

Durchführung: 24.04.2018  
Abgabe: 08.05.2018

## PRAKTIKUMSPROTOKOLL V501/2

# ABLENKUNG EINES ELEKTRONENSTRAHLS IM ELEKTRISCHEN/MAGNETISCHEN FELD

Carolin Harkort<sup>1</sup>,  
Jacqueline Schlingmann<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>carolin.harkort@tu-dortmund.de

<sup>2</sup>jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

# 1 Einleitung

In diesem Versuch wird die Ablenkung eines Elektronenstrahls in einem magnetischen und einem elektrischen Feld untersucht. Dabei wird die spezifische Ladung der Elektronen, und die Intensität des Erdmagnetfeldes bestimmt.

## 2 Theorie

### 2.1 Aufbau einer Kathodenstrahlröhre

Um die Ablenkungen des Elektronenstrahls messen zu können, muss eine Kathodenstrahlröhre verwendet werden. Innerhalb dieses Vakuums kann es nicht zur Wechselwirkung zwischen Elektronen und Luftmolekülen kommen. Die Kathodenstrahlröhre besteht aus einer „Elektronenkanode“, indem die freien Elektronen erzeugt werden, einem Ablenk- und einem Nachweissystem.

Die freien Elektronen werden durch eine Glühemission erzeugt. Dabei wird die Kathode durch einen Strom erhitzt. Die Kathode ist von einem Wehnelt-Zylinder umgeben. Sein negatives Potential macht es möglich die Intensität des Elektronenstrahl zu steuern.

Der Aufbau der Kathodenstrahlröhre ist in Abbildung 1 zu sehen.

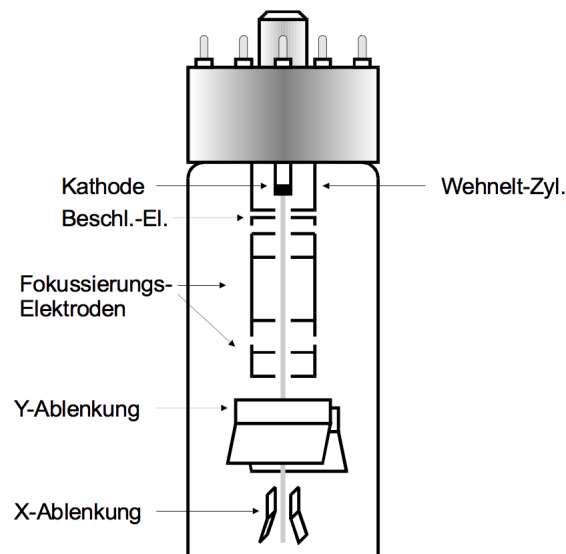


Abbildung 1: Querschnitt einer Kathodenstrahlröhre[2]

## 2.2 Ablenkung im elektrischen Feld

In einem homogenen elektrischen Feld ist auf ein Elektron wirkende Kraft  $\vec{F}$  durch

$$|\vec{F}| = |e_0 \vec{E}| = e_0 \frac{U_d}{d} \quad (1)$$

gegeben. Die Geschwindigkeit  $v_y$  der in y-Richtung gleichmäßig beschleunigte Bewegung kann durch

$$v_y = \frac{F}{m_0} \Delta t \quad (2)$$

beschrieben werden. Aus Gleichung 1 und 2 folgt dann

$$v_y = \frac{e_0 \cdot U_d \cdot \Delta t}{m_0 \cdot d}. \quad (3)$$

Die Verschiebung des Leuchtflecks D wird durch

$$D = \frac{e_0 \cdot L \cdot U_d \cdot p}{m_0 \cdot d \cdot v^2} \quad (4)$$

beschrieben.

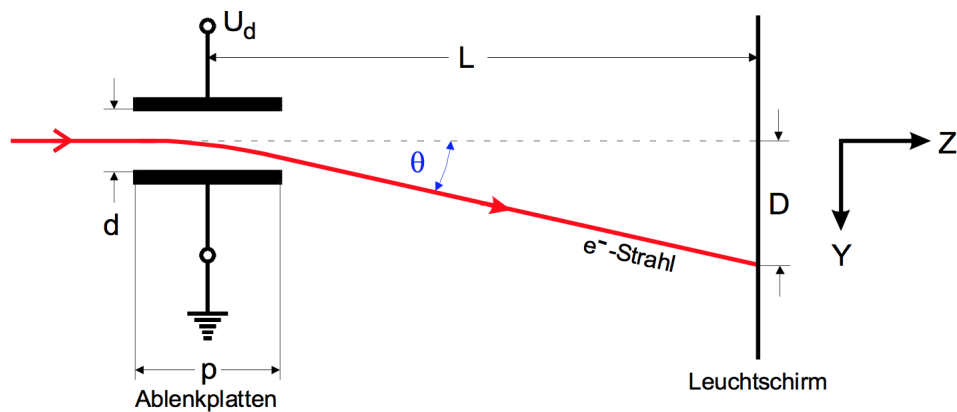


Abbildung 2: Strahlablenkung in einer Kathodenstrahlröhre[2]

## 2.3 Prinzip des Kathodenstrahl-Oszillographen

Mit einem Kathodenstrahl-Oszillographen wird die Zeitabhängigkeit von Wechselspannungen dargestellt. Hierfür wird eine Sägezahnspannung an ein in x-Richtung ablenkendes Plattenpaar angelegt. An die in y-Richtung ablenkenden Platten wird die zu untersuchende Spannung angeschlossen. Die Synchronisationsbedingung ist erfüllt, wenn Sägezahn- und Wechselspannungsfrequenz in einem geeigneten Verhältnis zueinander stehen. Für

$$n \cdot \nu_{\text{sä}} = m \cdot \nu_{\text{we}} \quad (5)$$

mit  $n, m \in \mathbb{N}$  ist dies der Fall.

## 2.4 Ablenkung im magnetischen Feld

Bewegt sich ein geladenes Teilchen mit Geschwindigkeit  $\vec{v}$  und Ladung  $q$  im magnetischen Feld  $\vec{B}$ , wirkt auf dieses die Lorentzkraft

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}). \quad (6)$$

Durch das Gleichsetzen von Lorentz- und Zentripetalkraft gilt für den Krümmungsradius

$$r = \frac{m_0 v_0}{e_0 B}. \quad (7)$$

Die Verschiebung des Leuchtflecks  $D$  auf dem Leuchtschirm ist durch

$$r = \frac{L^2 + D^2}{2D} \quad (8)$$

gegeben. Die spezifische Ladung der Elektronen  $\frac{e_0}{m_0}$  kann dann durch

$$\frac{L^2 + D^2}{2D} = \frac{m_0 v_0}{e_0 B} \quad (9)$$

bestimmt werden.

Durch das Einschalten der Helmholtzspule ergibt sich für die Flussdichte  $B$  im Mittelpunkt

$$B = \mu_0 \frac{8NI}{\sqrt{125}R} \quad (10)$$

mit der magnetischen Feldkonstanten  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$ .

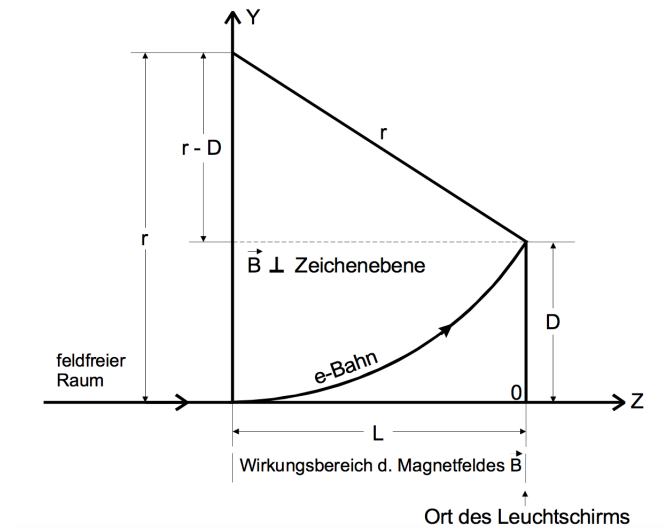


Abbildung 3: Skizze zur Ableitung einer Beziehung zwischen  $L$ ,  $D$  und  $r$ . [2]

### 3 Durchführung

Zu Beginn des Versuchs wird je eine Platte der X- und Y-Achsensysteme geerdet. Danach wird die Messapparatur eine Minute lang erhitzt. Erst danach kann eine Hochspannung angelegt werden. Die Spannung wird so eingestellt, dass der Leuchtfleck so klein und scharf wie möglich ist. Dieser wird zu erst auf das unterste Gitter des Schirm zentriert.

#### 3.1 Bestimmung der spezifischen Ladung der Elektronen

Unter fünf unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen  $U_B$  zwischen 230 und 450 V wird die Auslenkung in Abhängigkeit des Stroms gemessen. Dafür wird der Leuchtfleck auf die unterste Vertikale gelegt. Von da aus wird an jeder Vertikale der Strom  $I_d$  aufgenommen.

#### 3.2 Bestimmung der Intensität des lokalen Erdmagnetfeldes

Zur Bestimmung der Intesität des Erdmagnetfeldes wird die Kanodenstrahlröhre in Nord-Süd- Richtung ausgerichtet und die Helmholtzspule ausgeschaltet. Der Leuchtfleck wird in den Koordinatenursprung gelegt. Anschließend wird die Apparatur in Ost-West-Richtung gedreht, die Helmholtzspule wieder eingeschaltet und die Ablenkung des Leuchtflecks durch einen Spulenstrom kompensiert. Durch das Einschalten der Helmholtzspule wird ein magnetisches Feld erzeugt. Das Spulenfeld gleicht dann genau das horizontale Magnetfeld der Erde aus.

Für die Bestimmung der Totalintensität muss Inklinationwinkel  $\varphi$  gemessen werden.

Der Inklinationswinkel ist der Winkel zwischen Horizontalebene und der Richtung des Erdmagnetfeldes. Um diesen Winkel zu bestimmen, wird ein Inklinatorium verwendet. Das Inklinatorium wird in Nord-Süd-Richtung eingestellt, sodass der Flächennormalenvektor senkrecht zum Boden steht. Danach wird das Inklinatorium um  $90^\circ$  gedreht. Jetzt steht der Flächennormalenvektor parallel zum Boden und der Inklinationswinkel kann abgelesen werden.

### 3.3 Proportionalitätsüberprüfung

Für dieselben Beschleunigungsspannungen  $U_B$  zwischen 230 und 450 V wird die Proportionalität zwischen Ablenkspannung und Leuchtfleckverschiebung untersucht. Dabei wird wieder der Leuchtfleck zuerst auf die unterste Vertikale gelegt und danach auf jede andere Vertikale. Im Gegensatz zum ersten Versuchsteil wird hier allerdings die Spannung  $U_d$  in Abhängigkeit der Auslenkung  $D$  gemessen.

### 3.4 Kathodenstrahl-Oszillograph

Im letzten Versuchsteil werden stehende Wellen einer Sinusspannungen erzeugt. Bei einer konstanten Beschleunigungsspannung von 400 V werden die Frequenz und die Auslenkung für die vier Fälle  $n = \frac{1}{2}, 1, 2, 3$

$$n \cdot \nu_{s\ddot{a}} = \nu_{si} \quad (11)$$

aufgenommen.

## 4 Auswertung

### 4.1 Ablenkung des Elektronenstrahls im E-Feld

Die im Versuch gemessenen Werte sind in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1: Gemessene Spannung bei unterschiedlicher Auslenkung

Auslenkung (D/ Zoll)	Spannung ( $U_d$ / V)				
	bei 230V	bei 250V	bei 300V	bei 350V	bei 400V
0	-24,3	-26,5	-30,6		
0,25	-19,3	-22	-25,1	-30,7	-34,2
0,5	-15	-17,5	-21	-23,5	-27,6
0,75	-11,5	-12,7	-14,8	-17,74	-19,84
1	-7,4	-8,1	-9,6	-12,34	-12,31
1,25	-3,5	-3,55	-4,45	-5,7	-4,82
1,5	0,38	0,88	1,52	1,46	2,4
1,75	5,04	6,44	7,24	7,76	10,3
2	9,46	10,85	12,88	14,3	18

Zunächst wird der Abstand gegen die Spannung aufgetragen. Dafür werden die Angaben des Abstandes in Meter umgerechnet. Der ermittelte umrechnungsfaktor beträgt 0,0252 m/Zoll . Die entstandenen Graphen sind in den Abbildungen 4 - 8 zu sehen.

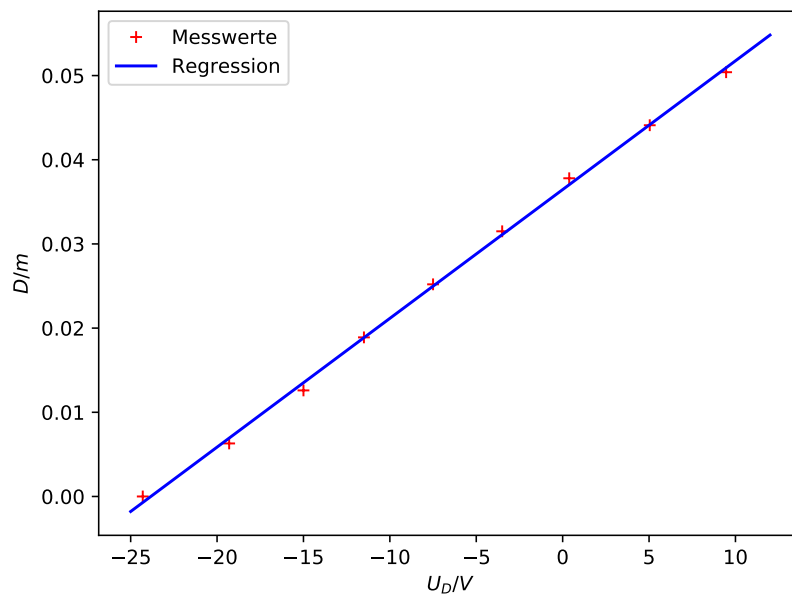


Abbildung 4: Empfindlichkeit für 230V

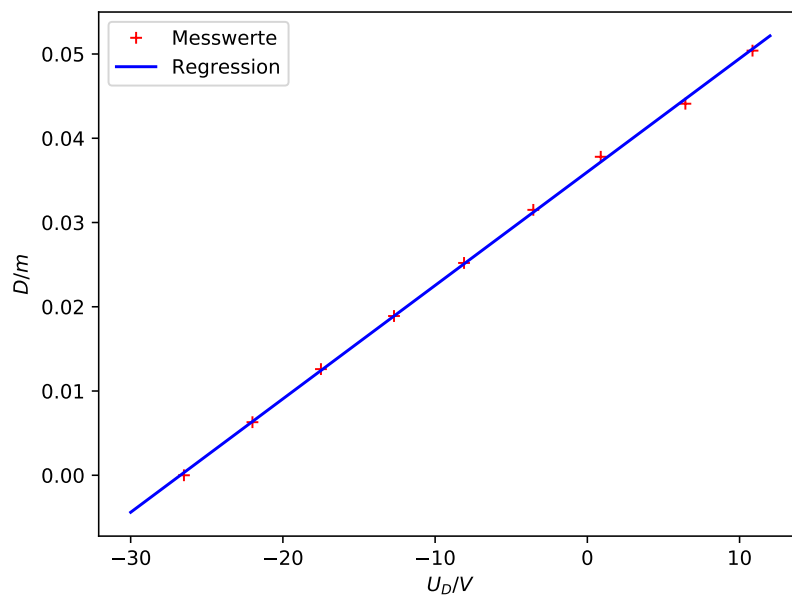


Abbildung 5: Empfindlichkeit für 250V



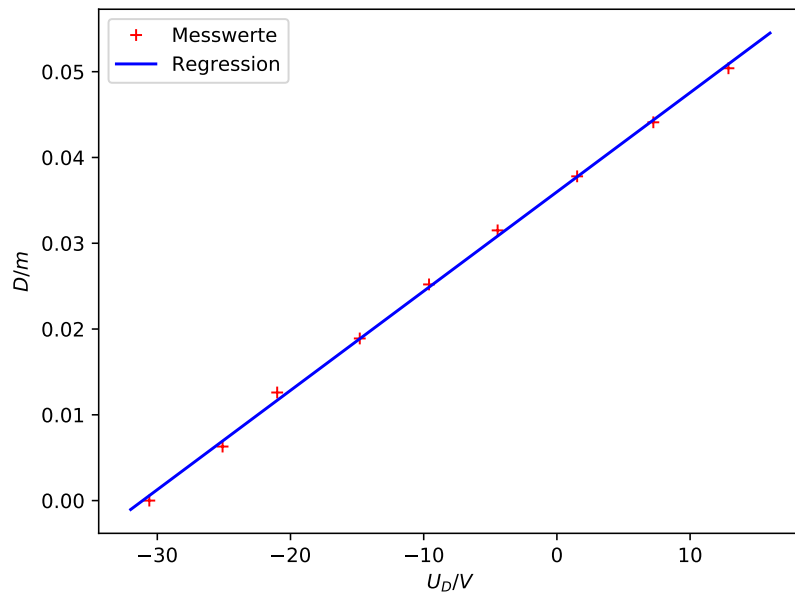


Abbildung 6: Empfindlichkeit für 300V

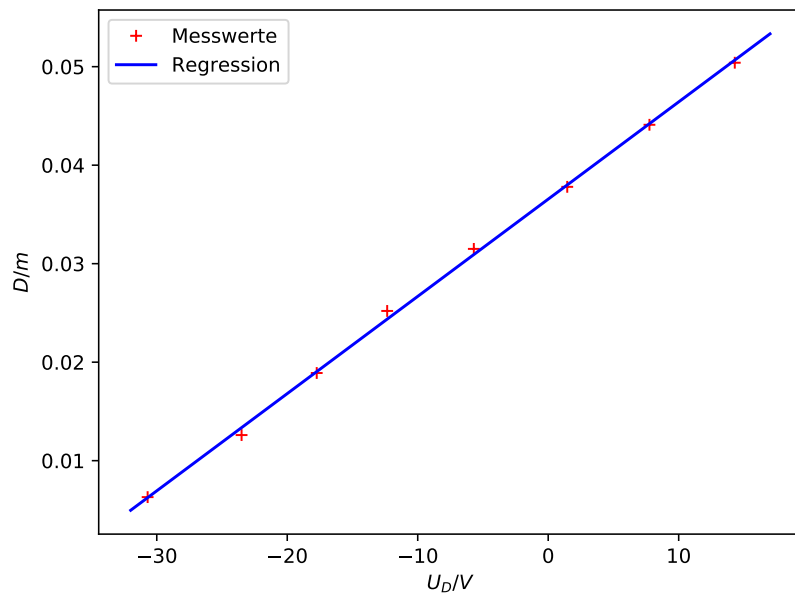


Abbildung 7: Empfindsamkeit für 350V

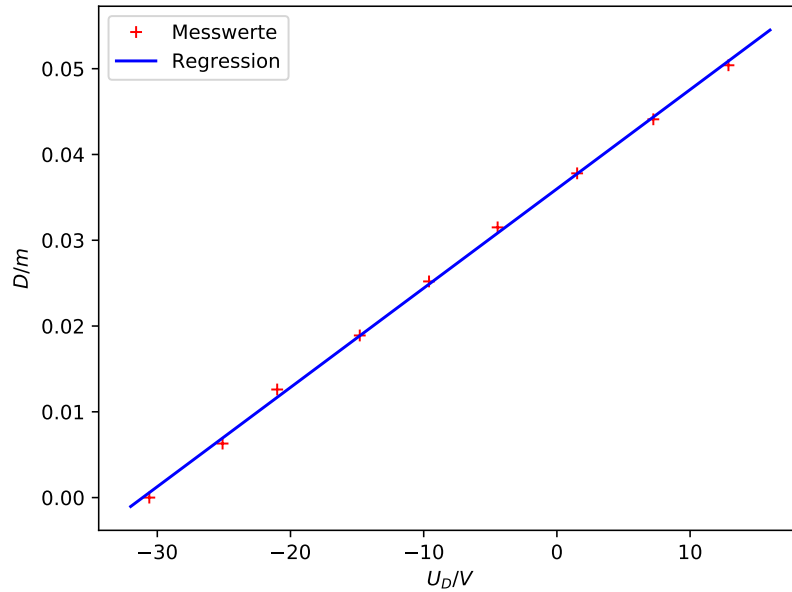


Abbildung 8: Empfindlichkeit für 400V

Aus Gleichung (4) folgt ein linearer Zusammenhang zwischen  $D$  und  $U_d$ . Somit folgt eine lineare Ausgleichsrechnung mit

$$D(U_d) = U_d \cdot a + b$$

Die Steigung  $a$  entspricht hierbei der Empfindlichkeit  $D/U_d$  für die unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen. Die Parameter  $a$  und  $b$  sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Parameter der Regression

Beschleunigungsspannung $U_B / V$	$C_{\text{empf.}} = a = \frac{D}{U_d} / (\frac{N}{C})$	$b / m$
230	$(0,001530 \pm 0,000020)$	$(0,001530 \pm 0,000020)$
250	$(0,001346 \pm 0,000010)$	$(0,001346 \pm 0,000010)$
300	$(0,001157 \pm 0,000014)$	$(0,001157 \pm 0,000014)$
350	$(0,000987 \pm 0,000013)$	$(0,000987 \pm 0,000013)$
400	$(0,000841 \pm 0,000006)$	$(0,000841 \pm 0,000006)$

Im Folgenden wird die Empfindlichkeit gegen  $1/U_B$  aufgetragen. Dies ist in Abbildung 9 zu sehen.

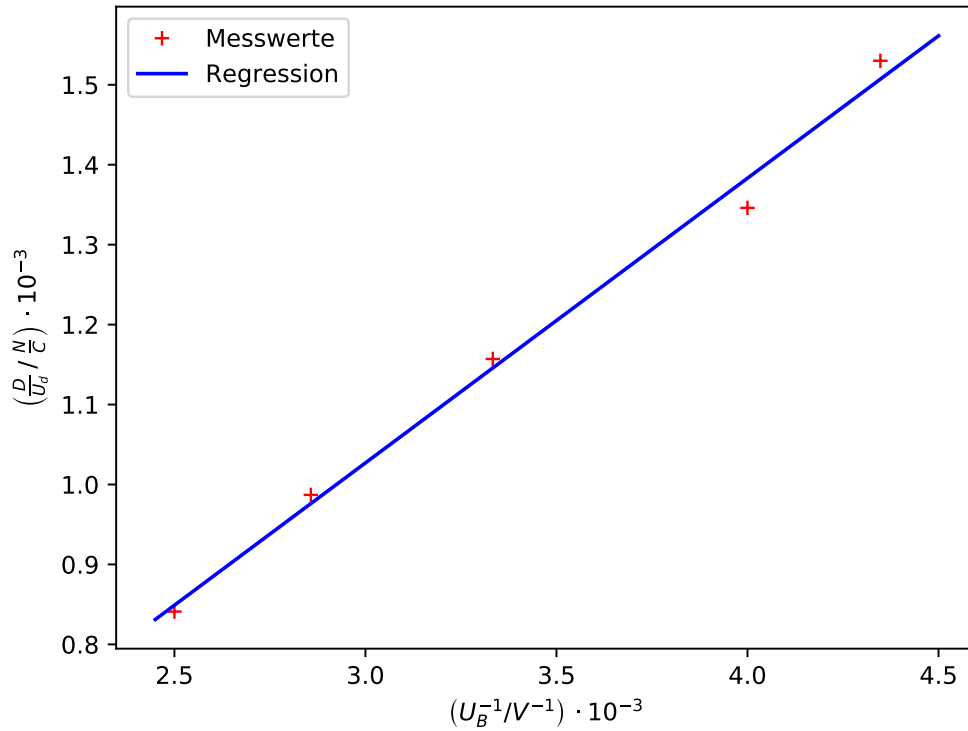


Abbildung 9: Empfindlichkeit gegen  $1/U_B$

Es wurde ebenfalls eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Die Formel lautet:

$$\frac{1}{U_b} \left( \frac{D}{U_d} \right) = a \cdot \frac{D}{U_d} + b$$

Die ermittelten Parameter betragen

$$C_{Messung} = a = (0,356 \pm 0,018) \text{ m}$$

$$b = (-0.04 \pm 0.06) \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Nun wird die Größe

$$C_{Theorie} = \frac{pL}{2d} \quad (12)$$

berechnet. Diese drei Größen werden aus der Anleitung entnommen. Dabei ist p die Länge der Ablenkplatten, d der Abstand der beiden Platten und L der Abstand der Platten zum Leuchtschirm. Die Größe d wird über die beiden Angaben in der Anleitung

gemittelt.

$$p = 1,9 \text{ cm} \quad (13)$$

$$d = (0,665 \pm 0,057) \text{ cm} \quad (14)$$

$$L = 15,33 \text{ cm} \quad (15)$$

Somit ergibt sich für Formel (12) ein Wert von 21,9 cm.

Die gemessenen Werte des zweiten Teils des Versuchs, sowie die errechneten Sinusspannungen sind in Tabelle 3 zu finden. Aus diesen Werten ergibt sich die Frequenz der Sinusspannung

$$f_{sin} = (80,10 \pm 0,39) \text{ Hz}$$

Dieser Fehler wurde mit

$$\Delta f_{sin} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} \sum (f_i - \bar{f}_i)^2}$$

bestimmt.

Tabelle 3: gemessene und errechnete Frequenzen

n	Auslenkung D /Zoll	f <sub>saege</sub> /Hz	f <sub>sin</sub> /Hz
2	3/8	195,60	97,8
1/2	3/8	40,3	80,6
1	3/8	80,87	80,87
1/3	3/8	26,38	79,14

Der Scheitelwert berechnet sich aus der Strahlauslenkung und der Empfindlichkeit der Röhre. Die Empfindlichkeit C<sub>empf.</sub>, bei der angesetzten Beschleunigungsspannung von 400 V, beträgt  $(0,841 \pm 0,006) \cdot 10^{-3} \text{ N/C}$ . Dieser Wert wurde aus Tabelle 2 entnommen.

Der Scheitelpunkt berechnet sich nun durch den Zusammenhang

$$U_d = \frac{D}{C_{empf.}}$$

Der Wert D wird aus Tabelle 3 entnommen und beträgt 3/8 Zoll. Für die Berechnung wird er mit dem Umrechnungsfaktor 0,0252 m/Zoll multipliziert. Der errechnete Wert beträgt  $(11,10 \pm 0,80) \text{ V}$ . Der Fehler berechnet sich durch

$$\sigma_{U_d} = \sqrt{\left(-\frac{D}{C^2} \cdot \Delta C\right)^2}$$

## 4.2 Ablenkung des Elektronenstrahls im B-Feld

Die gemessenen Werte für diesen Teil des Versuchs sind in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: Gemessener Strom bei unterschiedlicher Auslenkung

Auslenkung / Zoll	Strom (I/A)				
	bei 230V	bei 250V	bei 300V	bei 350V	bei 400V
0,25	0,3	0,315	0,4	0,4	0,4
0,5	0,64	0,64	0,76	0,78	0,82
0,75	0,97	0,98	1,05	1,15	1,2
1	1,25	1,25	1,4	1,55	1,6
1,25	1,55	1,6	1,7	1,9	2
1,5	1,75	1,75	2,05	2,25	2,35
1,75	2,05	2,2	2,45	2,7	2,8
2	2,35	2,5	2,8	3,05	3,2

Die Ablenkung wurde für die Erstellung der Plots hier ebenfalls in Meter umgeschrieben. In den Folgenden Abbildung 10 - 14 wurden  $D/(L^2 + D^2)$  gegen B aufgetragen. Das B-Feld berechnet sich mit Formel (10). Die einzeln errechneten B-Felder und  $D/(L^2 + D^2)$  sind in Tabelle 5 aufgelistet. Dabei wurde der Wert für L aus (15) entnommen. D, sowie der Wert I für das B-Feld werden aus Tabelle 4 entnommen. Die Werte

$$N = 20$$

$$R = 0,282 \text{ m}$$

wurden dem Gerät entnommen.

Tabelle 5: Errechnete B-Felder und  $D/(L^2 + D^2)$

$\frac{D}{D^2+L^2}$	B – Feld/ T · 10 <sup>-5</sup>				
	für 230V	für 250V	für 300V	für 350V	für 400V
0,267	1,913	2,009	2,551	2,551	2,550
0,532	4,081	4,081	4,847	4,974	5,229
0,792	6,186	6,250	6,696	7,334	7,652
1,044	7,971	7,971	8,928	9,885	10,203
1,286	9,885	10,203	10,841	12,117	12,754
1,516	11,160	11,160	13,073	14,349	14,986
1,733	13,073	14,030	15,624	17,218	17,856
1,935	14,986	15,943	17,856	19,131	20,407

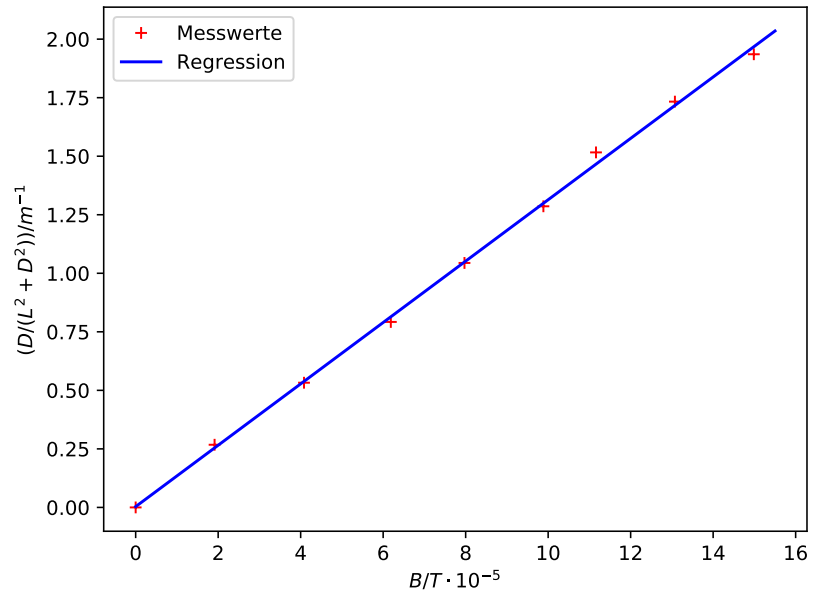


Abbildung 10: Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für 230V

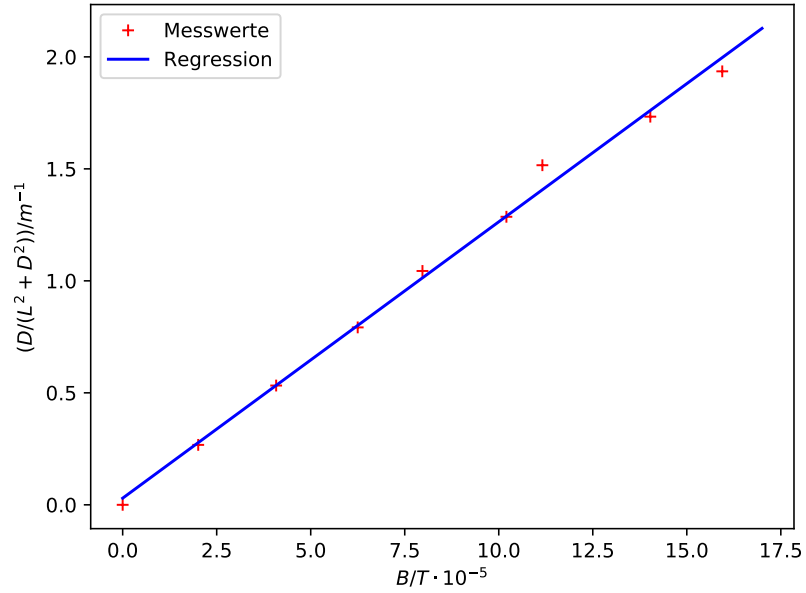


Abbildung 11: Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für 250V

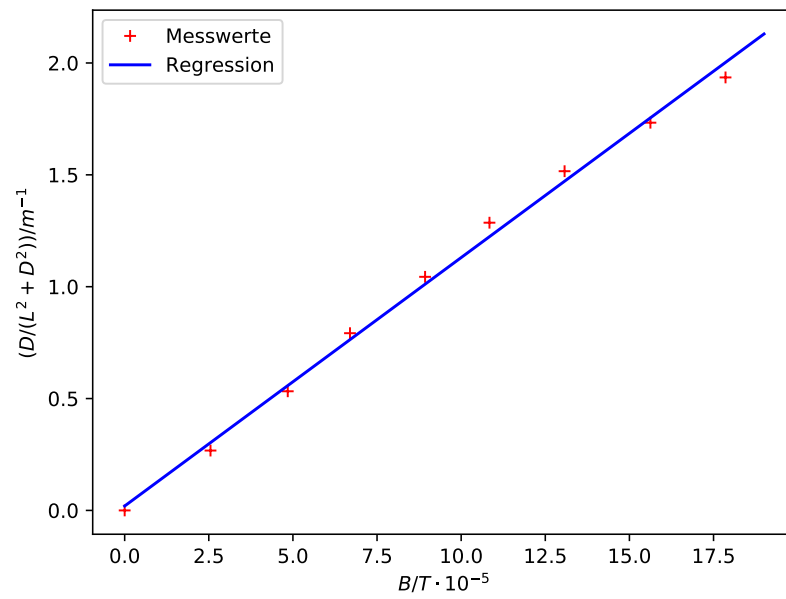


Abbildung 12: Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für 300V

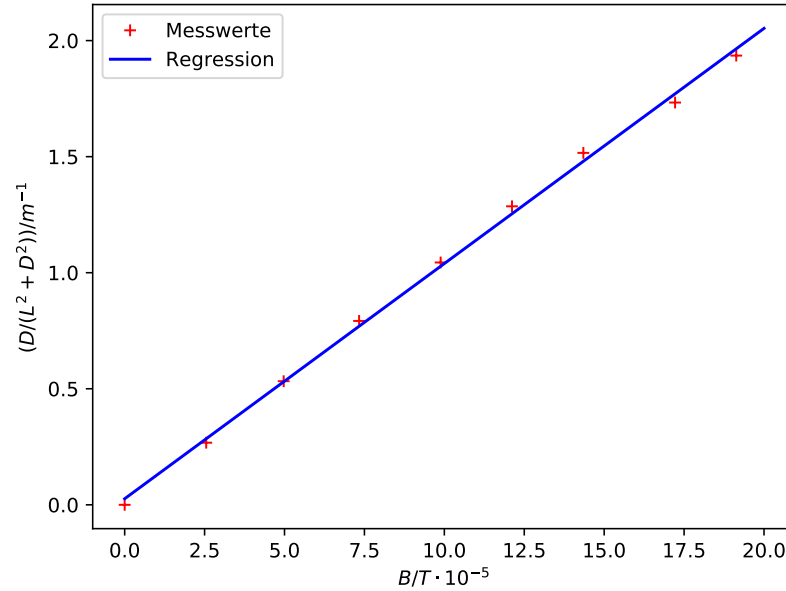


Abbildung 13: Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für 350V

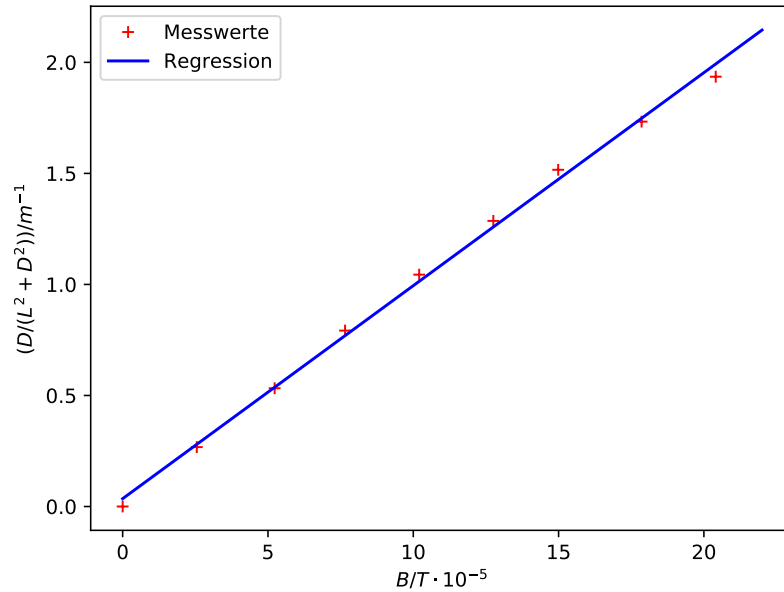


Abbildung 14: Bestimmung des Proportionalitätsfaktors für 400V

Aus Formel (9) folgt ein linearer Zusammenhang zwischen B und  $D/(L^2 + D^2)$ . Die Formel für die Ausgleichsrechnung lautet:

$$\frac{D}{D^2 + L^2} \left( \frac{1}{B} \right) = a \cdot \frac{1}{B} + b$$

Die Parameter, die sich ergeben, sind in Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Parameter der Ausgleichsrechnung

$U_B/V$	Steigung $a/\frac{1}{mT}$	$b / m^{-1}$
230	$(1,311 \pm 0,018) \cdot 10^4$	$(0,003 \pm 0,016)$
250	$(1,234 \pm 0,034) \cdot 10^4$	$(0,030 \pm 0,032)$
300	$(1,111 \pm 0,027) \cdot 10^4$	$(0,020 \pm 0,029)$
350	$(1,013 \pm 0,016) \cdot 10^4$	$(0,026 \pm 0,019)$
400	$(9,59 \pm 0,18) \cdot 10^3$	$(0,035 \pm 0,022)$

Aus diesen Steigungen wird nun das Verhältnis von  $e_0$  zu  $m_0$  bestimmt. Dafür wird Formel(9) verwendet.



Daraus folgt:

$$\begin{aligned}\frac{D}{D^2 + L^2} &= \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} \cdot B \\ a := \frac{D}{D^2 + L^2} \frac{1}{B} &= \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} \\ \frac{e_0}{m_0} &= 8a^2 \cdot U_B.\end{aligned}$$

Nun kann  $\frac{e_0}{m_0}$  bestimmt werden:

$$\begin{aligned}\left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{230} &= 3,162 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{250} &= 3,046 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{300} &= 2,962 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{350} &= 2,873 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{400} &= 2,602 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Für das Verhältnis von  $e_0$  zu  $m_0$  ergibt sich ein Wert von

$$\frac{e_0}{m_0} = (2,929 \pm 0,095) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \quad (16)$$

Der Fehler wurde mit der Formel

$$\sigma_{\frac{e_0}{m_0}} = \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot \sqrt{\frac{1}{4} \sum_i (x_i - \bar{x}_i)^2}$$

berechnet.

Der Spulenstrom  $I_{\text{hor}}$  beträgt 180 mA Der Inklinationwinkel beträgt  $71^\circ$ . Aus diesen beiden Größen ergibt sich nun die Totalintensität mittels der Formel

$$B_{\text{erd,total}} = \frac{B_{\text{erd,hor}}}{\cos(\varphi)}$$

$B_{\text{erd,hor}}$  ist hierbei gleich  $B_{\text{Spule}}$ .

$B_{\text{Spule}}$  wird mit Formel(10) bestimmt und beträgt  $11,47 \mu\text{T}$ . Somit ergibt sich

$$B_{\text{erd,total}} = 35,23 \mu\text{T}$$

## 5 Diskussion

### 5.1 Ablenkung des Elektronenstrahls im E-Feld

Das im ersten Aufgabenteil bestimmte  $C$  aus Formel (12) sollte mit der Steigung aus Abbildung 9 übereinstimmenn. Die ermittelten Größen lauten:

$$\begin{aligned}C_T &= 0,219 \text{ m} \\ a = C_M &= 0,356 \text{ m}\end{aligned}$$

Die Abweichung beträgt 62,56% und wurde mit der Formel

$$p_c = \left| \frac{C_{\text{Messung}} - C_{\text{Theorie}}}{C_{\text{Theorie}}} \right| \quad (17)$$

berechnet.

Die Fits für die bestimmung der Empfindlichkeiten aus den Abbildungen 4 - 8 sind recht genau und beinhalten keine größeren Abweichungen. Auch der daraus resultierende Fit in Abbildung 9 weist nur kleinere Abweichungen auf. Somit sind die Fehler der bestimmten Parameter auch eher gering. Der bestimmte Theoriewert hat eine Fehlerbelastung, da über den Abstand der beiden Platten gemittelt werden musste. Das kann die Abweichung zum Teil erklären.

Im zweiten Teil des Versuches wurde die Frequenz der Sinunsspannung und der Scheitelwert bestimmt. Die ermittelte Frequenz  $(80,10 \pm 0,39) \text{ Hz}$  und der Scheitelwert  $(11,10 \pm 0,80) \text{ V}$  weisen keine großen Fehler auf, sodass davon ausgegangen werden kann, dass es keine größeren Fehlerquellen gab.

### 5.2 Ablenkung des Elektronenstrahls im B-Feld

Ziel dieses Versuchsteils ist die Bestimmung des Verhältnis von  $e_0$  zu  $m_0$ .

Die Verhältnisse betragen

$$\begin{aligned}\frac{e_0}{m_{0 \text{ Messung}}} &= (2,929 \pm 0,095) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \frac{e_0}{m_{0 \text{ Theorie}}} &= 1,75 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

[1]

Es ergibt sich eine Abweichung von 66,86%. Sie wurde mit Formel

$$p_{\frac{e_0}{m_0}} = \left| \frac{\left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{\text{Messung}} - \left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{\text{Theorie}}}{\left(\frac{e_0}{m_0}\right)_{\text{Theorie}}} \right|$$

bestimmt. Die Ausgleichsgeraden aus den Abbildungen 10 - 14 weisen keine größeren Abweichungen zu den Werten auf. Somit ist die Fehlerbelastung der Parameter eher gering.

Kleinere Abweichungen können damit erklärt werden, dass der gemessene Strom zu den einzelnen Abständen sehr ungenau ist da die Abstände per Augenmaß eingestellt wurden. Der Leuchtpunkt, nach dem sich dies orientierte war nicht ganz scharf einstellbar. Eine weitere Fehlerquelle ist das Amperemeter. Beim umschalten in andere Größenordnungen, wurde nicht genau der selben Wert angezeigt.

Im nächsten Teil wurde das Erdmagnetfeld bestimmt.

$$B_{\text{erd,total(Messung)}} = 35,23 \mu\text{T}$$

$$B_{\text{erd,total(Theorie)}} = 44 \mu\text{T}$$

[3]

Mit Formel

$$p_B = \left| \frac{B_{\text{Messung}} - B_{\text{Theorie}}}{B_{\text{Theorie}}} \right|$$

ergibt sich eine Abweichung von 19,93%. Für die Bestimmung des Erdmagnetfeldes, musste der Inklinationwinkel bestimmt werden. Der Kompass, mit dem dies durchgeführt wurde war sehr ungenau. Die Nadel bewegte sich nicht ganz frei und steckte leicht fest. Außerdem schwankte der Wert des Kompass, mit dem der Versuchsaufbau nach Norden ausgerichtet wurde. Somit ist nicht ganz sichergestellt, dass der Aufbau exakt nach Norden ausgerichtet war.

## Literatur

- [1] *Das Verhältnis von  $e_0$  zu  $m_0$* . URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische\\_Konstante](https://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische_Konstante) (besucht am 16.05.2018).
- [2] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 408*. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V501.pdf> (besucht am 07.05.2018).
- [3] *Erdmagnetfeld*. URL: <http://www.biosensor-physik.de/biosensor/erdmagnetfeld.htm> (besucht am 07.05.2018).