

Durchflutungsgesetz (E12)

Ziel des Versuches

Das ampèresche Durchflutungsgesetz (auch als ørstedsches Gesetz bezeichnet) soll experimentell überprüft werden. Dazu müssen sowohl Linienintegrale als auch Flächenintegrale experimentell bestimmt werden.

Theoretischer Hintergrund

Durch eine Fläche A fließen Ströme mit der Stromdichte \vec{j} (Abb. 1) und erzeugen Magnetfelder mit der Flussdichte \vec{B} . Nach dem Durchflutungsgesetz ist die Summe der magnetischen Flussdichten entlang der geschlossenen Berandung K von A gleich der Summe der Stromdichten die senkrecht durch die Fläche A fließen:

$$\oint_K \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_A \vec{j} \cdot \vec{n} da \quad . \quad (1)$$

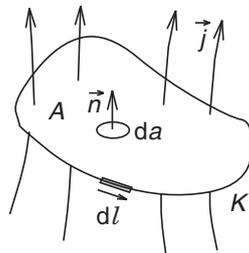


Abbildung 1: Erzeugung eines Magnetfeldes durch die Stromdichte \vec{j}

Der infinitesimale Kurvenabschnitt $d\vec{l}$ ist jeweils parallel zur Tangente an die Kurve K und \vec{n} ($|\vec{n}| = 1$) steht jeweils senkrecht auf dem Flächenabschnitt da . Aus Gl. 1 lässt sich schließen, dass nur die Ströme innerhalb der Berandung K zum Linienintegral des Magnetfelds beitragen. Wenn die Ströme ausschließlich außerhalb von K fließen, wird zwar ein Magnetfeld erzeugt, aber das Linienintegral ist Null $\oint_K \vec{B} d\vec{l} = 0$.

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Fläche A wird durch Holzscheiben verschiedener Formen (Kreis, Rechteck) realisiert, deren Kante die Berandung K darstellt. Die die Fläche A durchflutenden Ströme fließen durch Drähte, die in einem Rohr senkrecht durch die Holzscheibe geführt werden (Abb. 2a). Wegen der Rückführung der Drähte fließen sowohl innerhalb wie außerhalb von K Ströme, die zu den

Magnetfeldern entlang K beitragen. Um eine experimentelle Situation zu ermöglichen, in der die Summe der Ströme innerhalb von K gleich Null ist, enthält eine Holzscheibe einen Einschnitt zur Aufnahme der Rückleitungsdrähte.

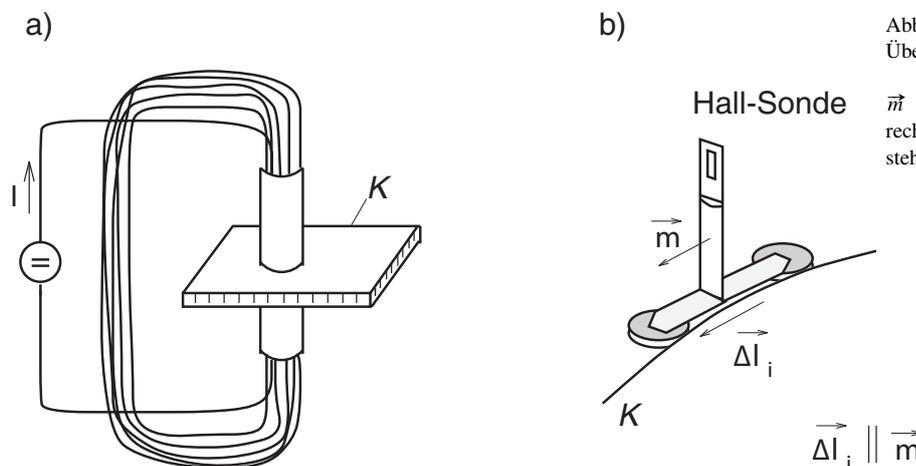


Abbildung 2: Experimenteller Aufbau zur Überprüfung des Durchflutungsgesetzes.

\vec{m} sei ein Einheitsvektor, der senkrecht auf dem Sensor der Hallsonde steht.

Zur Magnetfeldmessung wird eine Hall-Sonde¹ benutzt, die an einem zweirädrigen Wagen befestigt wird, der auf dem Rand der Holzscheiben bewegt werden kann (Abb. 2b). Die Verbindung der Radachsen steht in jeder Position tangential zur Kurve K und ist damit parallel zum Wegelement $d\vec{l}$ bzw. $\Delta\vec{l}$. Dadurch kann mit der Hall-Sonde jeweils die Magnetfeld-Komponente $B_{\Delta l}$ parallel zu $\Delta\vec{l}$ ermittelt werden. Zur Messung des Linienintegrals wird die Kurve K in k Abschnitte unterteilt. Dabei ist es sinnvoll, wenn auch nicht notwendig, die Abschnitte äquidistant einzuteilen. Für jeden Abschnitt wird eine Magnetfeldmessung durchgeführt und der Messwert mit der Länge des Abschnittes Δl multipliziert. Auf diese Weise erhält man die Größe $\vec{B}d\vec{l}$.² Die Summe aller k Werte ergibt einen guten Näherungswert für das Linienintegral.

¹ Falls Sie die Hall-Sonde noch nicht in einem anderen Versuch kennengelernt haben, informieren Sie sich über ihre Funktionsweise.

Für die Durchführung des Versuches stehen drei Scheiben zur Verfügung: zwei runde unterschiedlicher Größe und eine rechteckige. Damit sollen insgesamt vier Messreihen aufgenommen werden. Wählen Sie für die kleine runde Scheibe zwei verschiedene Anordnungen der Rückleitungsdrähte und führen Sie bei der großen runden Scheibe die Rückleitungsdrähte innerhalb von K durch die Scheibe.

Die Bestimmung der zugehörigen Flächenintegrale $\int_A \vec{j} \cdot \vec{n} da$ lässt sich leicht durchführen. Außerhalb der Drähte ist die Stromdichte Null. Da die Drähte senkrecht durch die Holzscheibe verlaufen, gilt $\vec{j} \parallel \vec{n}$ und $\vec{j} \cdot \vec{n} = j$. Die Stromdichte j_D durch den Drahtquerschnitt A_D hängt mit dem Strom I zusammen, der den Draht durchfließt. Damit ergibt sich das Flächenintegral einfach aus der Anzahl m der Drähte multipliziert mit dem Strom I :

$$^2 \oint_K \vec{B}d\vec{l} = \sum_k B_{\Delta l} \cdot \Delta l$$

$$\int_A j da = m \int_{A_D} j_D da = m I \quad . \quad (2)$$

Aufgabenstellung

1. Zeigen Sie mit der gegebenen experimentellen Anordnung die Gültigkeit des Durchflutungsgesetzes, indem Sie die Integrale auf beiden Seiten von Gl. (1) experimentell ermitteln. Schätzen Sie die Messfehler für B , Δl und den Strom I ab, und leiten Sie mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes die Fehler für die beiden Integrale ab. Bestimmen Sie die Induktionskonstante μ_0 und geben Sie diese in der Form $\mu_0 \pm \Delta\mu_0$ an.³
2. Bei Ihren Messungen ist dem durch die Drähte erzeugten Magnetfeld stets das Erdmagnetfeld überlagert. Beschreiben Sie dessen Wirkung auf die Ergebnisse.

³ Da die Versuchsdurchführung nicht sehr zeitaufwendig ist, empfiehlt sich die Auswertung des Experimentes in unmittelbarem Anschluss an die Messung. Auf diese Weise können Sie systematische Messfehler erkennen und gegebenenfalls gleich korrigieren.