

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 2
Gruppe 2 - Elektrik

2.4 Erdinduktor mit Helmholtzspule

***Stichwörter:** Faradaysches Induktionsgesetz, magnetischer Fluss, induzierte Spannung, Spule, Helmholtzspule, Galvanometer, Erdmagnetfeld, Induktor, Primär- und Sekundärwicklung.*

***Hinweis:** zu diesem Versuch wird kein Laborbericht verlangt. Daher wird eine sehr gute Vorbereitung erwartet. Lesen Sie mindestens die am Ende angegebene Literatur gut durch, und recherchieren Sie in anderen Quellen (z.B. andere Aufbauten, Erwartungswerte, usw.) vor den Versuchstag.*

1 Einführung

Zur Messung von Magnetfeldern gibt es mehrere Möglichkeiten, die auf der Nutzung unterschiedlicher physikalischer Effekte und Gesetzmäßigkeiten beruhen:

- Messung der Kraftwirkung auf stromführende Leiter,
- Messung der in einer Leiterschleife induzierten Spannung,
- Messung auf der Basis galvanomagnetischer Effekte (z.B. Hallsonde, siehe auch Vers. 2.5) und
- Messung auf der Basis von Quanteneffekten (z.B. Kernspinresonanz).

Die in diesem Versuch verwendete Methode zur Messung des Erdmagnetfeldes ist der zweiten Gruppe zuzuordnen.

An den Enden einer Drahtschleife, die sich in einem sich ändernden Magnetfeld befindet, wird nach Faraday eine Spannung induziert:

$$U_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Φ ist der magnetische Fluss. Er berechnet sich aus der magnetischen Induktion B und der von der Drahtschleife umschlossenen Fläche A . In der Vektorschreibweise lautet dieser Zusammenhang

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

Der Flächenvektor zeigt dabei in Richtung der Flächennormalen. Die Messung des magnetischen Flusses soll mit einem Induktor, bestehend aus einer Spule und einem ballistischen Galvanometer, vorgenommen werden. Der maximale Ausschlag α eines Galvanometers ist proportional der Ladungsmenge Q , die den Ausschlag verursacht. In dem Ersatzschaltbild (Abb. 1) sind R_{sp} der Widerstand der Spule und R_G der Widerstand des Galvanometers. Man erhält dann den Zusammenhang

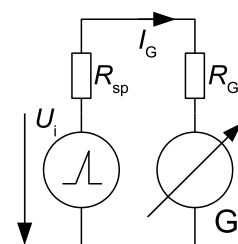


Abbildung 1: Ersatzschaltbild
des Induktors mit Spule und Galvanometer.

$$\alpha Q = \int_{t_1}^{t_2} I_G dt = \frac{1}{R_{sp} + R_G} \int_{t_1}^{t_2} U_i dt \quad (3)$$

Ändert sich nun der magnetische Fluss Φ nur in einem kleinen Zeitabschnitt zwischen t_1 und t_2 , so ergibt sich bei einer Spule mit n Windungen aus Gl. (1) und (3)

$$\alpha = K \frac{n}{R_{sp} + R_G} \int_{t_1}^{t_2} U_i dt = K \frac{n}{R_{sp} + R_G} \cdot (\Phi(t_1) - \Phi(t_2)) \quad (4)$$

Der maximale Ausschlag ist also dem magnetischen Fluss proportional, wobei die Apparatekonstante K die ballistische Stromempfindlichkeit des Galvanometers beschreibt. Eine Änderung des magnetischen Flusses kann man z.B. dadurch erreichen, dass die Messspule sehr schnell um 180° geschwenkt wird. Dann ist

$$\Phi(t_1) = -\Phi(t_2) \quad (5)$$

2 Vorbereitungsaufgaben

Vor dem Versuchstag, lesen Sie die angegebene Bibliographie und suchen Sie auch eigenständig andere zusätzliche Quellen um die Vorbereitungsfragen zu beantworten.

1. Erklären Sie das faradaysche Induktionsgesetz. Nennen Sie Beispiele, wo dieses Gesetz zur Anwendung gebracht wird.
2. Erklären Sie die Funktionsweise eines Galvanometers
3. Wie groß sind die Magnetfeldkomponenten des Erdmagnetfeldes in Kiel?

3 Kalibrierungen des Galvanometers

Zur Kalibrierung, d.h. zur Bestimmung der Apparatekonstanten K , wird durch eine lange zylindrische Spule mit einer Querschnittsfläche A_1 , einer Länge l_1 und einer Windungszahl n_1 ein definiertes Magnetfeld erzeugt. Auf dieser Spule ist eine kleinere Sekundärspule mit n_2 Windungen aufgebracht. An sie wird das Galvanometer angeschlossen. Die Flussänderung wird durch Ein- und Ausschalten des Stroms I durch die Primärspule bewirkt. In Gl. (4) ist Φ also entweder zur Zeit t_1 oder zur Zeit t_2 null. Für den magnetischen Fluss im Inneren der Spule erhält man mit Gl. (2)

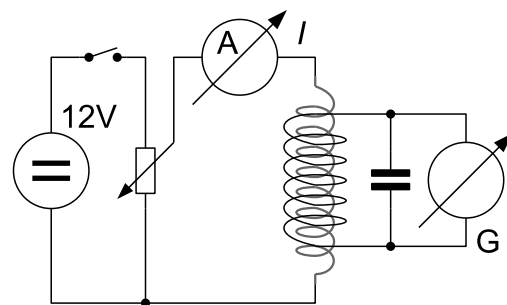


Abbildung 2: Versuchsaufbau

$$\Phi = \mu_0 \frac{n_1}{l_1} A_1 I \quad (6)$$

Mit dem Widerstand R_2 der Sekundärspule ergibt sich dann für den maximalen Ausschlag des Galvanometers

$$\alpha = K \cdot \frac{n_2}{R_2 + R_G} \cdot \mu_0 \frac{n_1}{l_1} A_1 I \quad (7)$$

Aufgaben:

1. Bauen Sie die Apparatur nach Abb. 2 auf. Der Kondensator dient zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens des Galvanometers.
2. Bestimmen Sie die ballistische Stromempfindlichkeit K . Messen Sie dazu den Ausschlag a beim Ein- und Ausschalten des Stromes. Es sind Messwerte für Ströme im Bereich von 0 bis 500 mA in Schritten von 50 mA zu ermitteln. Tragen Sie anschließend $|\alpha|$ als Funktion von I grafisch auf, und bestimmen Sie aus der Steigung die Konstante K .

4 Messungen am Erdmagnetfeld

Zur Messung des Erdmagnetfeldes wird die umklappbare Erdinduktorspule mit der Windungszahl n_3 , der Querschnittsfläche A_3 und dem Widerstand R_3 an das Galvanometer angeschlossen. Beim Umklappen der Spule ergibt sich mit Gl. (5) der Ausschlag

$$\alpha = 2 \cdot K \cdot \frac{n_3}{R_3 + R_G} \cdot BA_3 \quad (8)$$

B ist die jeweils senkrecht zur Spulenfläche stehende Komponente des Erdmagnetfeldes. Die Drehachse des Erdinduktors lässt sich so verstellen, dass entweder die Vertikalkomponente B_V oder die Horizontalkomponente B_H des Erdmagnetfeldes bestimmt werden können. Zur Kompensation der Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes wird eine Helmholtzspule verwendet. Für das Feld im Mittelpunkt dieser Spule in Abhängigkeit des Stromes I gilt:

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{NI}{r} \quad (9)$$

N ist die Windungszahl, r der Radius der Helmholtzspule.

5 Aufgaben:

1. Messen Sie die Vertikalkomponente B_V des Erdmagnetfeldes. Der Erdinduktor wird hierzu mit horizontaler Drehachse aufgestellt und an das Galvanometer angeschlossen. Die Induktorspule wird mit der Kurbel rasch um 180° von einer horizontalen Lage in die andere gedreht. Dabei wird der ballistische Ausschlag gemessen. Zur Kontrolle bestimmt man auch den entgegengesetzten Ausschlag bei der anschließenden Rückdrehung um -180° . Zu Beginn der Messungen muss die Drehachse des Erdinduktors in Richtung der 0° -Linie des Messtisches zeigen. Für jede Messung wird der Erdinduktor dann um 60° um die vertikale Achse weiter gedreht, bis die Ausgangsposition wieder erreicht ist.

Kalibrierspule-	primär:	$n_1/l_1 = 1750m^{-1}$ $A_1 = 2,65 \cdot 10^{-3}m^2$
	sekundär:	$n_2 = 1200$ $R_2 = 39k\Omega$
Galvanometer		$R_G = 5,2k\Omega$ $C = 47 \mu F$
Erdinduktor		$n_3 = 20000$ $A_3 = 4,28 \cdot 10^{-3}m^2$ $R_3 = 39k\Omega$
Helmholtzspule		$N = 80$ $r = 0,35 \text{ m}$

Tabelle 1: Daten der verwendeten Komponenten

2. Lassen Sie durch die Helmholtzspule Ströme zwischen $-0,5$ und $+0,5$ A fließen, und messen Sie jeweils bei horizontaler Erdinduktorachse das B-Feld, das sich aus der Überlagerung des Erdmagnet- und Helmholtzspulenfeldes ergibt. Tragen Sie B als Funktion von I auf. Es ergibt sich eine Gerade mit einer Nullstelle bei I_0 . Berechnen Sie das Helmholtzfeld $B(I_0)$, und vergleichen Sie diesen indirekt erhaltenen Wert für B_V mit dem aus Aufgabe 1.
3. Stellen Sie I_0 aus Aufgabe 2 ein, um B_V zu kompensieren. Messen Sie bei senkrechter Stellung der Erdinduktordrehachse für 12 Richtungen ϕ des Induktors gegen 0° im Abstand von jeweils 30° das B-Feld. Auch hier empfiehlt sich für jede Einzelmessung eine Schwenkung um $+180^\circ$ und -180° . Tragen Sie die Messwerte für B grafisch als Funktion von ϕ auf, und geben Sie den Wert der horizontalen Erdmagnetfeldkomponente B_H an.
4. Wie erklärt sich der beobachtete Verlauf von $B_H(\phi)$?
5. Wie ist die 0° -Linie des Messtisches gegenüber der Nord-Süd-Richtung des Erdmagnetfeldes ausgerichtet?
6. Wie groß ist der Betrag des totalen Erdmagnetfeldes und in welchem Winkel steht es zur Erdoberfläche?

Literatur:

Meschede: *Gerthsen Physik*, Kap. 8.1 und 8.3.5, 25. Auflage (2015).

Demtröder: *Experimentalphysik 2*, Kap. 4.1, 6. Auflage (2013).

Geräte:

Erdinduktor, Helmholtzspule, Netzgerät, Laserlichtzeiger, Spiegelgalvanometer, Kalibrierspule mit Primär- und Sekundärwicklung, Schalter, Dämpfungsschaltung)