

Auswertung

e/m -Bestimmung
Versuch P1-72,74,75

Iris Conradi Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

14. November 2010

Inhaltsverzeichnis

1	e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr	3
1.1	Messen der Hallspannung	3
1.2	Kalibrierung der Hallsonde	4
1.3	Feld im Inneren des Helmholtzspulenpaares	5
1.4	e/m -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr	6
2	e/m-Bestimmung nach der Methode von Busch	8
2.1	Vorbereitende Versuche	8
2.2	e/m -Bestimmung nach der Methode von Busch	9
3	Fazit	11

1 e/m -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

1.1 Messen der Hallspannung

Die Abbildung 1 zeigt die Position der Messpunkte im Helmholtzspulenpaar. Die Platte befindet sich wie in der Vorbereitung beschrieben in der Mittelebene des Helmholtzspulenpaares. Der transparente Kreis deutet die Lage der Kugel des Fadenstrahlrohres im Helmholtzspulenpaar an.

Wir haben die Anordnung aufgebaut und angeschlossen, wobei ein Amperemeter in Reihe mit der Spulenordnung und ein Voltmeter parallel zur Hallsonde geschaltet wurde. Bei drei verschiedenen Spulenströmen wurde jeweils die Hallspannung mit Hilfe der Hallsonde an allen Messpunkten aufgenommen (siehe Tabelle 1). Zwischen den einzelnen Messungen wurde die Hallsonde ausgeschaltet, um eine Überhitzung der Hallsonde zu vermeiden (siehe Hinweis auf Aufgabenblatt). Zur Messung der Hallspannung bei 2,0A mussten wir auf eine gröbere Skala umschalten, so konnten wir die zweite Nachkommastelle nur auf 0 oder 5 approximiert ablesen.

¹Da sich das Fadenstrahlrohr wie in Abbildung 1 zu sehen oberhalb von Messpunkt 12 befindet, lassen wir diesen bei der Berechnung des Mittelwerts außer Acht.

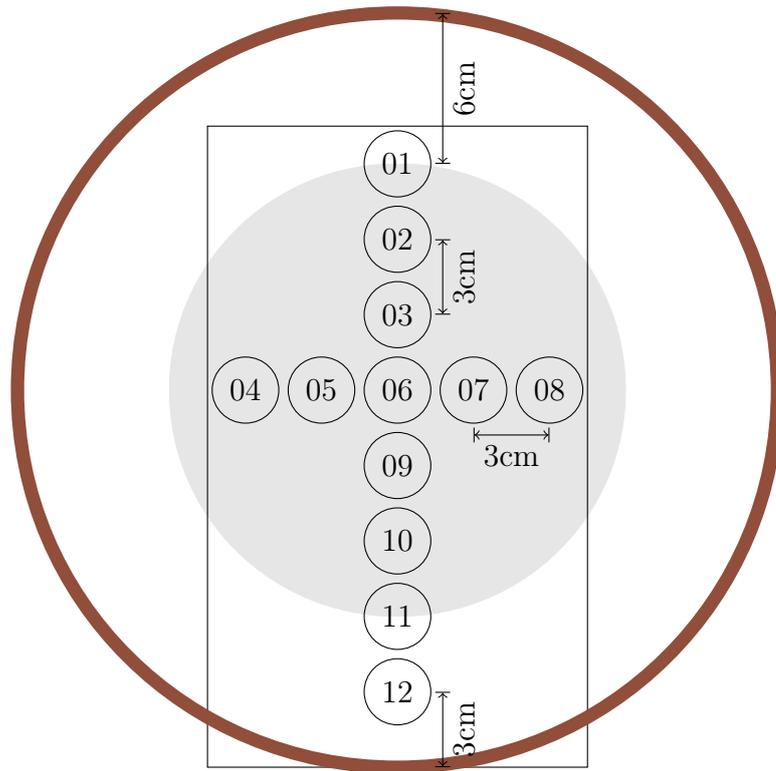


Abbildung 1: Helmholtzspule mit Messplatte

1.2 Kalibrierung der Hallsonde

Wie in der Vorbereitung als zweite Möglichkeit beschrieben, haben wir zu verschiedenen Strömen in der Eichspule ($B = \mu_0 \frac{IN}{l}$ mit $N = 750$, $l = 0,3m$) die Hallspannung gemessen (siehe Tabelle 2). Wir haben dabei die Spulenströme so gewählt, dass die Hallspannungen im Bereich der im Helmholtzspulenpaar gemessenen Werte liegt.

Außerdem haben wir die Hallsonde möglichst mittig in die Eichspule eingebracht, wo das Feld am homogensten ist.

Ab dem fünften Messwert hielt der Zeiger des Spannungsmessgerätes keinen konstanten Wert, sondern fiel ab. Wir haben den ersten angezeigten Wert abgelesen. Dies kann mit der Überhitzung der Hallsonde zusammenhängen. Abbildung 3 zeigt die Eichgerade, gefittet mit RooFiLab (χ^2 -Methode). Die Steigung der Geraden beträgt $0,866021 \frac{s}{m^2}$.

Messpunkt	U_H bei 1,0 A	U_H bei 1,5 A	U_H bei 2,0 A
01	0,81mV	1,24mV	1,60mV
02	0,85mV	1,29mV	1,70mV
03	0,86mV	1,31mV	1,75mV
04	0,85mV	1,30mV	1,70mV
05	0,85mV	1,30mV	1,75mV
06	0,86mV	1,30mV	1,75mV
07	0,86mV	1,29mV	1,75mV
08	0,85mV	1,28mV	1,70mV
09	0,87mV	1,29mV	1,75mV
10	0,84mV	1,28mV	1,70mV
11	0,80mV	1,21mV	1,60mV
12	0,66mV	0,98mV	1,30mV
arithm. Mittel ¹	0,85mV	1,28mV	1,70mV

Tabelle 1: Hallspannungen bei verschiedenen Spulenströmen

1.3 Feld im Inneren des Helmholtzspulenpaares

Wie man in Tabelle 1 leicht sieht, ist das Feld in der Helmholtzspulenordnung recht homogen, die Werte der Hallspannung differieren kaum, insbesondere im Bereich der Spulenachse. Nur bei Messpunkt 12 gibt es größere Abweichungen. Allerdings ist dieser Punkt, wie oben erwähnt, für den Versuch nicht relevant. Mit den Mittelwerten der Hallspannungen aus der Helmholtzspule und der Steigung der Eichgeraden ergibt sich für die Magnetfelder bei verschiedenen Spulenströmen:

- für 1A : $0,85mV * 0,866021 \frac{s}{m^2} \approx 0,74mT$
- für 1,5A : $1,28mV * 0,866021 \frac{s}{m^2} \approx 1,11mT$
- für 2A : $1,70mV * 0,866021 \frac{s}{m^2} \approx 1,47mT$

Für die Helmholtzspulenordnung gilt allgemein

$$B = 0,7155\mu_0 N \frac{I}{R}$$

mit $R = 0,15m$ und $N = 130$. Damit ergibt sich:

- für 1A : 0,78mT

B (berechnet)	Spulenstrom I	U_H
2,513mT	800mA	2,90mV
2,042mT	650mA	2,35mV
1,558mT	496mA	1,75mV
1,398mT	445mA	1,60mV
1,272mT	405mA	1,45mV
1,131mT	360mA	1,27mV
0,920mT	293mA	1,11mV
0,754mT	240mA	0,93mV
0,618mT	197mA	0,77mV
0,672mT	214mA	0,84mV

Tabelle 2: Messungen zur Kalibrierung der Hallsonde

- für 1,5A : 1,17mT
- für 2A : 1,56mT

Es ergeben sich folgende Abweichungen:

- für 1A : 5%
- für 1,5A : 5%
- für 2A : 6%

Unsere Messwerte passen also gut zum errechneten Wert.

1.4 e/m -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

Die spezifische Ladung wird wie in der Vorbereitung geschrieben über

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (1)$$

bestimmt. Um den Radius parallaxenfrei messen zu können, wird hinter der Elektronenkreisbahn ein Spiegel aufgestellt und davor Schiebemarken angebracht. Es wird über beide zu sehenden Kreisbahnen gepeilt um die Schiebemarken zu platzieren. Anschließend wird der Abstand gemessen, welcher dem Durchmesser der Kreisbahn entspricht.

Anodenspannung	Durchmesser bei 1A	Durchmesser bei 2 A
100V	8,8cm	4,3cm
125V	9,8cm	5,1cm
150V	12,0cm	5,4cm
175V	12,7cm	6,0cm
200V	13,2cm	6,5cm
225V	nicht messbar	7,0cm
250V	nicht messbar	7,2cm

Tabelle 3: Elektronenkreisbahndurchmesser bei konstanten Spulenströmen

Spulenstrom	Durchmesser bei 125V	Durchmesser bei 250V
1,0A	10,2cm	nicht messbar
1,2A	8,2cm	nicht messbar
1,4A	7,4cm	10,7cm
1,6A	6,2cm	8,9cm
1,8A	5,5cm	8,3cm
2,0A	5,3cm	7,7cm

Tabelle 4: Elektronenkreisbahndurchmesser bei konstanter Anodenspannung

Mit festem Spulenstrom Wie man an Gleichung (1) erkennen kann muss der Zusammenhang zwischen der Anodenspannung U und dem Quadrat des Durchmessers d^2 linear sein. Unsere Werte entsprechen dem etwa. Die Ungenauigkeiten in der Gerade zu 1A können darin begründet sein, dass wir abwechselnd gemessen haben. Bei der Messreihe zu 2A hat nur eine Person gemessen.

Zwei Werte konnten nicht gemessen werden, da der Radius zu groß wurde.

Mit fester Anodenspannung Genauso sieht man an der Gleichung (1), dass, da I und B einen linearen Zusammenhang haben, $\frac{1}{I^2}$ und d^2 proportional sind. Für unsere Messwerte gilt dies auch in etwa (siehe Abbildung 5).

e/m -Bestimmung Aus Gleichung (1) ergibt sich unter Verwendung der Formel zur Berechnung des Magnetfeldes im Helmholtzspulenpaar:

$$\frac{e}{m} = \frac{2R^2}{(0,7155)^2 \mu_0^2 N^2} \frac{U}{I^2 \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (2)$$

$$d^2 = k \frac{U}{I^2} \quad (3)$$

$$\text{mit } k = \frac{m}{e} \frac{8R^2}{(0,7155)^2 \mu_0^2 N^2} \quad (4)$$

Mit Hilfe der Abbildung 6 haben wir die Konstante k bestimmt $k = 0,866185 \cdot 10^{-4} \frac{A^2 m^2}{V}$.

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{k} \frac{8R^2}{(0,7155)^2 \mu_0^2 N^2} \quad (5)$$

$$\frac{e}{m} \approx 1,521 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg} \quad (6)$$

Natürlich ist es Konvention die Ladung des Elektrons negativ anzunehmen, dies folgt allerdings nicht aus der verwendeten Gleichung.

Im Vergleich zum Literaturwert $e/m \approx 1,759 \cdot 10^{11} C/kg$ zeigt unser Wert eine Abweichung von 13,5%.

2 e/m -Bestimmung nach der Methode von Busch

2.1 Vorbereitende Versuche

Wir haben nach Schaltung 2 die Kathodenstrahlröhre, die Spule und die Messgeräte angeschlossen. Dabei haben wir die Ablenkplatten des Deflektorzentrums d_2 auf gleiches Potential gelegt, da nur d_1 verwendet werden sollte.

Wie in der Aufgabenstellung beschrieben, haben wir für die Beschleunigungsspannung 500V gewählt. Die Spule blieb zunächst ausgeschaltet.

Auf dem Schirm war ein leuchtender Punkt zu sehen, wenn man die Deflektorwechselspannung eingeschaltet hat ist ein vertikaler Strich erschienen, der mit wachsender Wechselspannung länger wurde.

Nun konnten wir Strahlintensität und Strahlschärfe gut wählen. Die Strahlintensität sollte während der Messungen nicht mehr verstellt werden, da dies die Beschleunigungsspannung ändert.

Außerdem sollte beachtet werden, dass es Strahl mit hoher Intensität nicht zu lange an einem Ort bleibt, da der Schirm einbrennen kann.

Beim Hochdrehen des Spulenstroms wurde der Strahl kürzer, dicker und hat sich mathematisch positiv gedreht. Bis nach 180° der Strich sich auf den Punkt zusammengezogen

Beschleunigungsspannung	Spulenstrom
500V	0,080A
525V	0,081A
550V	0,082A
575V	0,084A
600V	0,085A
625V	0,086A
650V	0,087A
675V	0,088A
700V	0,089A

Tabelle 5: Wertepaare bei denen ein Punkt sichtbar war

hat (0,09A), der ohne Spulenstrom und Deflektorspannung zu sehen war. Bei weiterem Erhöhen des Spulenstromes wurde der Punkt wieder zu einem sich drehenden Strich, allerdings kürzer und dicker und mit einer Unterbrechung in der Mitte. Dieser zog sich auch wieder zu einem Punkt zusammen(0,17A). Bei höheren Beschleunigungsspannungen in den späteren Messungen konnten wir diesen Punkt mit den uns zur Verfügung stehenden Spulenströmen nicht mehr erreichen.

Diese Beobachtungen haben wir in der Vorbereitung schon ausführlich begründet. Nur die Beobachtung der Unterbrechung im zweiten Strich können wir uns nicht erklären.

2.2 e/m -Bestimmung nach der Methode von Busch

Wie in der Vorbereitung beschrieben wurde, wird zur Bestimmung der spezifischen Ladung die Situation eingestellt, bei der der Punkt zu sehen ist.

Wir haben die in Tabelle 5 dargestellten Wertepaare gemessen. Im vorhergehenden Abschnitt genannten Werte wurden mit einer größeren Skala gemessen. In Abbildung 7 sind die von uns gemessenen Werte aufgetragen. Die Gerade hat eine Steigung von $83814,1 \frac{V}{A^2}$. Die in der Vorbereitung genannte Formel zur Bestimmung der spezifischen Ladung enthält nicht den Spulenstrom sondern das Magnetfeld. Zur Berechnung des Magnetfeldes muss die angegebene Formel verwendet werden, da die Spule nicht lang ist und somit ein inhomogenes Magnetfeld enthält.

Nun muss über die Magnetfeldstärken im relevanten Bereich gemittelt werden. Erst nach dem Austritt aus den Ablenkplatten ist das Magnetfeld relevant, da sich die Elektronen

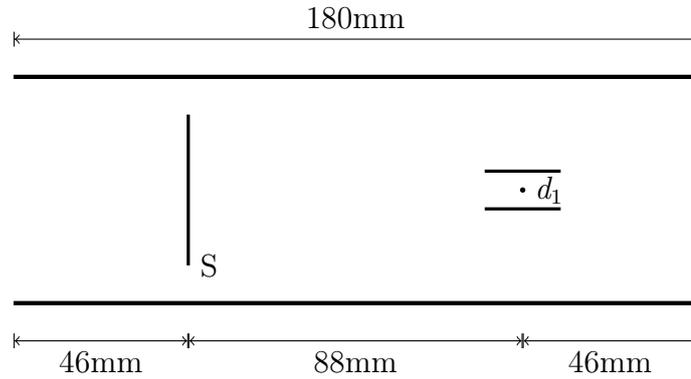


Abbildung 2: Position der relevanten Bauteile in der Spule

vorher parallel zum Feld bewegen. Somit verwenden wir zum Mitteln den Ort des Deflektorzentrums d_1 ($a = 0,134m$), den Ort des Schirms ($a = 0,046m$) und den Punkt in der Mitte dazwischen ($a = 0,09m$). Da die Inhomogenität des Magnetfeldes symmetrisch zur Mitte der Spule ist, und sich dort auch die Mitte des relevanten Bereichs befindet, müssen keine weiteren Punkte berücksichtigt werden.

In Abbildung 2 ist die Anordnung dargestellt.

Somit ergibt sich für das Magnetfeld:

$$B = 1,7326 \cdot \frac{\mu_0 n I}{2L}$$

Für die spezifische Ladung folgt also:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2} \quad (7)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{32\pi^2 U L^2}{1,7326^2 \mu_0^2 n^2 l^2 I^2} \quad (8)$$

$$U = I^2 \cdot k \quad (9)$$

mit $k = \frac{e}{m} \frac{1,7326^2 \mu_0^2 n^2 l^2}{32\pi^2 L^2} \quad (10)$

$$\frac{e}{m} = k \cdot \frac{32\pi^2 L^2}{1,7326^2 \mu_0^2 n^2 l^2} \quad (11)$$

$$\frac{e}{m} = 2,35 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg} \quad (12)$$

Dies ergibt im Vergleich zum Literaturwert eine Abweichung von etwa 33%. Dies ist auf einen Fehler in unserer Messung zurückzuführen. Wenn man die in Abbildung 7 aufgetragenen Punkte mit variablem y-Achsenabschnitt fitten lässt, ergibt sich ein y-Achsenabschnitt von etwa -316V. Somit sind die von uns gemessenen Werte sehr schlecht. Welcher so gravierende Fehler uns unterlaufen sein könnte, wissen wir nicht.

3 Fazit

Obwohl unsere Messung mit der Methode von Busch schlechter war, empfanden wir sie als leichter durchzuführen.

Eigentlich sollte der Messfehler bei der ersten Methode höher sein, da es viel schwieriger war den Radius genau zu bestimmen, als die Einstellung herauszufinden, in der man einen Punkt sah.

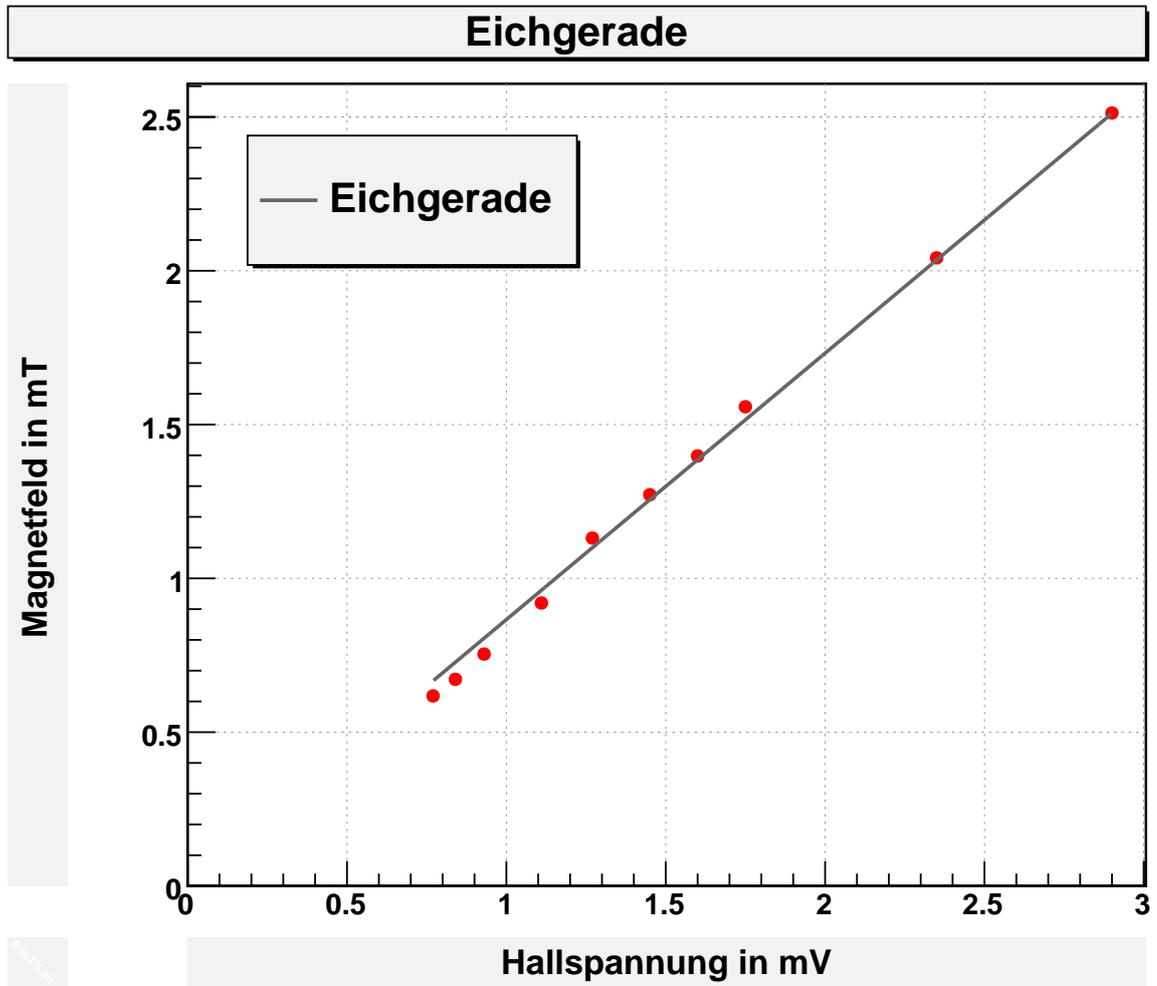


Abbildung 3: Eichgerade $B(U_H)$

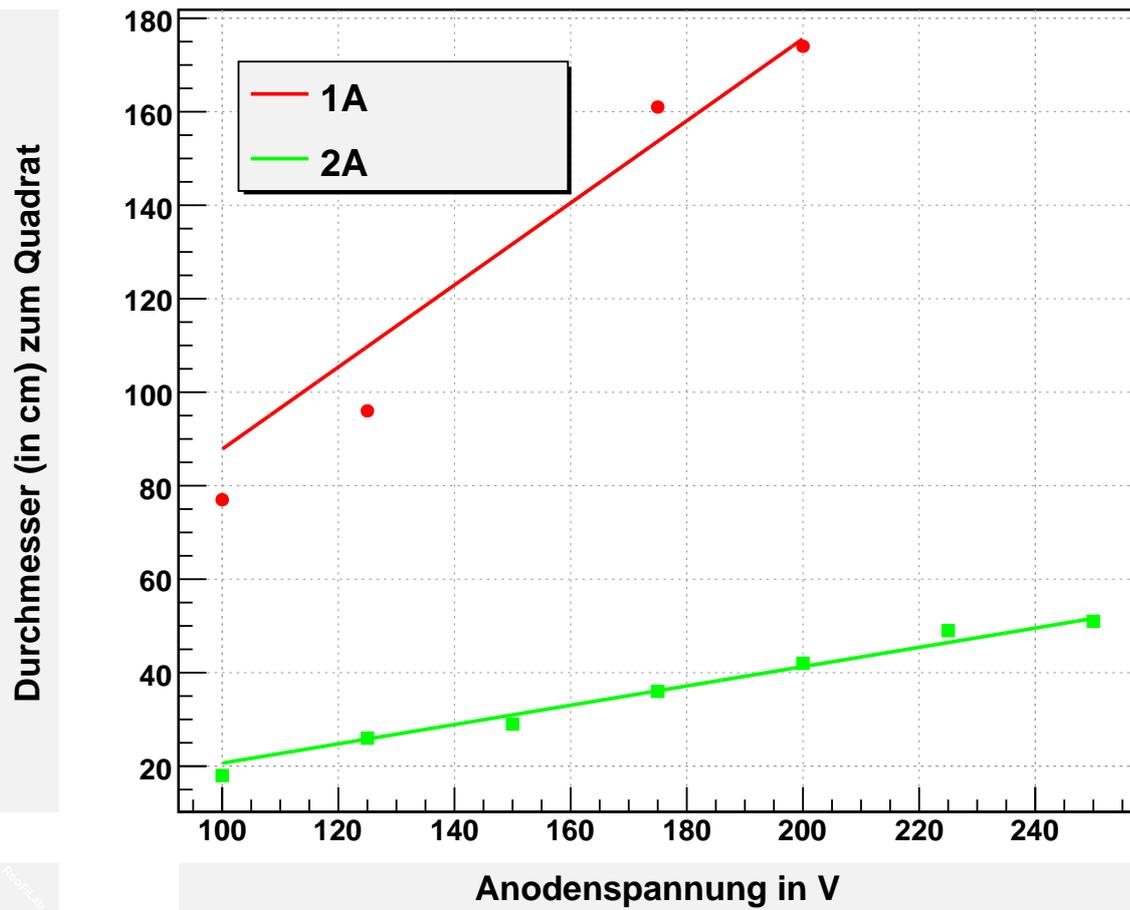


Abbildung 4: Elektronenkreisbahndurchmesser bei konstanten Spulenströmen

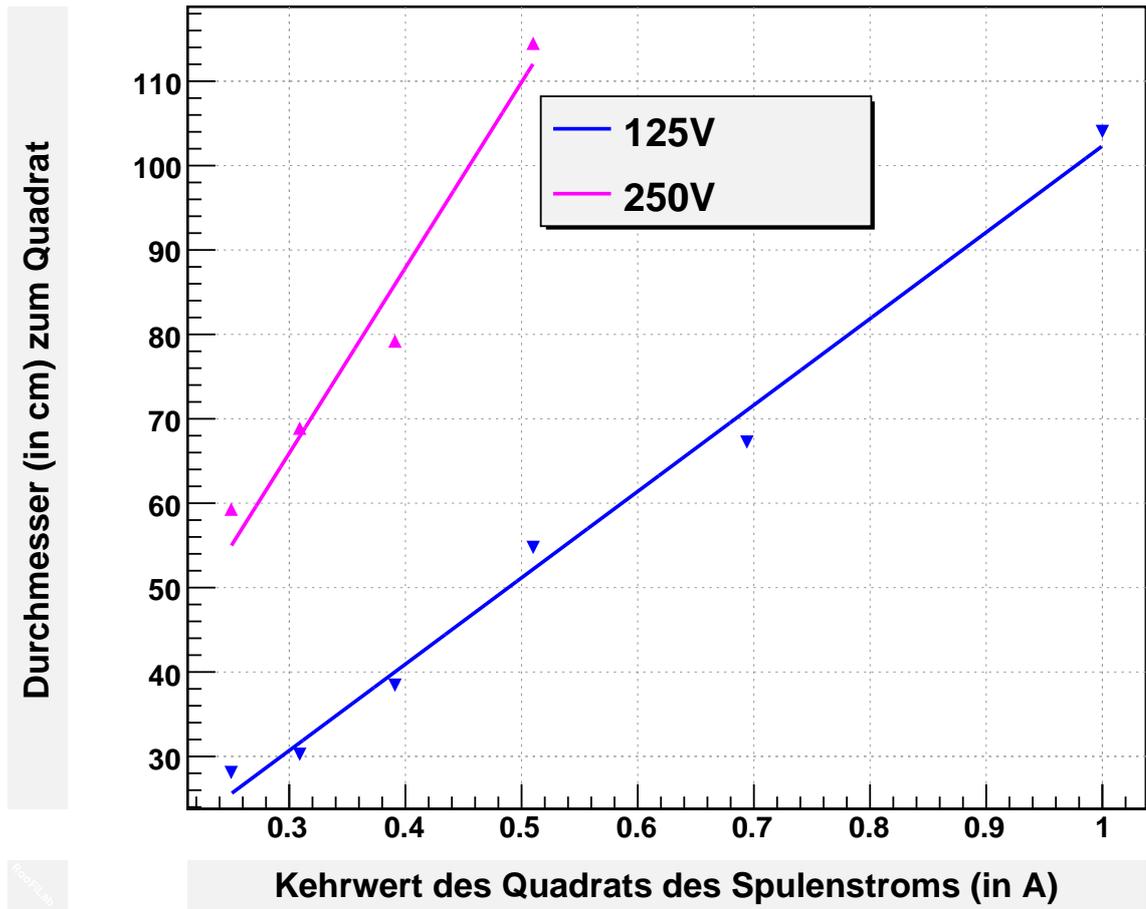


Abbildung 5: Elektronenkreisbahndurchmesser bei konstanter Anodenspannung

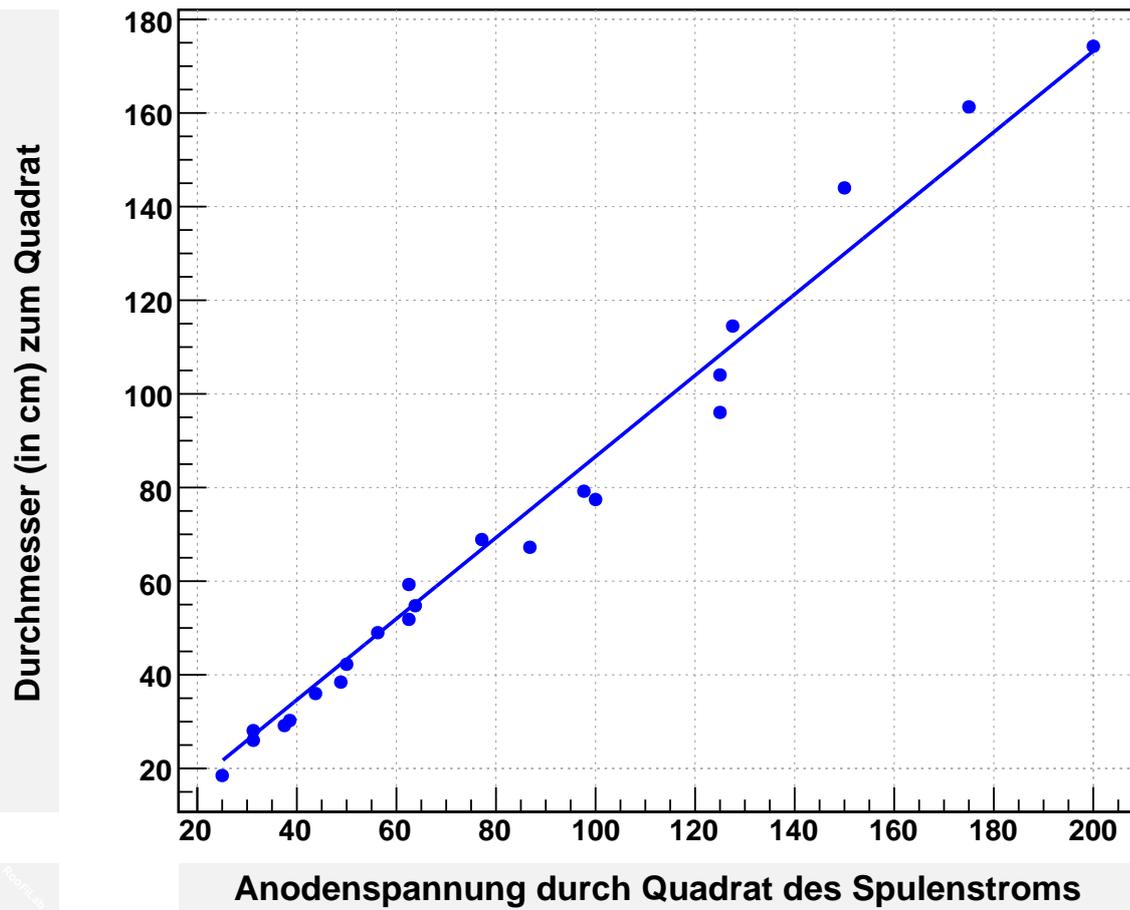


Abbildung 6: Bestimmung der Proportionalitätskonstante k

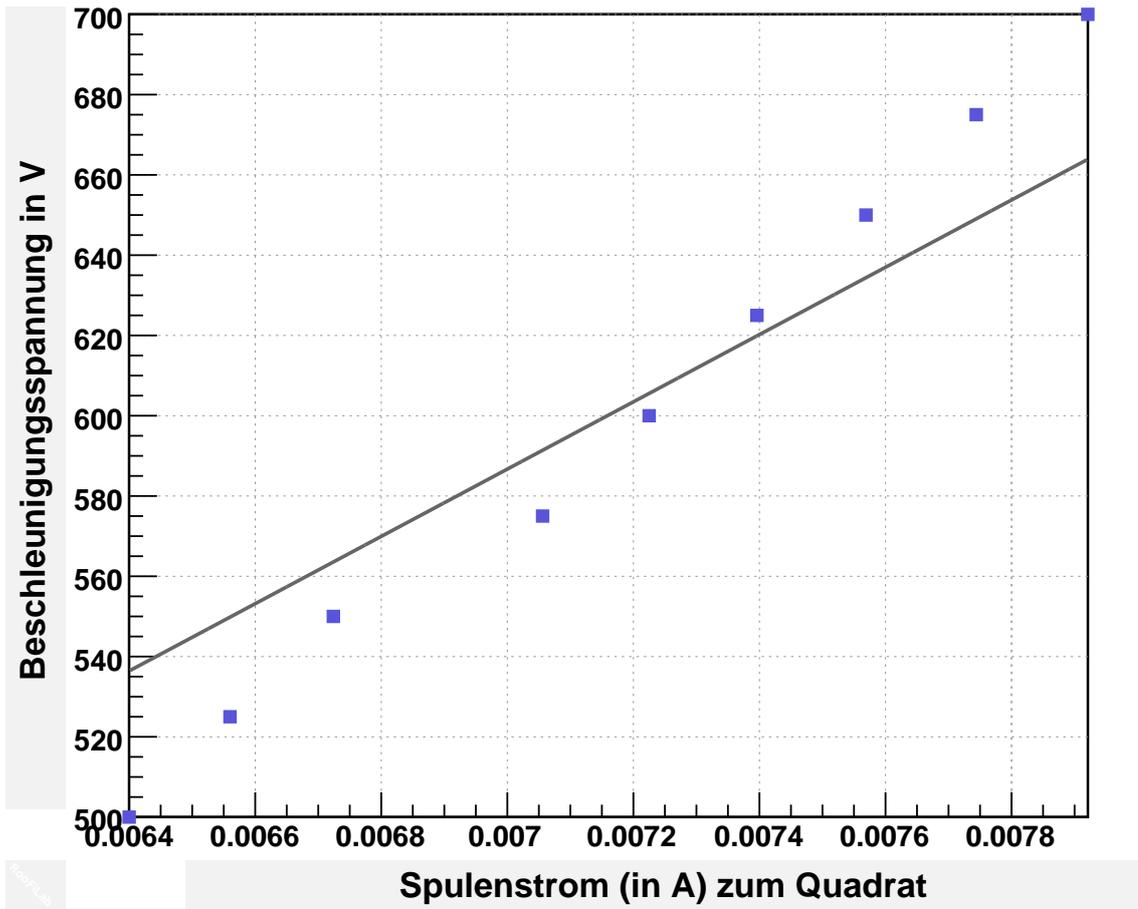


Abbildung 7: Gerade zur Ermittlung von e/m