

Praktikum I LK

Lorentzkraft

Hanno Rein

Betreuerin: Frederica Moschini

30. November 2003

1 Versuchsziel

Bei diesem Versuch wird die grundlegende Kraft der Elektrizität, die Lorentzkraft, vorgestellt. Dies wird an zwei Beispielen untersucht. Zum einen an einem so genannten Fadenstrahlrohr, zum anderen an einer so genannten Stromwaage.

2 Grundlagen

2.1 Lorentz-Kraft

Die Lorentzkraft F ist die Kraft, die ein magnetisches Feld B auf eine Ladung q hat, welche sich mit der Geschwindigkeit v relativ zum Magnetfeld bewegt.

$$F = q \cdot (v \times B) \quad (1)$$

Die Kraft ist immer senkrecht zur Geschwindigkeit, mit der sich die Ladung durch das Magnetfeld bewegt. Somit erhält man für eine konstante Geschwindigkeit v , sowie ein konstantes Magnetfeld B eine Kreisbahn, beziehungsweise eine Schraubenbahn.

2.2 Elektronenstrahl

Durch ein Helmholtzspulenpaar wird ein fast homogenes Magnetfeld erzeugt. Wie in der Anleitung beschrieben, lässt sich das Magnetfeld wie folgt berechnen:

$$B = \mu_0 \cdot 1.43 \frac{n}{D} \cdot I_{Spule} \quad (2)$$

Die verwendete Spule hat $n = 130$ Windungen, sowie einen Durchmesser von $D = 0.3m$. Durch ein Stahlerzeugungssystem werden Elektronen mit der Spannung U beschleunigt. Nach dem Energieerhaltungssatz gilt

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = Ue \quad (3)$$

$$v = \sqrt{2U \frac{e}{m_e}} \quad (4)$$

Die Elektronen bewegen sich in der fast evakuierten Kugel in Kreisbahnen, solange sie senkrecht zum Magnetfeld eingeschossen werden. Dabei wirkt eine Zentripetalkraft, die gleich der Lorentzkraft ist:

$$\frac{mv^2}{r} = evB \quad (5)$$

Dabei ist r der Radius der Kreisbahn. Setzt man (4) in (5) ein, so erhält man für das Ladung-Massen-Verhältnis

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (6)$$

Das Fadenstrahlrohr bietet also eine Möglichkeit das Massenverhältnis $\frac{e}{m_e}$ zu bestimmen.

2.3 Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

Sei I die Stromstärke in einem Leiter der senkrecht zu einem Magnetfeld B steht. Ist $\rho = nq$ die Ladungsdichte des Leiters, sowie A dessen Querschnittsfläche, so gilt für I :

$$I = n \cdot q \cdot v_D \cdot A \quad (7)$$

v_D ist somit die Driftgeschwindigkeit der Ladungsteilchen (Elektronen) im Leiter. Für die Lorentzkraft, die auf ein infinitesimales Leiterstück dL wirkt, gilt:

$$dF = n \cdot q \cdot dL \cdot A \cdot (v_D \times B) \quad (8)$$

$$= (j \times B) \cdot dV \quad (9)$$

Somit ist

$$F = \int j \times B dV \quad (10)$$

Ist der Leiter der Länge dl gerade und in einem homogenen Magnetfeld, so ist die Kraft, die auf diesen Leiter der Länge l wirkt gerade

$$dF = I \cdot B \cdot dl \quad (11)$$

3 Auswertung

3.1 Elektronenstrahlrohr

Zunächst wird mit Hilfe des Elektronenstrahlrohr das Massenverhältnis $\frac{e}{m_e}$ bestimmt. Bei verschiedenen Feldstärken und Beschleunigungsspannungen werden jeweils die Radien gemessen.

| U [V] | I_{Spule} [A] | B [T] nach (2) | Radius r [m] | $\frac{e}{m_e}$ [$10^{11} CKg^{-1}$] |
|---------|-----------------|------------------|----------------|--|
| 366 | 1.95 | 1.52 | 0.04 | 1.98 |
| 400 | 2.00 | 1.56 | 0.04 | 2.06 |
| 400 | 1.64 | 1.27 | 0.05 | 1.97 |
| 400 | 2.71 | 2.11 | 0.03 | 2.00 |
| 400 | 4.25 | 3.31 | 0.02 | 1.83 |
| 300 | 3.59 | 2.79 | 0.02 | 1.92 |
| 300 | 2.13 | 1.65 | 0.03 | 2.43 |
| 300 | 1.65 | 1.28 | 0.04 | 2.27 |
| 300 | 1.38 | 1.07 | 0.05 | 2.08 |
| 200 | 0.74 | 0.57 | 0.05 | 4.88 |
| 200 | 1.54 | 1.20 | 0.03 | 3.11 |
| 200 | 2.63 | 2.04 | 0.02 | 2.39 |

Somit ergibt sich

$$\frac{e}{m_e} = 2.41 \cdot 10^{11} CKg^{-1} \pm 8.52 \cdot 10^{10} CKg^{-1} (\text{zuf.}) \quad (12)$$

Der Literaturwert beträgt $\frac{e}{m_e} = 1.76 \cdot 10^{11} CKg^{-1}$ und liegt somit in dem ermittelten Intervall.

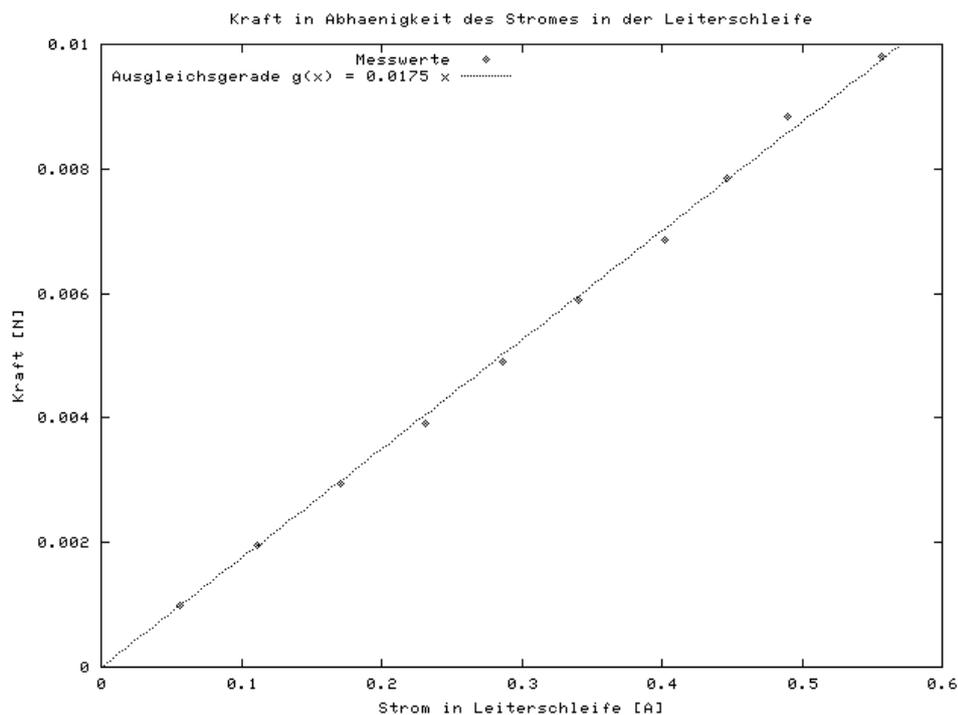
3.2 Stromwaage

Der theoretische Wert des Magnetfeldes B ist in den nachfolgenden Versuchen

$$B = \mu_0 \frac{I_{Sp} n}{l} \left(\frac{l+a}{\sqrt{(l+a)^2 + 4R^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4R^2}} \right) \quad (13)$$

Hierbei ist $R = 0.053m$ der Radius der Spulen, $l = 0.4m$ die Länge der Spulen, a der Abstand der Spulen zueinander und $n = 4620$ deren Windungszahl.

3.2.1 Kraft in Abhängigkeit des Stromes in der Leiterschleife

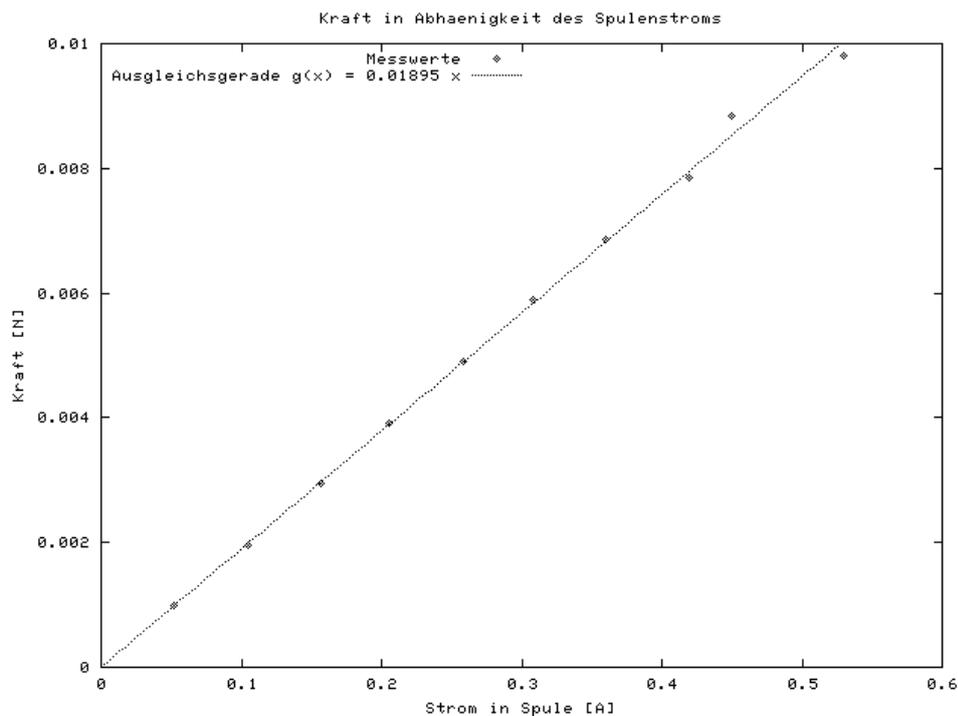


Der Strom in der Spule beträgt $I_{Sp} = 0.565 \text{ A}$. Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt $m_{g1} = 0.0175 \frac{\text{N}}{\text{A}} \pm 1.21 \cdot 10^{-4} \frac{\text{N}}{\text{A}}$. Der theoretische Wert liegt bei

$$m_{t1} = \frac{F_{\text{Lorentz}}}{I_{\text{Tauch}}} = \frac{B N_{\text{Tauch}} I_{\text{Tauch}} s_{\text{Tauch}}}{I_{\text{Tauch}}} = B \cdot s_{\text{Tauch}} N_{\text{Tauch}} = 0.0152 \frac{\text{N}}{\text{A}} \quad (14)$$

Da die Werte für m_{g1} und m_{t1} hinreichend gleich sind, ist somit das Lorentzsche Gesetz bestätigt.

3.2.2 Kraft in Abhängigkeit des Stromes in der Spule / Magnetfeldes



Der Strom in der Leiterschleife ist $I_{Leiter} = 0.635A$. Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt $m_{g2} = 0.01895 \frac{N}{A} \pm 1.36 \cdot 10^{-4} \frac{N}{A}$. Der theoretische Wert liegt bei

$$m_{t2} = \frac{F_{Lorentz}}{I_{Sp}} = \frac{BN_{Tauch}I_{Tauch}s_{Tauch}}{I_{Sp}} = 0.0171 \frac{N}{A} \quad (15)$$

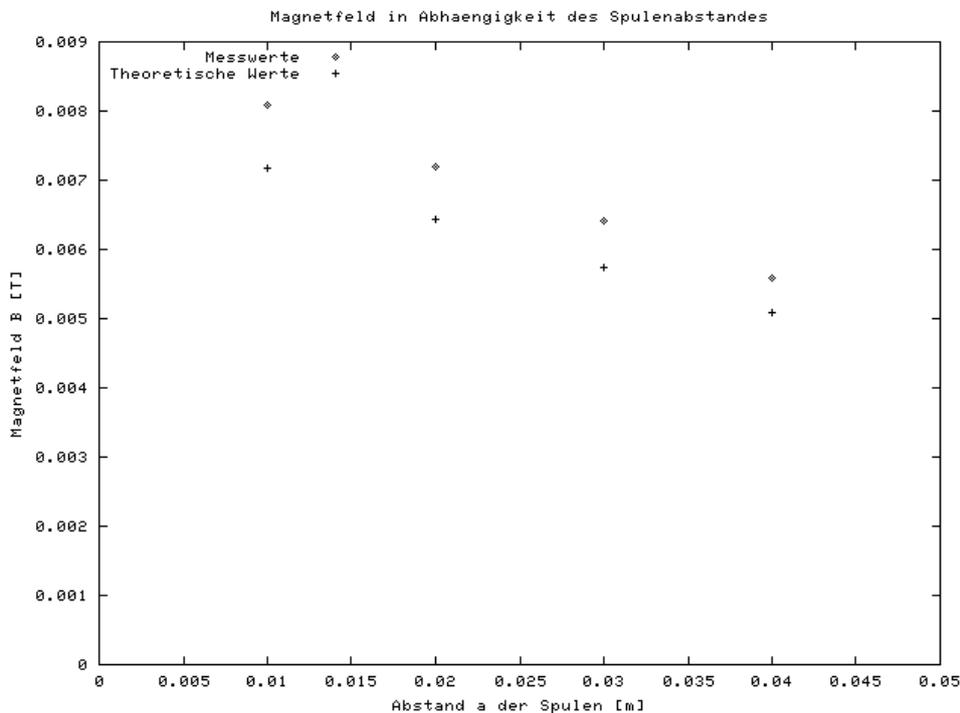
Da die Werte für m_{g2} und m_{t2} hinreichend gleich sind, ist somit das Lorentzsche Gesetz bestätigt.

3.2.3 Variabler Abstand a

Nun wird der Abstand zwischen den beiden Spulen variiert. Der Spulenstrom $I_{Sp} = 0.56A$ sowie die Kraft $F = 4.9 \cdot 10^{-3}N$ bleiben konstant. Aus den Messwerten von I_{Leiter} lässt sich nun wie folgt B berechnen:

$$B = \frac{F}{s_{Tauch}N_{Tauch}I_{Tauch}} \quad (16)$$

Die theoretischen Werte, die man durch die Spulengeometrie der Feldspule erhält, berechnen sich nach Formel (13). Somit erhält man folgendes Schaubild:



Man erkennt deutlich, dass die grundsätzliche Abhängigkeit stimmt. Allerdings treten bei kleinem Abstand größere Fehler auf. Dieser systematische Fehler könnte von der Anordnung stammen. Beispielsweise bewirken die verschiedenen metallene Gegenstände in der Nähe der Spule eine Störung des Magnetfeldes in der Spule.