

Protokoll zum Versuch $\frac{e}{m}$ -Bestimmung

Kirstin Hübner Armin Burgmeier Gruppe 15

13. Oktober 2008

1 $\frac{e}{m}$ -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

1.1 Verifizieren der Homogenität

Um die Homogenität des Magnetfelds der Helmholtzspulen im Plexiglaskasten überprüfen zu können haben wir mit einer Hallsonde an verschiedenen Stellen innerhalb der Mittelebene zwischen den Spulen die magnetische Feldstärke gemessen. Der Abstand zwischen den einzelnen Messpunkten betrug jeweils 3cm , wobei die Mittelachse durch die Punkte 9, 10, 4, 11 und 12 läuft.

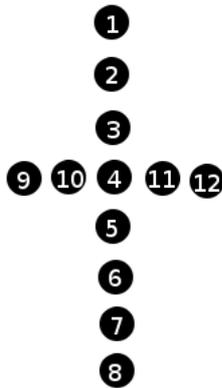


Abbildung 1: Messpunkte in der Helmholtzspule

In der folgenden Tabelle wurden Hallspannungen in Abhängigkeit vom Messpunkt und dem angelegten Spulenstrom aufgetragen.

Da die Hallspannung proportional zur magnetischen Feldstärke ist (wie in der Vorbereitung dargelegt) ergibt sich aus diesen Werten, dass das von den Spulen erzeugte Magnetfeld homogen ist. Die Spannungen nehmen mit zunehmendem Spulenstrom ab. Leider können wir diese Fehlerquelle nicht eindeutig bestimmen, da wir die bereits aufgebaute Apparatur übernommen haben und davon ausgegangen sind, dass diese vorher als korrekt abgenommen wurde. We-

Messpunkt	Spulenstrom 1,0A	Spulenstrom 1,5A	Spulenstrom 2,0A
1	4,89V	4,86V	4,85V
2	4,88V	4,85V	4,85V
3	4,88V	4,85V	4,85V
4	4,88V	4,85V	4,84V
5	4,88V	4,85V	4,85V
6	4,88V	4,85V	4,85V
7	4,88V	4,85V	4,85V
8	4,88V	4,85V	4,85V
9	4,88V	4,85V	4,85V
10	4,88V	4,85V	4,85V
11	4,88V	4,85V	4,85V
12	4,88V	4,85V	4,85V

Tabelle 1: Hallspannung an verschiedenen Orten in der Helmholtzspule

gen einem Offset in der Hallsonde sind die gemessenen Spannungen deutlich höher als gewöhnlich von Hallspannungen erwartet.

1.2 Eichen der Hallsonde

Zum Eichen der Hallsonde haben wir das berechenbare Magnetfeld einer langen Zylinderspule ausgenutzt. Dieses kann man über

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I_s \quad (1)$$

ausrechnen wobei $\frac{N}{l}$ die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit und I_s der durch die Spule fließende Strom ist.

Zu gewählten Spulenströmen haben wir die Hallspannung gemessen und daraus die magnetische Feldstärke berechnet:

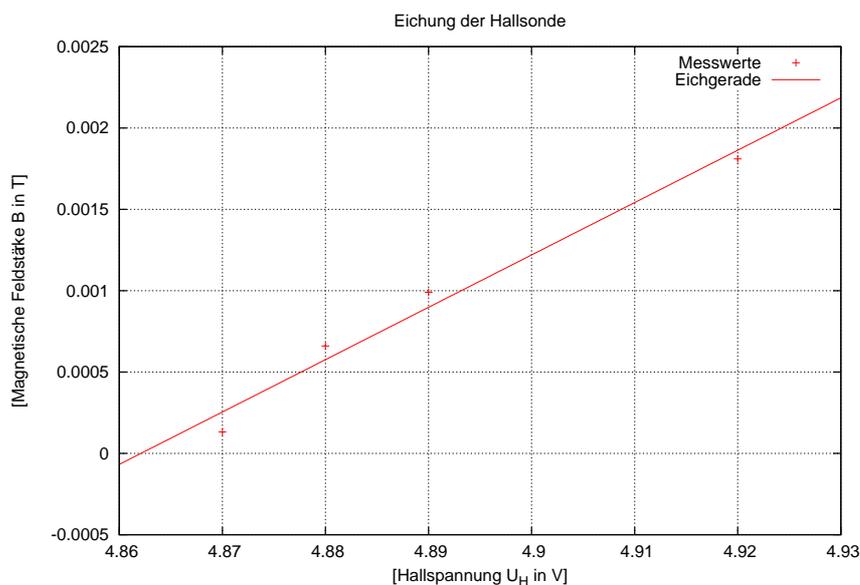
I_s [A]	U_H [V]	B [T]
0,03	4,87	$9,89 \cdot 10^{-5}$
0,05	4,87	$1,64 \cdot 10^{-4}$
0,10	4,88	$3,30 \cdot 10^{-4}$
0,15	4,88	$4,95 \cdot 10^{-4}$
0,20	4,89	$6,60 \cdot 10^{-4}$
0,25	4,88	$8,25 \cdot 10^{-4}$
0,30	4,88	$9,90 \cdot 10^{-4}$
0,40	4,89	$1,32 \cdot 10^{-3}$
0,50	4,92	$1,65 \cdot 10^{-3}$
0,60	4,92	$1,98 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2: Gemessene Hallspannung für verschiedene Spulenströme

Eine genauere Messung der Hallspannung war leider nicht möglich, da die

dritte Nachkommastelle auf dem digitalen Messgerät ständig variierte. Dies ist wahrscheinlich auf die Erwärmung der Hallsonde bei längerem Gebrauch zurückzuführen die ihre Empfindlichkeit beeinflusst.

Um die Eichgerade bestimmen zu können trugen wir das Magnetfeld B auf die Hallspannung U_H auf. Feldstärken die bei gleicher Spannung auftraten wurden dabei gemittelt.



Die lineare Regression wurde mit `gnuplot` durchgeführt und ergibt für die Eichgerade:

$$B = -0.15649 + 0,0321857 \cdot U_H \quad (2)$$

1.3 Vergleich von gemessenem und errechnetem Wert

Spulenstrom [A]	Berechnete Feldstärke [T]	Gemessene Feldstärke [T]
1,0	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
1,5	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$-3,6 \cdot 10^{-4}$
2,0	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$-4,2 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 3: Gemessene und berechnete Feldstärken

Aufgrund der wahrscheinlich fehlerhaften Messung in 1.1 machen die gemessenen Feldstärken bei den Spulenströmen $1,5A$ und $2,0A$ keinen Sinn. Die Abweichung zwischen dem gemessenen und berechneten Feld bei $1,0A$ beträgt $-23,0\%$.

1.4 Bestimmung von $\frac{e}{m}$

Folgende Durchmesser der Elektronenkreisbahnen haben wir bei einem Spulenstrom von 1,0A bzw. 2,0A bei verschiedenen Anodenspannungen gemessen:

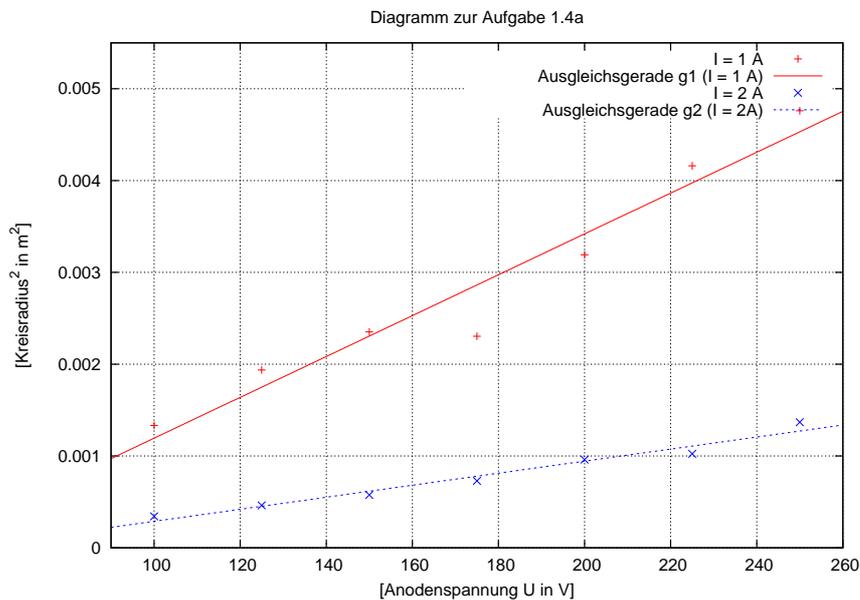
U [V]	Durchmesser bei 1,0A [cm]	Durchmesser bei 2,0A [cm]
100	7,3	3,7
125	8,8	4,3
150	9,7	4,8
175	9,6	5,4
200	11,3	6,2
225	12,9	6,4
250	13,8	7,4

Tabelle 4: Gemessene Durchmesser bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen

Wegen

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2} \Leftrightarrow r^2 = \frac{m}{e} \frac{2}{B^2} U$$

ist es sinnvoll r^2 über U aufzutragen um über die Geradensteigung einen Wert für $\frac{e}{m}$ zu erhalten.



Die Steigung der Geraden g_1 beträgt $a_1 = 2.22496 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{V}$. Damit ergibt sich $\frac{e}{m_1} = \frac{2}{B^2 a_1} = 1,48 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Die Steigung der Geraden g_2 ist $a_2 = 6.55536 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{V}$. Dies führt zu $\frac{e}{m_2} = 1,19 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Dabei verwendeten wir

den berechneten Wert für B , da unsere gemessene Werte wie oben beschrieben zumindest für $I = 2A$ nicht vertrauenswürdig erscheinen.

In der Folge haben wir die Beschleunigungsspannung festgehalten und den Spulenstrom variiert. Dabei ergaben sich die folgenden Messwerte:

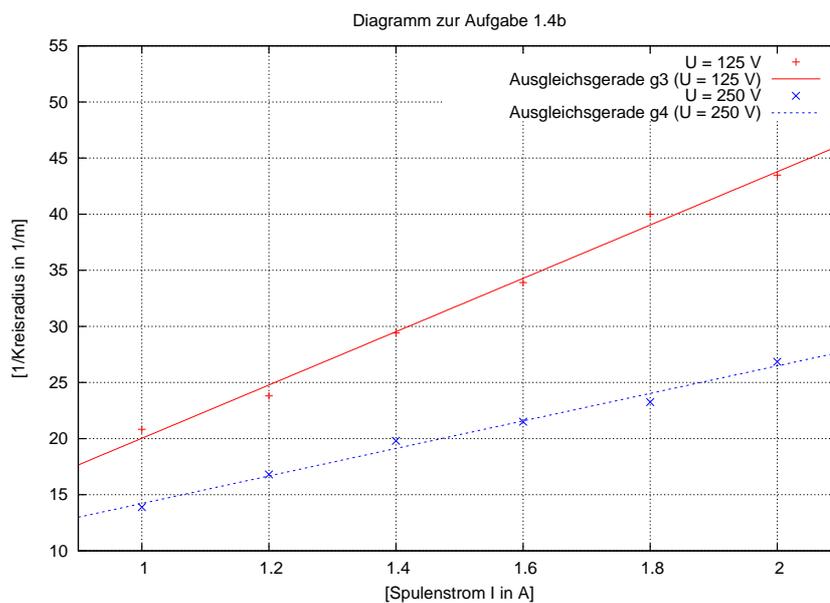
I [A]	Durchmesser bei 125V [cm]	Durchmesser bei 250V
1,0	9,6	14,4
1,2	8,4	11,9
1,4	6,8	10,1
1,6	5,9	9,3
1,8	5,0	8,6
2,0	4,6	7,45

Tabelle 5: Gemessene Durchmesser bei verschiedenen Spulenströmen

Diesmal gilt

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2} \Leftrightarrow \frac{1}{r} = \sqrt{\frac{e}{m} \frac{k}{\sqrt{U}}} I$$

mit $B = 0,7155\mu_0 n \frac{I}{R} = k \cdot I$ (siehe Versuchsbeschreibung), wobei R der Radius der Helmholtzspule ist.



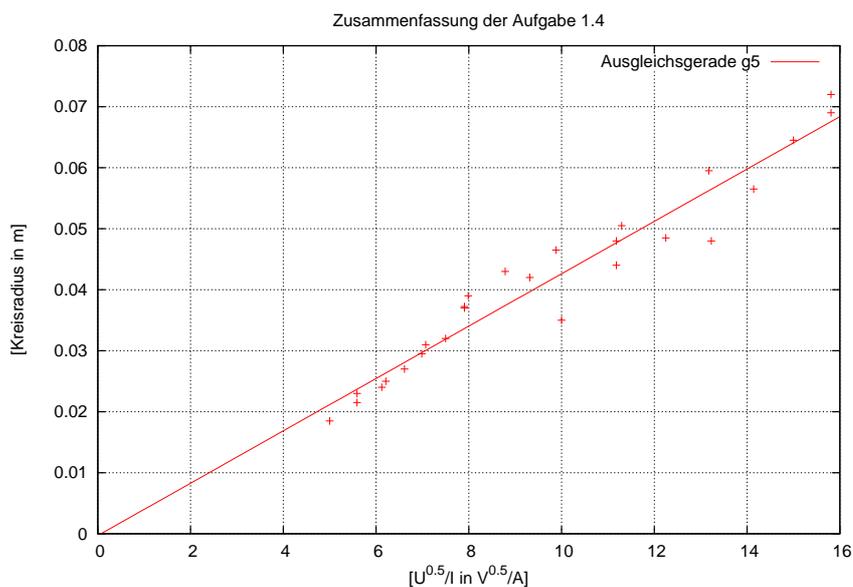
Die Steigung der Geraden g_3 $a_3 = 23,7547 \frac{1}{m \cdot A}$, die von g_4 $a_4 = 12,2621 \frac{1}{m \cdot A}$.
Damit ergibt sich $\frac{e}{m}_3 = \frac{a_3^2 2U}{k^2} = 2,32 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ bzw. für a_4 $\frac{e}{m}_4 = 1,24 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$.

Der Literaturwert beträgt $1,7588196 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ (Demtröder, Experimentalphysik 2). Unsere Messergebnisse weisen folgende Abweichungen auf:

Messwert	Abweichung
$\frac{e}{m} 1$	-16%
$\frac{e}{m} 2$	-32%
$\frac{e}{m} 3$	32%
$\frac{e}{m} 4$	-29%

Tabelle 6: Abweichungen vom Literaturwert

Zusammenfassend können wir alle gemessenen Werte über $\frac{\sqrt{U}}{I}$ auftragen:



Mit

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2} \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{m}{e} \frac{\sqrt{2}}{k} \frac{\sqrt{U}}{I}}$$

und der Geradensteigung $a_5 = 0.00429197 \frac{m \cdot A}{\sqrt{V}}$ finden wir $\frac{e}{m} = \frac{2}{a_5^2 k^2} = 1,79 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Hier beträgt die Abweichung vom Literaturwert 1,77%.

2 $\frac{e}{m}$ -Bestimmung nach der Methode von Busch

Im vorliegenden Versuch haben wir zunächst die Schaltung nach Schaltplan 2 der Aufgabenstellung zusammengesteckt. Den nach Einschalten der Beschleunigungsspannung zu sehenden Strich haben wir auf die Größe des Bildschirms eingestellt. Nach dem Einschalten des Magnetfelds konnte man beobachten, dass sich der Strich dreht und kleiner wird, bis man schließlich nur noch einen Punkt erkennen kann. Erhöht man nun weiter die Magnetfeldstärke beobachtet man,

dass der Punkt wieder in einer Drehbewegung zu einem Strich wird, den man durch stetiges Erhöhen der Magnetfeldstärke wiederum zu einem Leuchtfleck werden lassen kann. Die Hintergründe dieser Beobachtungen haben wir bereits in den Vorbereitungen erläutert.

Da das Magnetfeld nicht homogen ist mitteln wir B wie in der Vorbereitung beschrieben. Für die Abstände vom Spulenende a verwenden wir dabei die Werte $a_1 = 46\text{mm}$, $a_2 = 90\text{mm}$, $a_3 = 134\text{mm}$. Diese ergeben sich daraus, dass das Deflektorzentrum vom einen Spulenende genauso weit entfernt ist wie der Schirm vom anderen, und der Abstand zwischen Deflektorzentrum und Schirm 88mm beträgt.

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2L} \cdot \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{a_i}{\sqrt{R^2 + a_i^2}} + \frac{L - a_i}{\sqrt{R^2 + (L - a_i)^2}} \right) = 60,28 \cdot 10^{-3} \frac{T}{A} * I \quad (3)$$

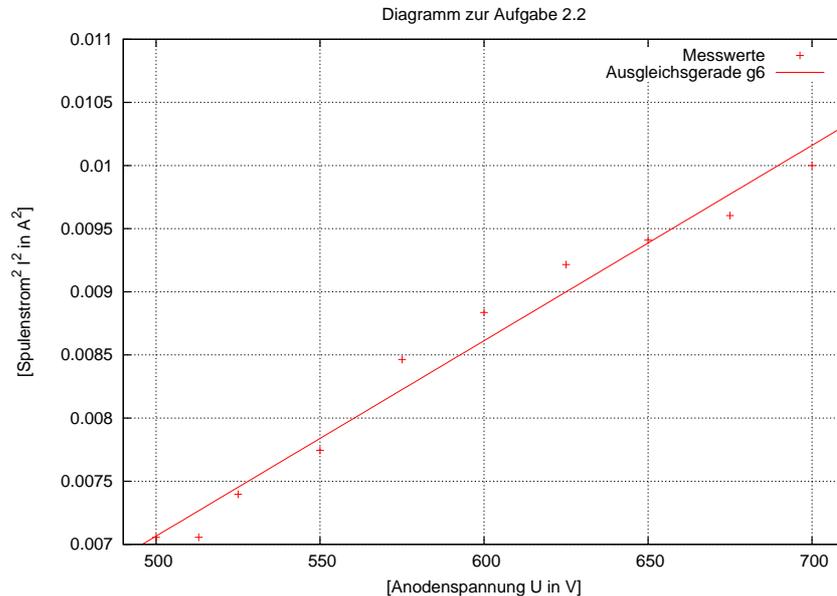
Die Konstante k haben wir somit zu $k = 60,28 \cdot 10^{-3} \frac{T}{A}$ bestimmt.

Anschließend haben wir für verschiedene Beschleunigungsspannungen den Spulenstrom gemessen, bei dem der auf dem Schirm erscheinende Strich zu einem Punkt wird:

Beschleunigungsspannung U [V]	Spulenstrom I [A]
500	$8,4 \cdot 10^{-2}$
513	$8,4 \cdot 10^{-2}$
525	$8,6 \cdot 10^{-2}$
550	$8,8 \cdot 10^{-2}$
575	$9,2 \cdot 10^{-2}$
600	$9,4 \cdot 10^{-2}$
625	$9,6 \cdot 10^{-2}$
650	$9,7 \cdot 10^{-2}$
675	$9,8 \cdot 10^{-2}$
700	$1,0 \cdot 10^{-1}$

Tabelle 7: Gemessener Spulenstrom bei vorgegebener Anodenspannung

Wie in der Vorbereitung beschrieben tragen wir I^2 über U auf:



Die Geradensteigung von g_6 beträgt $a_6 = 1.5476 \cdot 10^{-5} \frac{\text{A}^2}{\text{V}}$. Mit

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{k^2 I^2 l^2} \Leftrightarrow I^2 = \frac{8\pi^2 m}{k^2 l^2 e} U$$

folgt

$$a_6 = \frac{8\pi^2 m}{k^2 l^2 e} \Leftrightarrow \frac{e}{m} = \frac{8\pi^2}{a_6 k^2 l^2}$$

Mit den gemessenen Werten und dem Abstand zwischen Schirm und den Ablenkplatten $l = 0,088\text{m}$ finden wir $\frac{e}{m} = 1.81 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$. Die Abweichung vom Literaturwert beträgt hier 2,91%.

3 Fazit

Die Methode von Busch scheint weniger fehleranfällig, da sich die Größen genauer vom Messgerät ablesen lassen als bei der Methode mit der Fadenstrahlröhre. Dass wir mit nur einer Messreihe einen relativ genauen Wert ermittelt haben unterstützt diese Aussage. Es bleibt natürlich dennoch eine gewisse Unsicherheit, die sich mit einer genauen Fehlerrechnung, die wir in diesem Versuch nicht durchgeführt haben, beseitigen oder zumindest einschränken lässt.

Das Ablesen der Durchmesser gestaltete sich bei der Fadenstrahlröhre vor allem bei großen Radien (wenn die Kreise größer als die am Gerät angebrachte Skala sind) schwierig. Es gibt einen gewissen Toleranzbereich, in dem sich mit bloßem Auge die Positionierung der Markierung an der Skala nicht genau bestimmen lässt. Die Stromstärke bei der der Strich bei der Methode von Busch zu einem Punkt wird zu bestimmen erschien uns einfacher.