

Prak.: P1 Semester: WS15/16 Wochentag: Mo Gruppennr.: 25

Name: Kosinski Vorname: Daniel

Name: Petersen Vorname: Patrick

Emailadresse(n): patrick.petersen91@gmail.com, daniel.kosinski1991@gmail.com

Versuch: Bestimmung von  $e/m$  des Elektrons (P1-75) Fehlerrech.: Nein

Betreuer: Denise Müller Durchgeführt am: 26.10.15

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Rückgabe am: \_\_\_\_\_ Begründung:

2. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Ergebnis: + / 0 / - Fehlerrechnung: Ja / Nein

Datum: \_\_\_\_\_ Handzeichen: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Messprotokoll</b>	<b>4</b>
<b>3. Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>4. e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr</b>	<b>8</b>
4.1. Untersuchung des Feldes eines Helmholtzspulenpaars . . . . .	8
4.2. Kalibrieren der Hallsonde . . . . .	9
4.3. Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wert des Mittenfeldes zwischen den Helmholtzspulen . . . . .	10
4.4. Messung des Durchmessers der Elektronenkreisbahn im Fadenstrahlrohr . .	10
<b>5. e/m-Bestimmung nach Methode von Busch</b>	<b>12</b>
5.1. Vorbereitung des Versuchs . . . . .	12
5.2. Messung des nötigen Spulenstroms für die Beschleunigungsspannung . . . .	12
<b>Anhang</b>	<b>13</b>
A. Erster Abschnitt des Anhangs . . . . .	13
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>14</b>

# Abbildungsverzeichnis

4.1. Verwendeten Messplatte mit Umgebung des homogenen Magnetfeldes . . .	8
4.2. Hallspannungsmesswerte für Stromstärken (1A,1.5A,2A) . . . . .	9
4.3. Eichspulengerade . . . . .	10

# Tabellenverzeichnis

4.1. Hallspannungen der Helmholtzspulenpaares . . . . .	9
---	---

4.2. Berechnete magnetische Flussdichte der Eichspule . . . . .	10
---	----





FAKULTÄT FÜR PHYSIK, Universität Karlsruhe (TH)  
Physikalisches Praktikum P1 für Physiker und Lehramtskandidaten



## Versuche P1-72, 74, 75: Bestimmung von $e/m$ des Elektrons

Raum F1-14

Sie bestimmen bei diesem Versuch die spezifische Ladung des Elektrons nach zwei verschiedenen Methoden, von denen jede ihre besonderen Vor- und Nachteile hat. Der Versuch bietet Gelegenheit zur Beschäftigung mit der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern, mit dem Magnetfeld stromdurchflossener Leiter und mit der Hallsonde als Meßgerät für Magnetfelder.

**Hinweis:** Es werden gefährliche elektrische Spannungen verwendet. Während des Aufbaus und während aller Veränderungen an den Schaltungen dürfen daher keine Geräte eingeschaltet sein. Bei jeder neuen Schaltung ist das erste Einschalten nur nach Kontrolle durch den Betreuer erlaubt.

### Aufgaben:

#### 1. $e/m$ -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

**1.1 Untersuchung des Feldes eines Helmholtzspulenpaars.** Bauen Sie vor dem Plexiglkasten mit Helmholtzspulen und Fadenstrahlrohr die zusätzliche Helmholtzspule mit Meßplatte so auf, dass sich die Meßplatte in der Mittelebene zwischen zwei Spulen befindet. Die Anordnung gleicht der Spulenordnung, in der sich das Fadenstrahlrohr befindet. Die Spulen beiderseits der Meßplatte sind in Reihe zu schalten. Die Anschlüsse der betreffenden Spule im Plexiglkasten sind an extra Buchsen herausgeführt. Die Meßplatte kann an etlichen vorgesehenen Stellen die Hallsonde aufnehmen.

**Messen Sie die Hallspannungen an den vorgesehenen Stellen** für die Spulenströme 1,0; 1,5; und 2,0A.

**Hinweis:** Lassen Sie die Hallsonde nicht allzu lange eingeschaltet, damit sie nicht überhitzt. Dadurch vermeiden Sie eine temperaturabhängige Drift der Hallspannung.

**1.2 Kalibrieren Sie die Hallsonde** mit Hilfe des berechenbaren Feldes der langen Eichspule. Messen Sie etwa 10 Wertepaare (Hallspannung/Spulenstrom) und berechnen Sie daraus die Eichgerade  $B(U_{\text{Hall}})$ . Der Bereich der hier gemessenen Hallspannungen sollte zu den bei Aufgabe 1.1 gemessenen Werten passen.

**1.3 Vergleichen Sie den gemessenen Wert des Mittenfeldes zwischen den Helmholtzspulen mit dem berechneten Wert. Überprüfen Sie die Feldhomogenität bei der vorliegenden Spulenordnung.** Unter der Voraussetzung Spulenradius = Spulenabstand =  $R$  gilt für das Mittenfeld

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

Dabei ist  $n$  die Windungszahl der Spule und  $I$  der Strom in der Spule.

#### 1.4 Messen Sie den Durchmesser der Elektronenkreisbahnen im Fadenstrahlrohr

a) in Abhängigkeit der Anodenspannung (z.B. 100; 125; ... 250V) bei zwei Spulenströmen (z.B. 1A und 2A),  
b) in Abhängigkeit vom Spulenstrom (z.B. 1,0; 1,2; ... 2,0A) bei zwei Anodenspannungen (125V und 250V).  
Dabei ist die Zusatzspule wieder abgebaut. Fadenstrahlrohr und Spulen sind entsprechend Schaltung-1 angeschlossen. An den vorgesehenen Stellen sind die Sicherheitskabel zu benutzen. Die Durchmesserbestimmung erfolgt parallaxenfrei mittels verschieblicher Marken vor und eines Spiegels hinter dem Fadenstrahlrohr. Die Röhre muß in der Halterung so orientiert werden, daß sich Kreisbahnen und nicht Spiralen ergeben. Tragen Sie die Ergebnisse zur Kontrolle der theoretischen Abhängigkeiten zunächst in geeignete nach 1.4a und 1.4b getrennte Koordinatensysteme ein. Fassen Sie dann alle Ergebnisse in einem geeigneten Koordinatensystem zusammen und entnehmen Sie diesem den Wert von  $e/m$ .

#### 2. $e/m$ -Bestimmung nach der Methode von Busch

**2.1 zur Vorbereitung:** Die Oszillographenröhre innerhalb des Plexiglaszylinders und der beweglichen Magnetspule wird über das zugehörige Steuerpult mit allen notwendigen Spannungen versorgt. Die Deflektorspannung kann wahlweise mit einem der beiden Ablenkplattenpaare verbunden werden wobei beide Platten des unbenutzten Paares mit den Kurzschlussbrücken auf Massepotential gelegt werden müssen. Stellen Sie eine niedrige Beschleunigungsspannung (ca. 300V) ein. Wählen Sie bei abgeregeltem Magnetfeld die Deflektorspannung so, dass ein maximal langer Strich auf dem Schirm erscheint. Stellen Sie die Strahlintensität (Spannung an  $g_1$ ) und den Fokus (Spannung an  $g_3$ ) sinnvoll ein. Steigern Sie dann langsam

den Magnetspulenstrom und beobachten Sie die resultierende Bildveränderung. Diskutieren Sie deren Zustandekommen. Stellen Sie schließlich den Spulenstrom so ein, daß alle Elektronen den Schirm auf einem möglichst kleinen Fleck treffen. Versuchen Sie, einen höheren Spulenstrom einzustellen, bei dem abermals der Strich zu einem kleinen Fleck wird.

**2.2 Messen Sie den für Einstellungen wie bei 2.1 nötigen Spulenstrom I für Beschleunigungsspannungen U von 200V bis 700V in 50V-Schritten. Tragen Sie U über  $I^2$  auf und ermitteln Sie e/m aus der Geradensteigung.** Bedenken Sie, daß die Spule nicht 'lang' und folglich  $B \neq B_0 = \mu_0 \cdot I \cdot n/L$  ist. Sie müssen längs der Strecke vom Deflektorzentrum bis zum Leuchtschirm über folgende empirische Formel mitteln:

$$B = B_0 \cdot K = \left\{ \mu_0 I \frac{n}{L} \right\} \times \left\{ 0,567 \times \left( \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} + \frac{L-a}{\sqrt{R^2 + (L-a)^2}} \right) \right\}$$

Dabei ist a der Abstand des Feldortes von einem Spulenende, L=0.2m die Länge der Spule und R=0.045m der mittlere Radius der Spulenwicklung (siehe Graphik-1). Der Korrekturfaktor K ist ein reiner Geometriefaktor und hängt vom gewählten Deflektortpaar ab.

#### Hinweise:

Vermeiden Sie eine hohe Leuchtdichte an der Oszillographenröhre, **damit der Schirm nicht einbrennt!**

Der mechanische Aufbau im Innern einer Oszillographenröhre ist nicht so perfekt, daß der Strahl die Schirmmitte treffen muss. Das ist kein Fehler am Gerät.

Für **ausführliche Fehlerrechnung** soll die Messung nicht nur mit dem Ablenkplattenpaar  $d_1$ , sondern auch mit dem Paar  $d_2$  durchgeführt werden.

#### Zubehör:

##### Für beide Aufgabenteile:

Gleichstromnetzgerät für die Magnetfelder: - die Helmholtzspulen, die Eichspule bzw. die Zylinderspule;  
Multimeter zur Strommessung;  
mm-Maßstab; Taschenlampe;

##### Für die Messungen mit Fadenstrahlrohr:

Fadenstrahlrohr (Glühkathode mit indirekter Heizung, Wehneltzylinder, kegelförmige Anode, gefüllt mit Wasserstoffgas, ca. 0,013mbar);

Betriebsgerät für das Fadenstrahlrohr (0-300V= als Anodenspannung und -20-0V= als Wehneltspannung, wobei der Frontplattenschalter nach oben zeigen muß; außerdem 6,3V~ als Heizspannung)

Helmholtzspulenpaar (**max. 2A**) Windungszahl je  $n=130$ ; mittl. Radius R = mittl. Spulenabstand  $2a = 15\text{cm}$ ; Spiegel und Schiebemarken zum parallaxenfreien Messen des Elektronenstrahl-Kreisdurchmessers, eingebaut in einem Plexiglaskasten zur Vermeidung der Implosionsgefahr;

Zusätzlich eine einzelne Helmholtzspule auf Brett und mit Meßplatte (Bohrungen für die Hallsonde in 3cm-Abständen);

Hallsonde mit Betriebsgerät;

Millivoltmeter (Knick) für die Hallspannung, (Genauigkeit  $\pm 1\%$  **Achtung:** Gebrauchslage beachten!);

Eichspule für die Hallsonde (**max. 0.8A**) (L=300mm;  $\varnothing=20\text{mm}$ ;  $n=750$  Windungen  $\pm 1\%$ );

##### Für die Messungen nach Busch:

Oszillographenröhre (Typ DG7-32; Abstände der beiden Deflektorzentren  $d_1$  und  $d_2$  vom Leuchtschirm S:

$$d_1-S = (88 \pm 1)\text{mm}, d_2-S = (70 \pm 1)\text{mm};$$

Betriebsgerät für die Oszillographenröhre (0 - 700V Beschleunigungsspannung, mit Intensität und Fokus);

Netzgerät für die Deflektorspannung (zum Einspeisen ins Betriebsgerät);

Zylinderspule (**max. 2A**) L =  $(200 \pm 0,5)$  mm, R =  $(45 \pm 0,5)$  mm;  $n = 3000$  Windungen;

Abstand Spulenende zum Leuchtschirm = 50 mm (Magnet am Anschlag);

#### Literatur:

Schpolksi: *Atomphysik*, Bd. 1

Bergmann, Schaefer: *Experimentalphysik*; Bd. 2

Gerthsen, Kneser, Vogel: *Physik*

Walcher: *Praktikum der Physik*

### 3. Einleitung

In dem durchgeführten Versuch wird mittels eines Fadenstrahlrohres und der Methode von Busch die spezifische Elektronenladung bestimmt.

Bei der Bestimmung mittels Fadenstrahlrohr (siehe Kapitel 4.1) wird ausgenutzt, dass Elektronen im Magnetfeld aufgrund der Lorentzkraft eine Kreisbahn bilden und bei Kollision mit dem Wasserstoffgasmolekülen Photonen abgeben, welche wiederum als leuchtender Elektronenstrahl sichtbar werden.

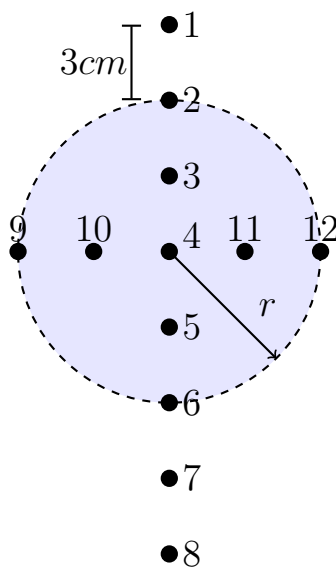
Hingegen wird bei der Methode von Busch (siehe Kapitel 5) eine Braun'sche Röhre verwendet, bei welcher die Elektronen von der Kathode zur Anode beschleunigt und auf einem Leuchtschirm auftreffen. Mit geeigneter Beschleunigungsspannung und Spulenstrom kann die spezifische Elektronenladung bestimmt werden.

Mit Hilfe der beiden Methoden wird ein Wert für die spezifische Elektronenladung ermittelt, mit dem Literaturwert ( $1.759 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ )[?] verglichen und potentielle Fehlerquelle diskutiert.

## 4. e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

### 4.1. Untersuchung des Feldes eines Helmholtzspulenpaars

Um die Hallspannung zu bestimmen, bauten wir die zusätzliche Helmholtzspule mit Messplatte entsprechend der Aufgabenbeschreibung auf. Anschließend führten wir einen Nullabgleich der Hallsonde durch um den vorherrschenden geomagnetischen Feldern als auch anderen Störeinflüsse während der Messung entgegen zu wirken. Hier stellten wir bereits fest, dass kleinste Berührungen an den Messgeräten, Kabeln und anderen Anschlüssen den Nullabgleich leicht veränderten, weshalb wir bei jedem Umbau während der Abarbeitung der einzelnen Versuche, vor jeder neuen Messreihe erneut einen Nullabgleich durchführten. Wir stellten ebenso fest, dass das digitale Strommessgerät keinen konstanten Wert anzeigte und dieser während des Versuchs abnahm. Dieses Phänomen können wir nicht erklären. Vermutlich ist es durch die systematischen Fehler des Messgeräts aufgetreten. Außerdem mussten wir feststellen, dass das analoge Spannungsmessgerät ähnliche Fehler hatte.



**Abbildung 4.1.:** Verwendeten Messplatte mit Umgebung des homogenen Magnetfeldes

Entsprechend Anweisung seitens unserer Betreuerin, als auch den Hinweisen der Aufgabenbeschreibung maßen wir den ersten und höchsten Ausschlag der Hallspannung für die jeweilige Spulenströme von  $1A$ ,  $1.5A$  und  $2A$  an den vorgegebenen Positionen der Messplatte (siehe Abbildung 4.1). Aufgrund der zuvor erwähnten Empfindlichkeit der Hallsonde führten wir die Messung für  $1A$  erneut durch, da diese anfangs uns falsch erschienen.



	I = 1 A	I = 1.5 A	I = 2 A
Punkt	$U_h$ [mV]	$U_h$ [mV]	$U_h$ [mV]
1	0.105	0.16	0.2
2	0.112	0.165	0.21
3	0.112	0.165	0.215
4	0.112	0.165	0.215
5	0.112	0.165	0.215
6	0.112	0.16	0.21
7	0.106	0.15	0.2
8	0.087	0.12	0.165
9	0.108	0.16	0.21
10	0.108	0.16	0.215
11	0.108	0.16	0.215
12	0.11	0.16	0.21

Tabelle 4.1.: Hallspannungen der Helmholtzspulenpaars

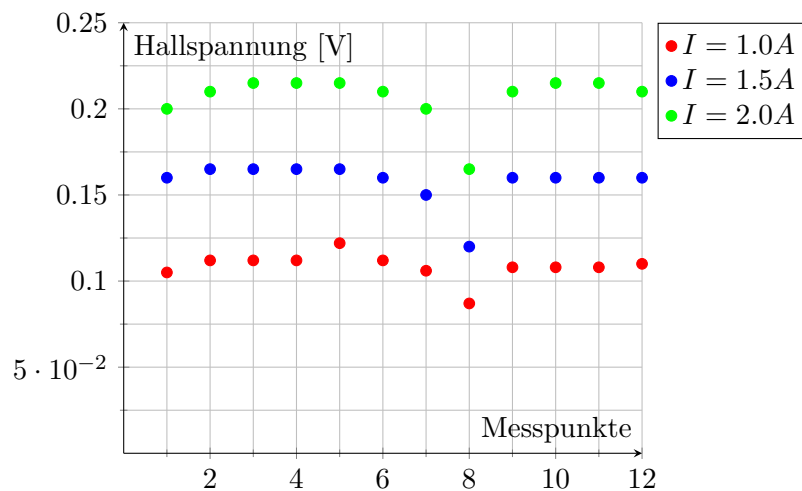


Abbildung 4.2.: Hallspannungsmesswerte für Stromstärken

Abbildung 4.2 zeigt die magnetische Flussdichte abhängig von den Messpunkten. Zu sehen ist, dass das Feld im Radius von 6 cm um den Punkt 4 recht homogen ist. Dieser Aspekt lässt sich mit den Eigenschaften des Helmholtzspulenpaares bezüglich der Feldhomogenität vereinbaren. Außerdem ist ein deutlicher Abfall der magnetischen Flussdichte im Punkt 8 zu sehen, da dieser außerhalb der Radius liegt

## 4.2. Kalibrieren der Hallsonde

Um die Hallsonde möglichst genau zu Eichern wurde sie in die Mitte der Spule eingeführt und zehn Messungen der Hallspannung durchgeführt. Anhand der Formel für lange Spulen:

$$B_{spule} = \mu_0 \cdot \frac{n \cdot I}{L}$$

kann die magnetische Flussdichte der Spule bestimmt werden. Die Maßzahlen der Eichspulen sind  $L = 300 \text{ mm}$ ,  $d = 20 \text{ mm}$ ,  $n = 750$  Windungen. Für die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  wurde der Literaturwert  $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$  verwendet.

Um die Eichgerade zu bestimmen wird das Gleichgewicht zwischen der Lorentzkraft und der elektrischen Kraft ausgenutzt:

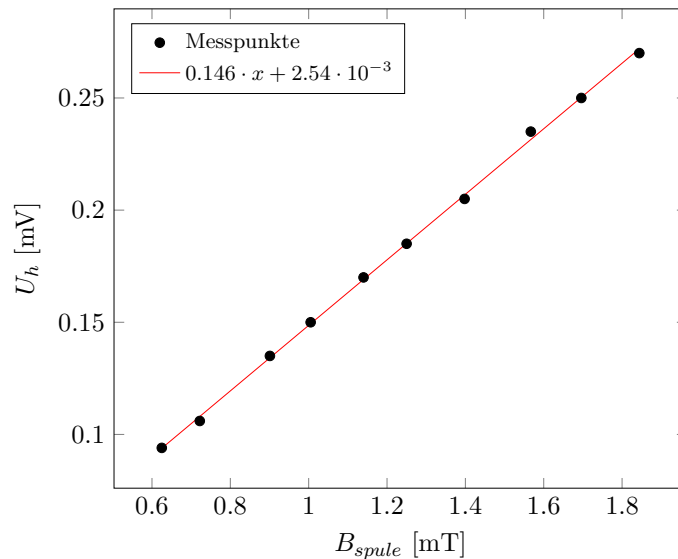
$$\begin{aligned} F_{\text{lorentz}} &= F_{\text{elektrisch}} \\ q \cdot v \cdot B_{\text{spule}} &= q \cdot E \quad | \quad E = \frac{U_h}{d} \\ B_{\text{spule}} &= \frac{1}{v \cdot d} \cdot U_h \Rightarrow m = \frac{1}{v \cdot d} \end{aligned}$$

Somit lässt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Hallspannung und magnetischen Flussdichte herstellen. Die Steigung  $m$  ist nur von der Spannung der Hallsonde abhängig und somit konstant.

Sie lässt sich aus den Messwerten (siehe Tabelle 4.2) mit linearer Regression (siehe Abbildung 4.3) berechnen und liegt bei  $m = 0.146 \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$ . Außerdem stimmen die gemessenen Hallspannungen etwa mit den Messungen aus Tabelle 4.1 überein.

I [A]	$U_h$ [mV]	$B_{\text{spule}}$ [mT]
0.199	0.094	0.625
0.230	0.106	0.722
0.287	0.135	0.901
0.320	0.15	1.005
0.363	0.17	1.140
0.398	0.185	1.250
0.445	0.205	1.398
0.499	0.235	1.567
0.540	0.25	1.696
0.587	0.27	1.844

**Tabelle 4.2.:**  
Berechnete magnetische Flussdichte der Eichspule



**Abbildung 4.3.:** Eichspulengerade

### 4.3. Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wert des Mittelfeldes zwischen den Helmholtzspulen

Um die Genauigkeit unserer Messwerte und dem daraus berechneten Magnetfeld zu überprüfen haben wir für die drei Stromstärken 1A, 1.5A, und 2A unseren gemessenen als auch den Soll-Wert verglichen. Die Abweichungen vom Sollwert sind in Prozent angegeben.

In XX sieht man, dass aufgrund der zuvor beschriebenen Messunsicherheiten seitens der Messgeräte (siehe Kapitel 1,111) sowie den sich fortpflanzenden Fehlern während der Nullabstimmung als auch der in 1.2 beschriebenen Eichung, Abweichungen auftreten. So erhielten wir dennoch Abweichungen die noch sehr gering sind.

Im Nachfolgenden wird nun mit dem Sollwert weiter gerechnet um die Fortpflanzung der zuvor beschriebenen Messunsicherheiten zu vermeiden.

### 4.4. Messung des Durchmessers der Elektronenkreisbahn im Fadenstrahlrohr

#### In Abhängigkeit der Anodenspannung

Entsprechend der Aufgabenbeschreibung bauten wir den Versuch auf und bestimmten für Anodenspannungen von 125V bis 250V bei jeweils 1A und 2A die zugehörigen Durchmesser

der Elektronenkreisbahn. Hierfür wählten wir einen adjazenten Abstand von 25V. Parallaxenfehler bei der Bestimmung des Durchmessers wurden gemäß Anordnung möglichst klein gehalten. Jedoch stellte sich das exakte bestimmen des Durchmessers als dennoch schwierig heraus, was an dem stellenweise diffusen Elektronenstrahl zuzuschreiben ist. Um möglichst gute Ergebnisse zu erzielen überprüften wir jeweils die Bestimmung des Durchmessers des jeweils anderen. Aufgrund der zu großen Kreisbahn und demndamit überschrittenen Messbereich unserer Versuchsanordnung konnten wir bei 1A für Anodenspannungen größer als 200V keinen Durchmesser der Kreisbahn bestimmen. Hingegen konnten wir bei 2A für alle Anodenspannungen einen Durchmesser bestimmen. So ermittelten wir die in Abbildung XX gezeigten Messwerte.

### **In Abhängigkeit des Spulenstroms**

Nun untersuchten wir entsprechend der Aufgabenbeschreibung in b die Durchmesser der Elektronenkreisbahn für zwei feste Beschleunigungsspannungen (150V und 250V) für Spulenströme zwischen 1A bis 2A. Hierfür wählten den adjazenten Abstand von 0.2A. Auch hier trat das soeben beschriebene Problem des Diffusen Elektronenstrahls auf. Bis auf den Messwert für 1A bei 250V konnten wir für jede Konfiguration einen Durchmesser bestimmen, welche in Abbildung XX zu sehen sind.

## 5. e/m-Bestimmung nach Methode von Busch

### 5.1. Vorbereitung des Versuchs

Entsprechend Aufgabenbeschreibung stellten wir die Ablenkspannung und Deflektorspannung so ein, dass wir einen maximal langen Strich erhielten. So konnten wir beobachten, dass bei Änderung der Ablenkspannung XX passiert und bei der Deflektorspannung YY. Beim Einstellen des maximal langen Strichs stellten wir fest, dass der Strich mittig unterbrochen schien bzw. weniger intensiv war. Ebenso war es schwierig mit zuvor eingestellten Messwerten einen exakten Punkt zu erzielen. Nach einigen Justierungen konnten wir einen möglichst kleinen Punkt auf dem Schirm der Kathodenstrahlen erzielen.

### 5.2. Messung des nötigen Spulenstroms für die Beschleunigungsspannung

Gemäß Aufgabe stellten wir die Beschleunigungsspannung auf Werte zwischen 500V und 700V. Hierfür wählten wir eine Schrittweite von 50V und führten den nötigen Spulenstrom zu, welcher nötig war um für die unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen einen Punkt auf den Schirm zu erzielen. Die nötigen Spulenströme für die jeweiligen Beschleunigungsspannungen sind in Abbildung enthalten.

# Anhang

## A. Erster Abschnitt des Anhangs

Dies ist der erste ganz tolle Abschnitt des Anhangs.

# Literaturverzeichnis