Ähnliches galt für den Nachweis der Zusammenhänge zwischen der magnetischen Flussdichte im Innern einer Spule und der Windungszahl, der Stromstärke bzw. der Länge. Dies lag vor allem daran, dass die Schülerinnen und Schüler nicht über die erforderliche Messtechnik verfügten. Mit dem Magnetic Field Sensor steht nun eine Schülerhallsonde zur Verfügung, welche auch bei weiteren Schülerversuchen (z.B. Induktion) verwendet werden kann.

Versuchsaufbau

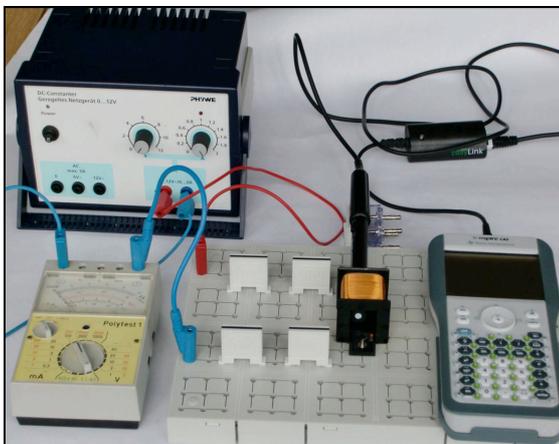


Abb. 1: Versuch mit TI-Nspire™

Geräte

- Spule mit 1000 Windungen aus Schülerexperimentiersatz

- Taschencomputer (hier: TI-Nspire™ mit Vernier Easy-Link®)
- Hallsonde (z.B. Magnetic Field Sensor, MG-BTA)
- Amperemeter (Drehspulmessgerät)
- Kleinspannungs-Netzteil

Versuchsdurchführung (Lehrermaterial)

Zunächst wird ein einfacher Stromkreis mit der Spule und dem Amperemeter aufgebaut und der Sensor der Hallsonde im Spuleninnern positioniert. Die Spannung am Netzgerät wird schrittweise erhöht. Dabei werden Stromstärke und magnetische Flussdichte gemessen. Vorbereitung: 5 min, Durchführung: 25 min (mit Auswertung)

Einstellungen

- Messmodus: EVENTS WITH ENTRY (Ereignisse mit Eintrag)
- Abstand zweier Messungen: z.B. 20 mA
- Hallsonde: Messbereich 6,4 mT, im Spuleninnern Nullpunkt einstellen

Hinweise

Dieser Versuch verbindet Messungen mit analogen Messgeräten und digitalen Messwerterfassungs- und Auswertungssystemen. Er eignet sich daher als Einstiegsversuch zu dieser Thematik, da auch der Versuchsaufbau sehr einfach und übersichtlich gehalten ist. Bei Verwendung des Voyage™ 200 mit CBL 2™ kann zur gleichzeitigen Messung von Flussdichte und Stromstärke anstelle des Amperemeters auch ein Stromsensor (z.B. Current Probe, DCP-BTA) verwendet werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Stromstärke 600 mA nicht überschritten werden darf. Alternativ zum Stromsensor lässt sich die Stromstärke auch indirekt über den Spannungsabfall an einem geeigneten Widerstand mithilfe des Spannungssensors (z.B. Voltage Probe, VP-BTA) bestimmen.

Tipps und Tricks

- 1) Die Sonde sollte möglichst axial in der Spule positioniert werden (siehe Abbildung zum Versuchsaufbau).
- 2) Bei der Verwendung von Magnetfeldsonden älterer Bauart (erkennbar an dem angeschlossenen Verstärker) muss beachtet werden, dass die Hallsonde hier seitlich angeordnet ist. Dies hat zur Folge, dass diese Sonden vor der Spule positioniert werden müssen (siehe folgende Abb.)



Abb. 2: Hallsonde, alte Bauart



Abb. 3: Position dieser Hallsonde

Schülerarbeitsblatt / Kopiervorlage

► Das Magnetfeld einer Spule und Bestimmung der magnetischen Feldkonstante

Geräte

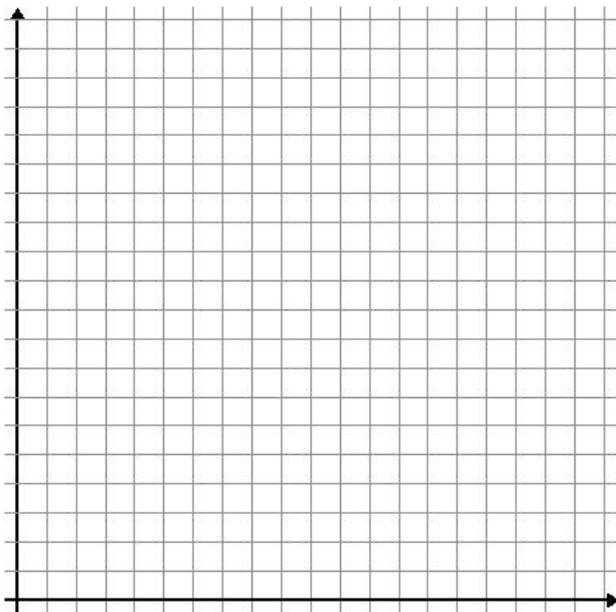
- Spule mit 1000 Windungen aus Schülerexperimentiersatz
- Taschencomputer (hier: TI-Nspire™ mit Vernier EasyLink®)
- Hallsonde (z.B. Magnetic Field Sensor, MG-BTA)
- Amperemeter (Drehspulmessgerät)
- Kleinspannungs-Netzteil

Einstellungen

- Messmodus: EVENTS WITH ENTRY (Ereignisse mit Eintrag)
- Abstand zweier Messungen: z.B. 20 mA
- Hallsonde: Messbereich 6,4 mT, im Spulennern Nullpunkt einstellen

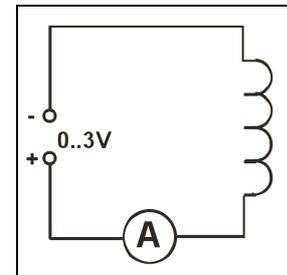
Versuchsdurchführung

- 1) Bauen Sie die Schaltung dem Schaltplan entsprechend auf. Positionieren Sie die Hallsonde axial in der Spule. Verbinden Sie die Hallsonde mit dem Taschencomputer.
- 2) Stellen Sie die Messwerterfassung entsprechend der obigen Vorgaben ein. Beachten Sie dabei, dass die Hallsonde auf Null gesetzt werden muss, wenn sie sich bereits in der Spule befindet, aber noch keine Spannung angelegt ist.
- 3) Starten Sie die Messwerterfassung. Schalten Sie das Stromversorgungsgerät ein. Erhöhen Sie die Spannung, sodass die Stromstärke in Schritten von 20 mA von 0 bis 100 mA ansteigt. Messen Sie für jeden Stromstärkewert die entsprechende magnetische Flussdichte.
- 4) Skizzieren Sie das B - I -Diagramm. Welcher Zusammenhang zwischen beiden Größen lässt sich daraus ableiten? Begründen Sie.

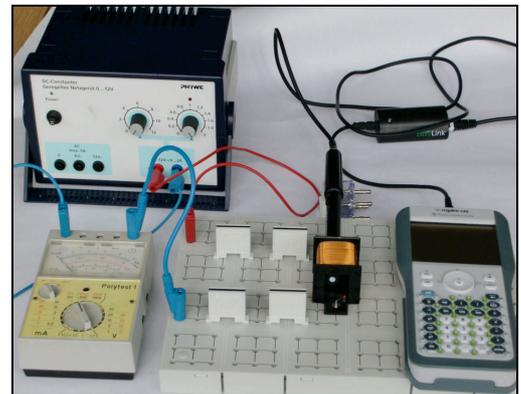


Versuchsaufbau

Schaltplan



Versuch mit TI-Nspire™



Auswertung des Versuchs

Schlussfolgerung:

- 5) Verlassen Sie das Messwerterfassungsprogramm und übernehmen Sie die Messwerte in die Tabellenkalkulation Ihres Taschencomputers.
Berechnen Sie mithilfe der einzelnen Messwertepaare in der Tabellenkalkulation den Wert für die magnetische Feldkonstante μ_0 . Stellen Sie dazu die Gleichung für die Flussdichte im Innern einer Spule entsprechend um.
- 6) Berechnen Sie den Mittelwert für die magnetische Feldkonstante aus Ihren Werten und vergleichen Sie diesen mit dem Literaturwert.
- 7) Berechnen Sie die prozentuale Abweichung Ihres Wertes vom Literaturwert des Tafelwerks.

Bestimmungsgleichung für μ_0 :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I \cdot n}{l} \Leftrightarrow$$

Mittelwert:

Literaturwert:

prozentuale Abweichung vom Literaturwert:

Lösungen und Hinweise zum Schülerarbeitsblatt (Lehrermaterial)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse einer Beispielmessung für eine Spule mit $n = 1000$ Wdg., $l = 0,036$ m (Leybold - Schülerexperimentiersatz):

1.1	1.2	BOG AUTO REELL	
A	B	C	D
dc01.e...	dc01....	μ_0	
dc01.event		=b[]/1000*	
1	0.020	0.752	1.353E-6
2	0.040	1.507	1.357E-6
3	0.060	2.230	1.338E-6
4	0.080	2.973	1.338E-6
5	0.100	3.729	1.342E-6

Abb. 4: Messtabelle

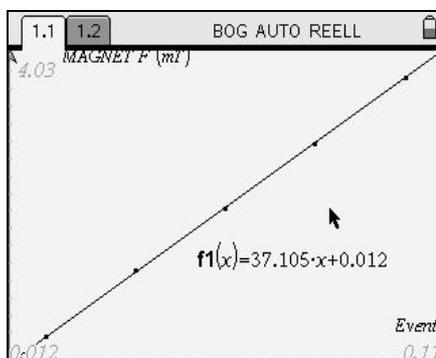


Abb. 5: B-I-Diagramm

zu 4): Die magnetische Flussdichte im Innern einer langen, mit Luft gefüllten Spule verhält sich proportional zur Stromstärke. Im Diagramm ergibt sich eine Ursprungsgerade.

zu 5): Es ist zu beachten, dass B in mT gemessen wird.

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I \cdot n}{l} \Leftrightarrow \mu_0 = \frac{B \cdot l}{\mu_r \cdot I \cdot n}$$

zu 6): Mittelwert aus der Messung (i) und Literaturwert (ii):

$$(i) \bar{\mu}_0 = 1,35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}, \quad (ii) \mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

zu 7): prozentuale Abweichung vom Literaturwert: $\approx 7,1\%$

Fazit zur Auswertung

Der proportionale Zusammenhang zwischen der Flussdichte und der Stromstärke ist im Diagramm deutlich erkennbar (auch ohne Auffinden einer Ausgleichsgeraden). Die Bestimmung der magnetischen Feldkonstanten über

$$\mu_0 = \frac{B \cdot l}{\mu_r \cdot I \cdot n}$$

liefert gute Ergebnisse, hier mit einer Abweichung unter 10% gegenüber dem Tabellenwert.

Kontakt

Ralph Schimmack
Oberstufenzentrum Wirtschaft u. Sozialversicherung Berlin
ralphschimmack@web.de

Mirco Tewes, Bernau
Primo-Levi-Schule (Gymnasium) Berlin
postmaster@mrtewes.de