

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
DORTMUND

ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK  
SOMMERSEMESTER  
2014

---

**V501/2**

**Elektronen im elektrischen  
und magnetischen Feld**

**22.04.2014**

**2. ABGABE: 13.05.2014**

---

Johannes Schlüter

johannes.schlueter@udo.edu

Joshua Luckey

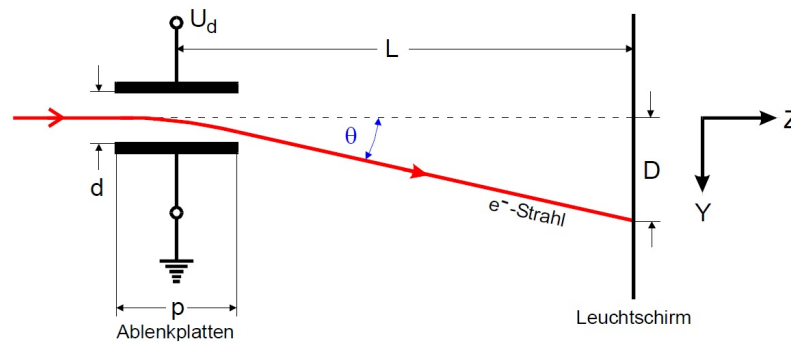
joshua.luckey@udo.edu

# 1 Einleitung

Im Versuch „Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld“ V501 und „Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld“ V502 wird ein Elektronenstrahl im elektrischen und magnetischen Feld untersucht. Durch diesen Versuch wollen wir die spezifische Ladung des Elektrons und die Intensität des lokalen Erdmagnetfelds bestimmen.

## 2 Theorie

### 2.1 Ablenkung des Strahls im elektrischen Feld



**Abbildung 1:** Strahlablenkung in der Kathodenstrahlröhre [4]

Bewegt sich ein Elektron im homogenen elektrischen Feld wirkt eine Kraft am Elektron. Diese Kraft ist betragsmäßig gleich dem Produkt von Feldstärke und Ladung:

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

Nach mehreren Umrechnungsschritten ( $E = \frac{U_d}{d}$ ) gilt für die Ablenkgeschwindigkeit  $v_{ab}$ :

$$v_{ab} = \frac{F \Delta t}{m_0} = \frac{e_0 U_d \Delta t}{m_0} \quad (2)$$

mit  $\Delta t = \frac{p}{v}$ :

$$v_{ab} = \frac{F \Delta t}{m_0} = \frac{e_0 U_d p}{m_0 v} \quad (3)$$

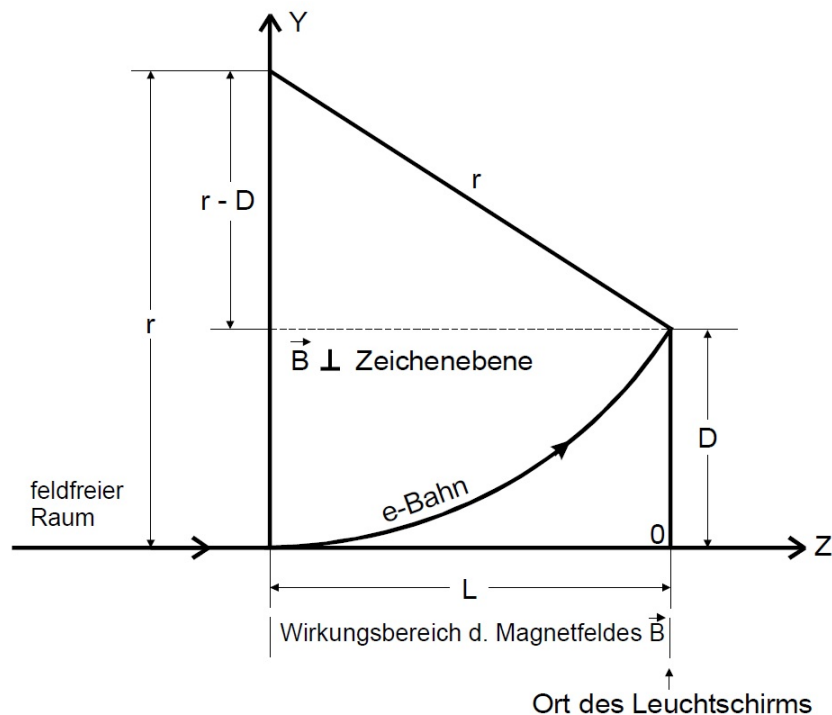
Die Position des Leuchtflecks lässt sich dabei beschreiben durch:

$$\frac{D}{L} = \tan(\theta) = \frac{v_{ab}}{v} \quad (4)$$

Mit D:

$$D = \frac{e_0 \cdot U_d \cdot p \cdot L}{d \cdot m_0 \cdot v^2} \quad (5)$$

## 2.2 Ablenkung des Strahls im magnetischen Feld



**Abbildung 2:** Skizze zur Ableitung einer Beziehung zwischen  $L$ ,  $D$  und  $r$  [5]

Befindet sich ein Elektron nun in einem magnetischen Feld, wirkt auf das Elektron die Lorentz-Kraft  $\vec{F}_L$ :

$$\vec{F} = e_0(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (6)$$

Für die Betrachtung entlang der Z-Achse gilt:

$$F_L = e_0 v_0 B \quad (7)$$

Wegen

$$\vec{F}_L \cdot d\vec{s} = 0 \quad (8)$$

gilt nun für  $E_{pot} = const.$  daher gilt auch  $E_{kin} = const.$  und somit:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (9)$$

Wenn man nun die Lorentz- und Zentripetal-Kraft gleichsetzt, gilt für den Radius  $r$ :

$$r = \frac{m_0 v_0}{e_0 B} \quad (10)$$

Die Verschiebung des Leuchtflecks lässt sich auch Darstellen als:

$$r = \frac{L^2 + D^2}{2D} \quad (11)$$

Damit gilt:

$$\frac{L^2 + D^2}{2D} = \frac{m_0 v_0}{e_0 B} \quad (12)$$

Hiermit lässt sich nun die spezifische Ladung  $\frac{m_0}{e_0}$  bestimmen.

## 3 Durchführung

### 3.1 Aufbau

#### 3.1.1 Erzeugung des Elektronenstrahls in der Kathodenstrahlröhre

Für beide Versuche wird ein Elektronenstrahl benötigt, der dann im elektrischen bzw. magnetischen Feld abgelenkt wird. Dieser Strahl wird mithilfe einer Kathodenstrahlröhre erzeugt.

Die Kathodenstrahlröhre besteht aus einem evakuiertem Glaskolben, in dessen Innerem sich im wesentlichen aus: Einer Glühkathode, aus der Elektronen austreten, den Ablenkplatten, welche die x- bzw. y-Ablenkung der Elektronen bestimmen, der Beschleunigungselektrode, der sog. Elektronenlinse, die die Elektronen bündelt bzw. fokussiert, dem Wehnelt-Zylinder, mit dem sich die Strahl-Intensität regeln lässt und schließlich noch ein Leuchtschirm, welcher elektrisch leitet, damit dieser sich nicht negativ auflädt.

#### 3.1.2 Die Elektronenkanone

Glühkathode, Elektronenlinse, Beschleunigungselektrode und Wehnelt-Zylinder werden zusammen als sog. Elektronenkanone bezeichnet.

Der umgebende Wehnelt-Zylinder, welcher ein negatives Potential gegenüber der Kathode hat, wirkt als Abschirmung, die Elektronen mit niedriger Energie davon abhält den Bereich der Kathode zu verlassen.

Hinter dem Zylinder befindet sich die positiv geladene Beschleunigerelektrode, welche die Elektronen, die den Kathodenbereich verlassen, beschleunigt. Die Geschwindigkeit der Elektronen nach Verlassen der Elektrode lässt sich aus dem Energiesatz berechnen.

$$\frac{1}{2} m_0 v_z^2 = e_0 U_B . \quad (13)$$

Danach gelangen diese in die Elektronenlinse. Diese sind negativ geladen und fokussieren den Elektronenstrahl. Die "Brekraft" dieser Linse lässt sich mithilfe einer Spannung regeln.

### 3.1.3 Die Ablenkplatten und der Leuchtschirm

Es gibt zwei um  $\frac{\pi}{2}$  zueinander gedrehte gegenüberliegende Plattenpaare. Diese Paare können einzeln mit einer Spannung belegt werden, die die Elektronen in  $x$ - bzw.  $y$ -Richtung ablenkt.

Nach dem Verlassen der Ablenkplatten trifft der Elektronenstrahl schließlich auf den Leuchtschirm. Dort werden die Aktivatorzentren von den eintreffenden Elektronen zur Emission von Lichtquanten angeregt.

### 3.1.4 Helmholtz-Spulen-Anordnung

Für die Ablenkung im magnetischen Feld wird zwischen ein Helmholtz-Spulenpaar eine Kathodenstrahlröhre gestellt. Dieses Spulenpaar ist in sofern besonders, als dass sich zwischen den Spulen ein nahezu homogenes Magnetfeld erzeugen lässt.

Dies geschieht konkret, wenn der Abstand der Spulen dem Radius der verwendeten Spulen gleicht.

## 3.2 E-Feld

Für ein festes  $U_B$  werden die Ablenkspannungen gemessen, die die Verschiebung des Leuchtpunkts genau auf eine der Gitternetzlinien (Abstand  $\frac{1}{4}$  inch.) auf dem Schirm bewirken. Dieser Vorgang wird für fünf verschiedene Beschleunigungsspannungen wiederholt. Danach werden zwei Funktionengeneratoren (Sinus- und Sägezahnspannung) auf die X- und Y-Eingänge gelegt und Frequenzen gemessen, bei denen sich das Verhältnis

$$n \cdot \nu_{\text{Sägezahn}} = m \cdot \nu_{\text{Sinus}} \quad n, m \in \mathbb{N} \quad (14)$$

einstellt.

## 3.3 B-Feld

Ein homogenes Magnetfeld wird mit Hilfe eines Helmholtzspulenpaares erzeugt. Zunächst muss mit einem Inklinatorium die Richtung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds bestimmt und die Messapparatur in diese Richtung gedreht werden, damit das Erdmagnetfeld den Versuch nicht beeinflusst. Danach wird mit konstanter Beschleunigungsspannung die Strahlverschiebung in Abhängigkeit vom Magnetfeld gemessen, das bei einem Helmholtz-Spulenpaar vom durchfließenden Strom abhängt.

$$B = \mu_0 \frac{8NI}{\sqrt{125}R} \quad (15)$$

Dabei ist  $N$  die Windungszahl (hier: 20) und  $R$  den Spulenradius (hier: 0,282 m). Des Weiteren wird die Stärke des Erdmagnetfelds durch Ausrichten des Leuchtpunkts auf die Mitte des Schirms und dann durch Drehen des Versuchsaufbaus um  $90^\circ$  bestimmt. Dabei verschiebt sich der Elektronenstrahl. Nun wird das von der Helmholtz-Spule erzeugte Magnetfeld gerade so hoch geregelt, dass der Elektronenpunkt in der Mitte des Schirms ist. Aus diesem Wert des Magnetfeldes und dem Inklinationwinkel des Erdmagnetfelds, der ebenfalls mit dem Inklinatorium bestimmt wird, kann man die Stärke des Erdmagnetfelds errechnen.

Vor Beginn der Messung wird die Achse der Kathodenstrahlröhre nach Norden ausgerichtet. Zum Auffinden dieser Richtung wird ein Inclinatorium-Declinatorium benutzt. Dann wird einmal bei 250 V Beschleunigungsspannung und einmal bei 450 V die Leuchtpunktverschiebung in Abhängigkeit des Spulenstromes gemessen.

### **3.4 Bestimmung der Stärke des Erdmagnetfeldes**

Die Achse der Röhre wird wieder nach Norden ausgerichtet. Bei einer Beschleunigungsspannung von 200 V betrachtet man den Leuchtschirm und merkt sich die Lage des Leuchtpunktes. Dann wird die Anordnung um  $\pi/2$  gedreht, so daß die Achse der Röhre in Ost-West-Richtung zeigt. Nun muß mit dem Feld der Helmholtz-Spulen der Leuchtpunkt so abgelenkt werden, daß er in der vorherigen Lage erscheint. Jetzt gleicht das Feld der Spulen das horizontale Magnetfeld der Erde genau aus.

Um die Größe der Erdmagnetfeldstärke zu bestimmen, muß nur noch der Inclinationswinkel  $\varphi$  (zwischen Tangentialebene und Richtung des Erdmagnetfeldes) bekannt sein. Dieser kann wieder mit dem Inclinatorium-Declinatorium bestimmt werden. Zunächst wird die Nord-Süd-Richtung mit dem Declinatorium aufgefunden, dann der Teilkreis um  $\pi/2$  gedreht. Jetzt kann der Winkel abgelesen werden.

## **4 Auswertung**

### **4.1 Auswertung des Versuchs Elektronen im elektrischen Feld**

Im Folgenden sind die während der Versuche aufgenommenen Daten und die aus diesen berechneten Ergebnisse tabellarisch und graphisch dargestellt. An entsprechender Stelle sind Erklärungen zu den durchgeführten Rechnungen und Ergebnissen gegeben. Die für die Fehlerrechnung verwendeten Fehlergleichungen befinden sich in Abschnitt 4.3 und sind mit römischen Ziffern nummeriert.

#### 4.1.1 Ablenkung von Elektronen im elektrischen Feld

Die während den fünf Messdurchgängen aufgenommenen Werte für die Ablenk- und Beschleunigungsspannung sowie die Verschiebung sind in Tabelle 1 zu finden. Die Fehler der Messwerte, wurden dabei mit der kleinsten Skaleneinteilung des jeweiligen Messgerätes abgeschätzt.

Messreihe Nr.	1	2	3	4	5	Verschiebung $D$ [cm]
Ablenk- spannung $U_d$ [V]	$-20,7 \pm 0,1$	$-33,5 \pm 0,1$	$-35,0 \pm 0,1$	-	-	$0,0 \pm 0,1$
	$-17,5 \pm 0,1$	$-27,6 \pm 0,1$	$-28,2 \pm 0,1$	$-35,6 \pm 0,1$	-	$0,6 \pm 0,1$
	$-14,1 \pm 0,1$	$-21,8 \pm 0,1$	$-21,8 \pm 0,1$	$-29,4 \pm 0,1$	$-35,6 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$
	$-10,5 \pm 0,1$	$-16,6 \pm 0,1$	$-15,2 \pm 0,1$	$-21,9 \pm 0,1$	$-26,7 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,1$
	$-6,9 \pm 0,1$	$-10,6 \pm 0,1$	$-8,4 \pm 0,1$	$-14,6 \pm 0,1$	$-17,7 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$
	$-3,4 \pm 0,1$	$-4,7 \pm 0,1$	$-2,0 \pm 0,1$	$-6,8 \pm 0,1$	$-7,9 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$
	$0,4 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$	$5,6 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,1$
	$4,7 \pm 0,1$	$7,6 \pm 0,1$	$13,2 \pm 0,1$	$8,8 \pm 0,1$	$11,1 \pm 0,1$	$4,4 \pm 0,1$
	$8,5 \pm 0,1$	$13,5 \pm 0,1$	$19,3 \pm 0,1$	$16,9 \pm 0,1$	$22,9 \pm 0,1$	$5,1 \pm 0,1$
Beschl. Spannung $U_b$ [V]	$180 \pm 5$	$300 \pm 5$	$350 \pm 5$	$400 \pm 5$	$500 \pm 5$	

**Tabelle 1:** Messdaten zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen  $U_d$  und  $D$

In den Abbildungen 3, 4, 5, 6 und 7 sind die gemessenen Verschiebungen  $D$  gegen die entsprechenden Ablenkspannungen  $U_d$  aufgetragen. Die mittels lineare Ausgleichsrechnung mit dem Ansatz

$$D(U_d) = m \cdot U_d + b, \quad (16)$$

unter Verwendung der Python Bibliothek *SciPy* [2], berechneten Parameter  $m_i, b_i$  sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Steigung $m$ [m V <sup>-1</sup> ]	y-Achsenabschnitt $b$ [cm]
$0,173 \pm 0,002$	$3,69 \pm 0,03$
$0,108 \pm 0,001$	$3,65 \pm 0,01$
$0,093 \pm 0,001$	$3,29 \pm 0,02$
$0,084 \pm 0,001$	$3,72 \pm 0,02$
$0,066 \pm 0,001$	$3,67 \pm 0,02$

**Tabelle 2:** Fit-Parameter der Daten aus den fünf Messreihen

Die Steigung dieser Graphen stellt die Empfindlichkeit  $\frac{D}{U_d}$  der Apparatur dar, die in Abbildung 8 gegen die reziproke Beschleunigungsspannung aus Tabelle 1 aufgetragen ist.

Die durch Regression mit dem Ansatz

$$\frac{D}{U_d}(U_b^{-1}) = \frac{\alpha}{U_b} + \beta, \quad (17)$$

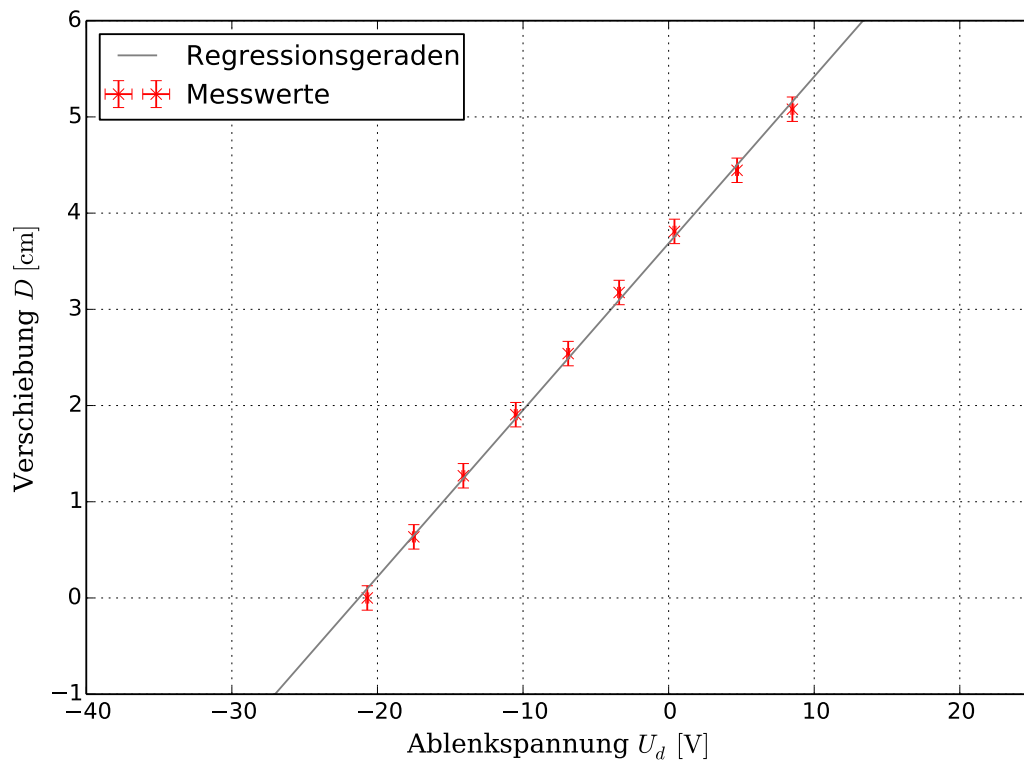


Abbildung 3: Grafische Darstellung der ersten Messreihe im E-Feld

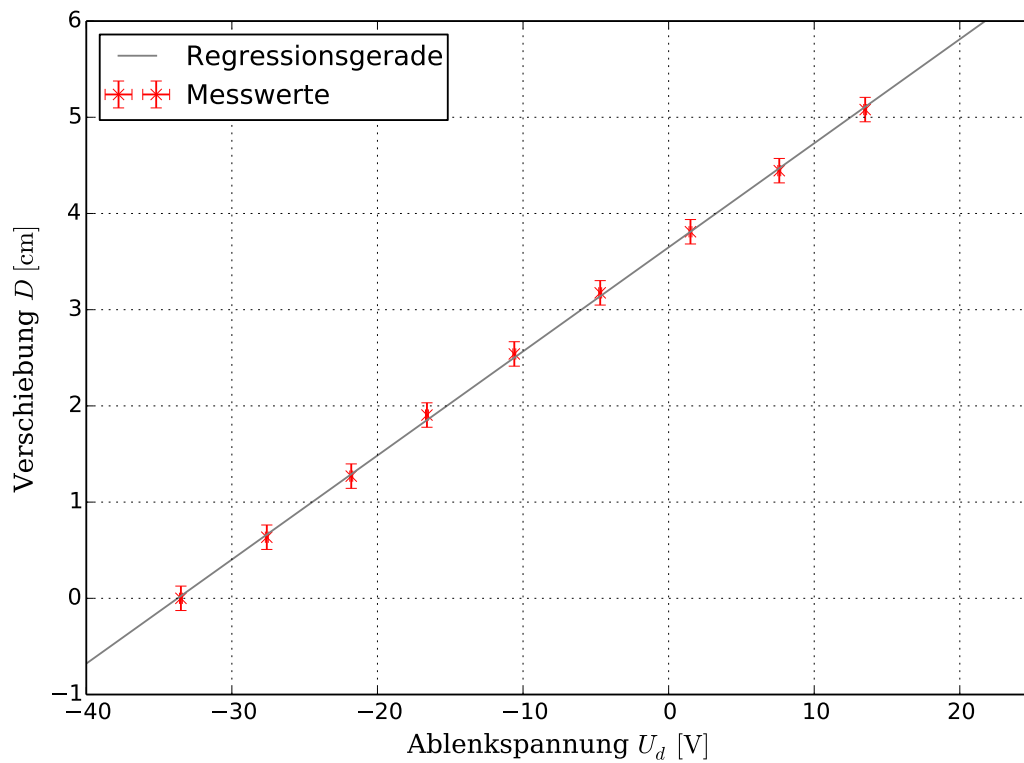


Abbildung 4: Grafische Darstellung der zweiten Messreihe im E-Feld



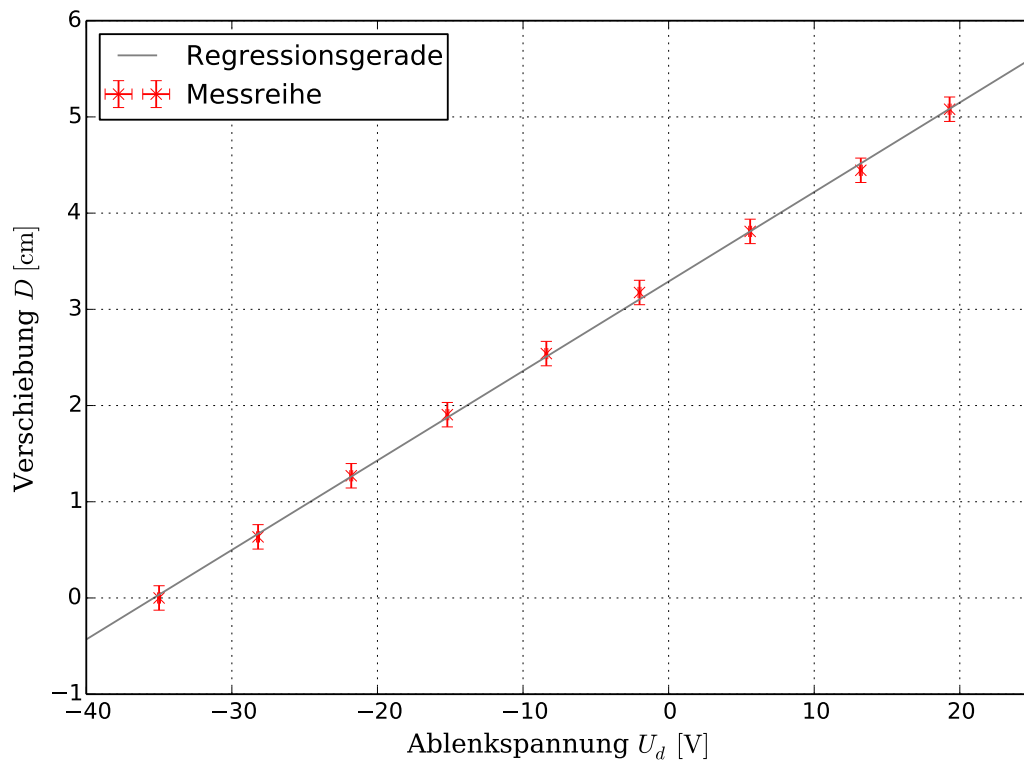


Abbildung 5: Grafische Darstellung der dritten Messreihe im E-Feld

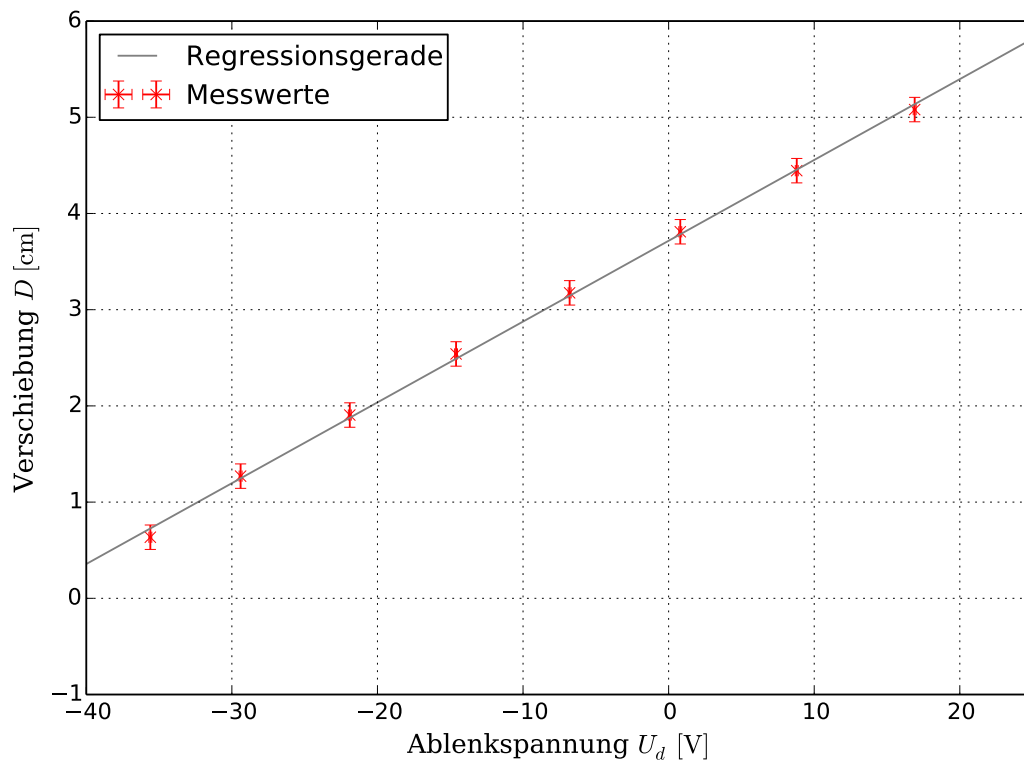


Abbildung 6: Grafische Darstellung der vierten Messreihe im E-Feld

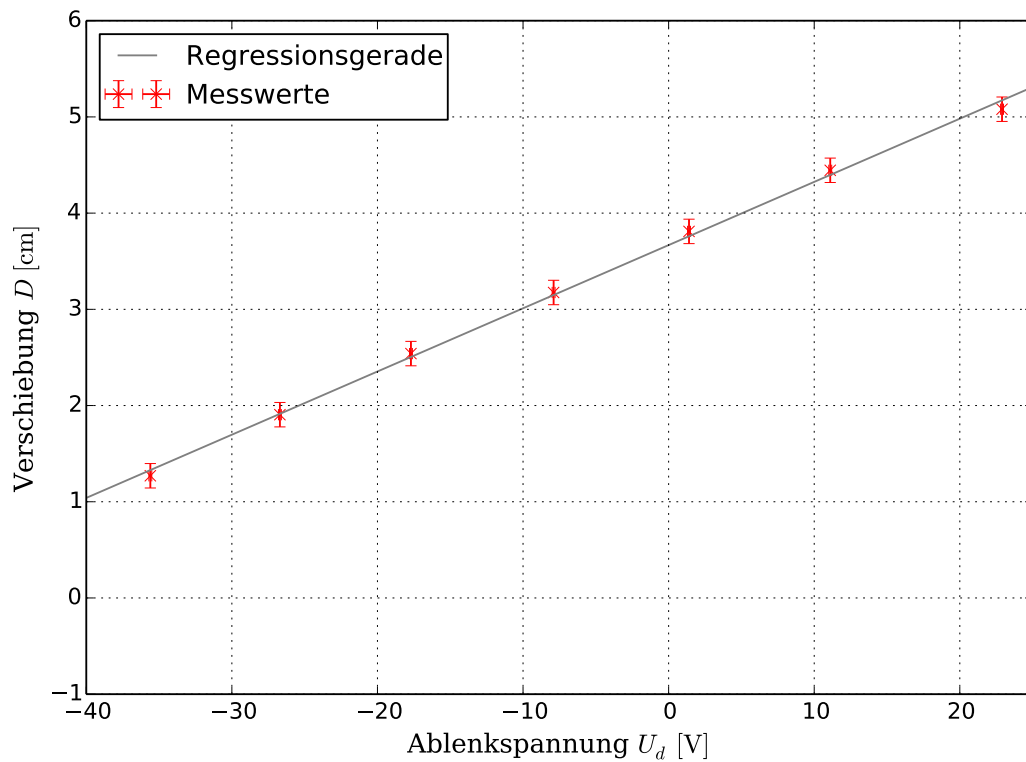


Abbildung 7: Grafische Darstellung der fünften Messreihe im E-Feld

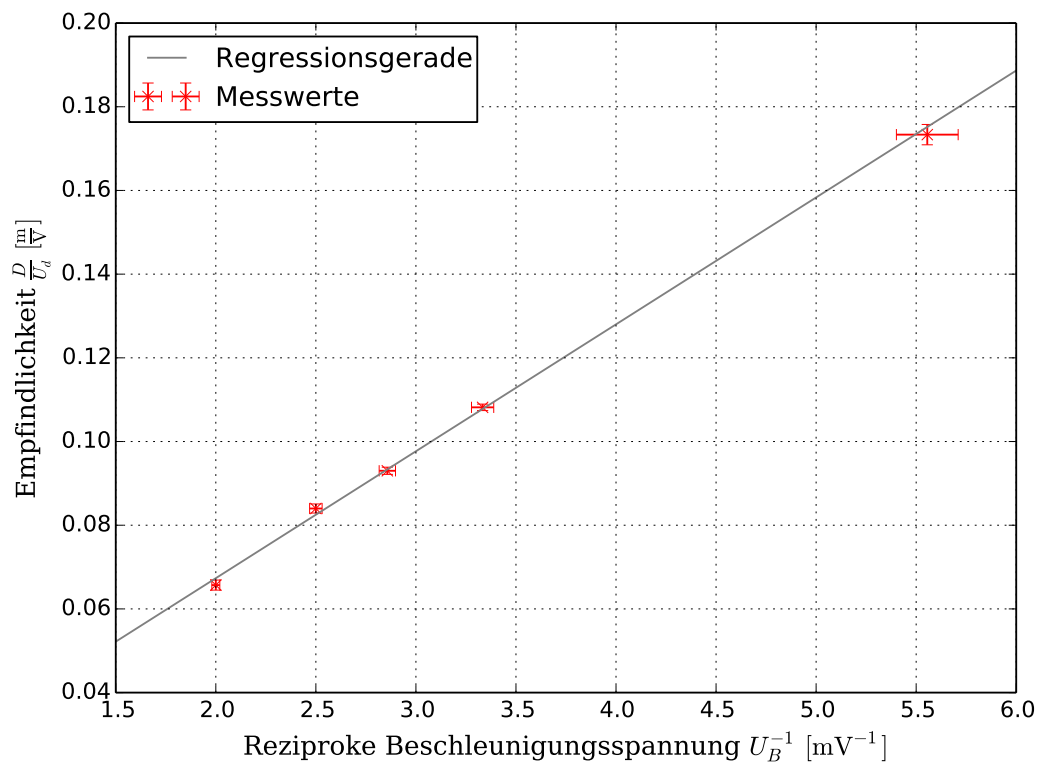


Abbildung 8: Darstellung des Zusammenhangs von Empfindlichkeit Beschleunigungsspannung

erhält man die Parameter

$$\alpha = (30,3 \pm 0,8) \text{ cm} \quad (17a)$$

$$\beta = (0,006 \pm 0,003) \text{ cm V}^{-1}. \quad (17b)$$

Ein theoretischer Vergleichswert zu dem in Abbildung 8 dargestellten Zusammenhang erhält man mittels (5) und den Angaben im Bauplan [4] der Kathodenstrahlröhre zu den Maßen  $L = 14,5 \text{ cm}$ ,  $p = 1,9 \text{ cm}$  und  $d = 0,38 \text{ cm}$ .

Aus den genannten Größen berechnet sich die theoretische Steigung der Geraden in Abbildung 8 zu

$$\alpha_{theo} = 36,25 \text{ cm}. \quad (18)$$

#### 4.1.2 Stehende Sinuswellen am Oszilloskop

Die zur Erzeugung eingestellten Sägezahn-Frequenzen  $f_{sz}$  sind mit den Verhältnissen  $n$  und der aus diesen berechneten Sinus-Frequenz  $f_{sin}$  in Tabelle 3 eingetragen.

Sägezahn-Frequenz $f_{sz}$ [Hz]	Verhältnis $n$	Sinus-Frequenz $f_{sin}$ [Hz]
$19,96 \pm 0,01$	4	$79,84 \pm 0,04$
$39,94 \pm 0,01$	2	$79,88 \pm 0,02$
$79,84 \pm 0,01$	1	$79,84 \pm 0,01$
$159,68 \pm 0,01$	0,5	$79,84 \pm 0,01$

**Tabelle 3:** Frequenzen  $f_{sz}$  und  $f_{sin}$  für stehende Wellen

Der Mittelwert der berechneten Frequenzen ergibt sich zu

$$f = (79,85 \pm 0,01) \text{ cm}. \quad (19)$$

Der Fehler wurde dabei Mittels gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet, da der so erhaltene Fehler größer als die Abweichung vom Mittelwert ist.

## 4.2 Auswertung des Versuchs Elektronen im magnetischen Feld

### 4.2.1 Ablenkung von Elektronen im magnetischen Feld

Die in den vier Messreihen aufgenommenen Werte für Ablenkstrom  $I_d$ , die daraus resultierende Verschiebung  $D$  und die jeweilige Beschleunigungsspannung  $U_b$  befinden sich in Tabelle 4 und das von dem Strom  $I_d$  erzeugte und mit (15) berechnete Magnetfeld  $B_d$  in Tabelle 5. Auch hier wurde der Fehler des Stroms mit der kleinsten Skaleneinheit des Messgerätes abgeschätzt.

Messreihe Nr.	1	2	3	4	Verschiebung $D$ [cm]
Ablenk- strom $I_d$ [A]	$0,00 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,01$	$0,0 \pm 0,1$
	$0,32 \pm 0,01$	$0,36 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$	$0,6 \pm 0,1$
	$0,68 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,01$	$0,82 \pm 0,01$	$0,84 \pm 0,01$	$1,3 \pm 0,1$
	$1,00 \pm 0,01$	$1,10 \pm 0,01$	$1,20 \pm 0,01$	$1,15 \pm 0,01$	$1,9 \pm 0,1$
	$1,30 \pm 0,01$	$1,45 \pm 0,01$	$1,60 \pm 0,01$	$1,60 \pm 0,01$	$2,5 \pm 0,1$
	$1,65 \pm 0,01$	$1,80 \pm 0,01$	$1,95 \pm 0,01$	$2,00 \pm 0,01$	$3,2 \pm 0,1$
	$2,00 \pm 0,01$	$2,20 \pm 0,01$	-	-	$3,8 \pm 0,1$
	$2,25 \pm 0,01$	-	-	-	$4,4 \pm 0,1$
Beschl. Spannung $U_b$ [V]	$250 \pm 5$	$300 \pm 5$	$350 \pm 5$	$400 \pm 5$	

**Tabelle 4:** Messdaten zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen  $I_d$  und  $D$

Messreihe Nr.	1	2	3	4	Verschiebung $D$ [cm]
Ablenk- B-Feld $B_d$ [mT]	$0,0000 \pm 0,0006$	$0,0000 \pm 0,0006$	$0,0000 \pm 0,0006$	$0,0000 \pm 0,0006$	$0,0 \pm 0,1$
	$0,0204 \pm 0,0006$	$0,0230 \pm 0,0006$	$0,0242 \pm 0,0006$	$0,0242 \pm 0,0006$	$0,6 \pm 0,1$
	$0,0434 \pm 0,0006$	$0,0472 \pm 0,0006$	$0,0523 \pm 0,0006$	$0,0536 \pm 0,0006$	$1,3 \pm 0,1$
	$0,0638 \pm 0,0006$	$0,0701 \pm 0,0006$	$0,0765 \pm 0,0006$	$0,0733 \pm 0,0006$	$1,9 \pm 0,1$
	$0,0829 \pm 0,0006$	$0,0925 \pm 0,0006$	$0,1020 \pm 0,0006$	$0,1020 \pm 0,0006$	$2,5 \pm 0,1$
	$0,1052 \pm 0,0006$	$0,1148 \pm 0,0006$	$0,1244 \pm 0,0006$	$0,1275 \pm 0,0006$	$3,2 \pm 0,1$
	$0,1275 \pm 0,0006$	$0,1403 \pm 0,0006$	-	-	$3,8 \pm 0,1$
	$0,1435 \pm 0,0006$	-	-	-	$4,4 \pm 0,1$
Beschl. Spannung $U_b$ [V]	$250 \pm 5$	$300 \pm 5$	$350 \pm 5$	$400 \pm 5$	

**Tabelle 5:** Messdaten zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen  $B_d$  und  $D$

In den Abbildungen 9, 10 11 und 12 ist der Quotient  $D' = \frac{D}{D^2 + L^2}$  mit der Länge der Kathodenstrahlröhre  $L = 17,5$  cm und der gemessenen Verschiebung  $D$  gegen die jeweilige Magnetfeldstärke  $B_d$  aufgetragen. Die Regressionsparameter der linearen Regression mit dem Ansatz

$$D'(B_d) = \gamma \cdot B_d + \delta, \quad (20)$$

befinden sich in Tabelle 6.

Steigung $\gamma$ [m V <sup>-1</sup> ]	y-Achsenabschnitt $\delta$ [m <sup>-1</sup> ]	spezifische Ladung $\frac{e_0}{m_e}$ [C kg <sup>-1</sup> ]	rel. Abweichung zur Literatur $\Delta_{rel}$ [%]
$94 \pm 1$	$0,01 \pm 0,01$	$(1,77 \pm 0,05) \cdot 10^{11}$	1
$85 \pm 1$	$0,01 \pm 0,01$	$(1,75 \pm 0,05) \cdot 10^{11}$	1
$80 \pm 1$	$0,01 \pm 0,01$	$(1,79 \pm 0,04) \cdot 10^{11}$	2
$79 \pm 2$	$0,01 \pm 0,01$	$(1,98 \pm 0,09) \cdot 10^{11}$	11

**Tabelle 6:** Fit-Parameter der Daten aus den vier Messreihen

Die ebenfalls in Tabelle 6 angegebene spezifische Ladung des Elektrons lässt sich nun

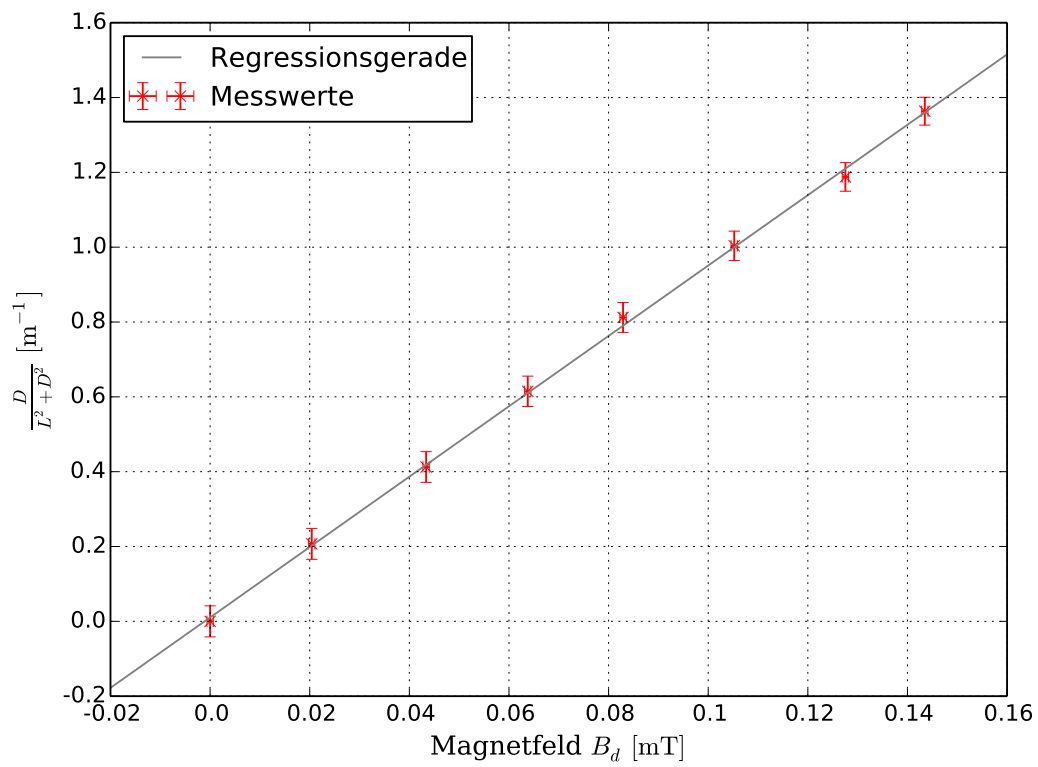


Abbildung 9: Grafische Darstellung der ersten Messreihe im B-Feld

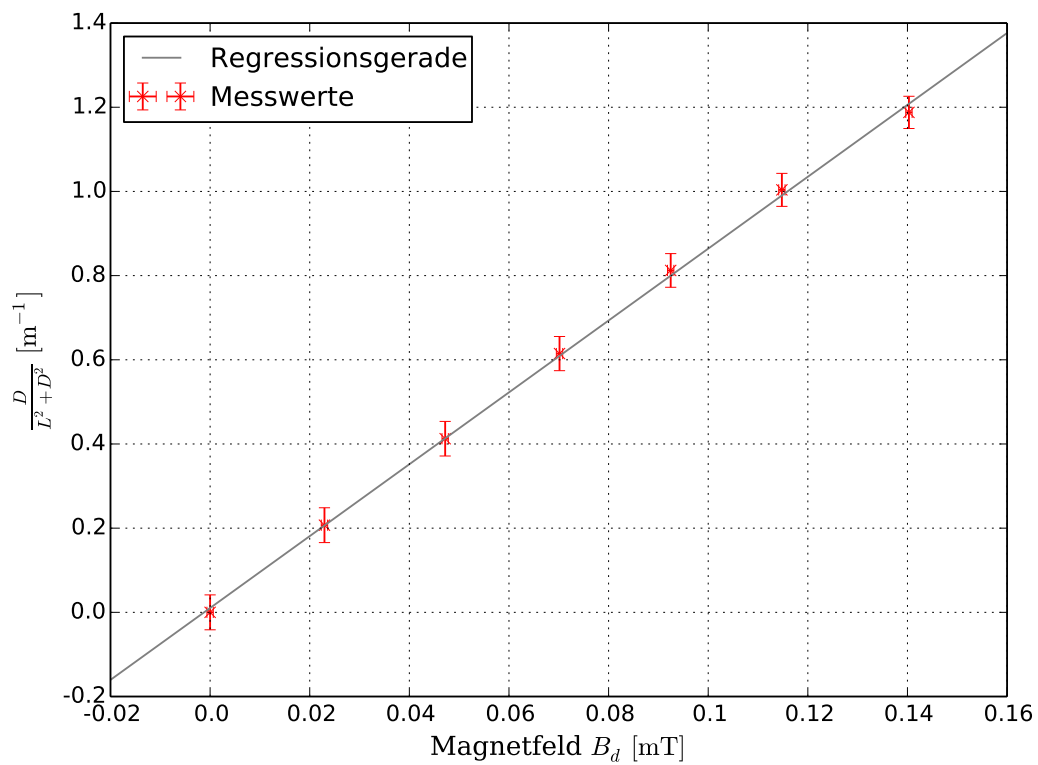


Abbildung 10: Grafische Darstellung der zweiten Messreihe im B-Feld

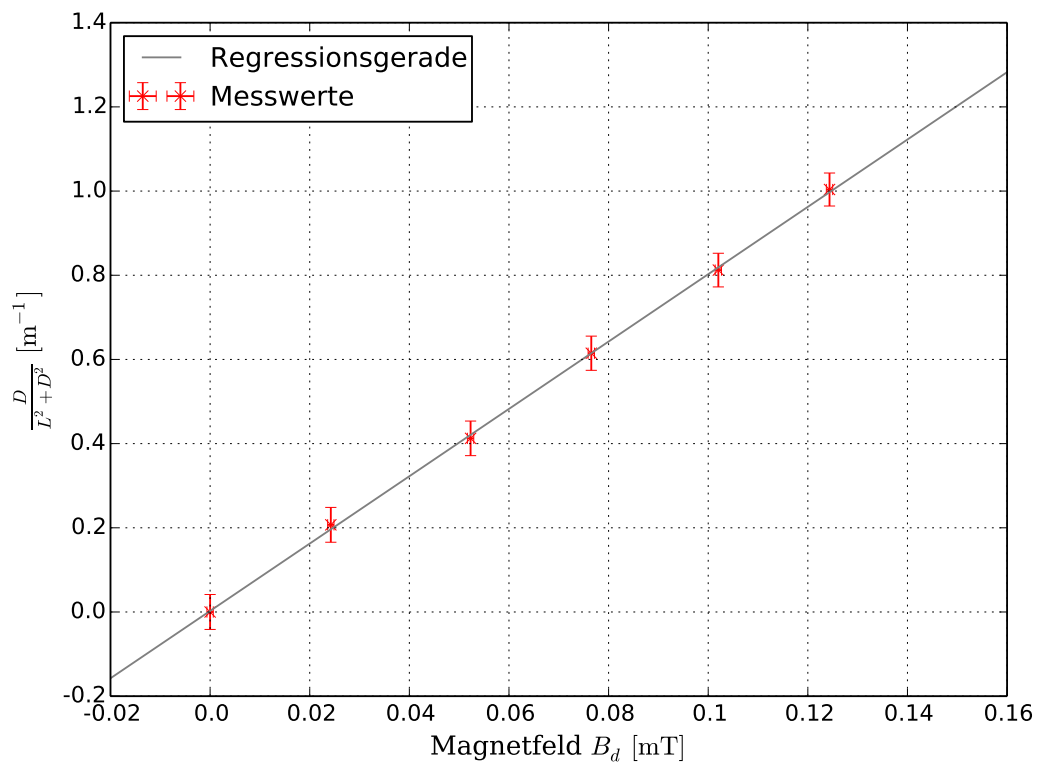


Abbildung 11: Grafische Darstellung der dritten Messreihe im B-Feld

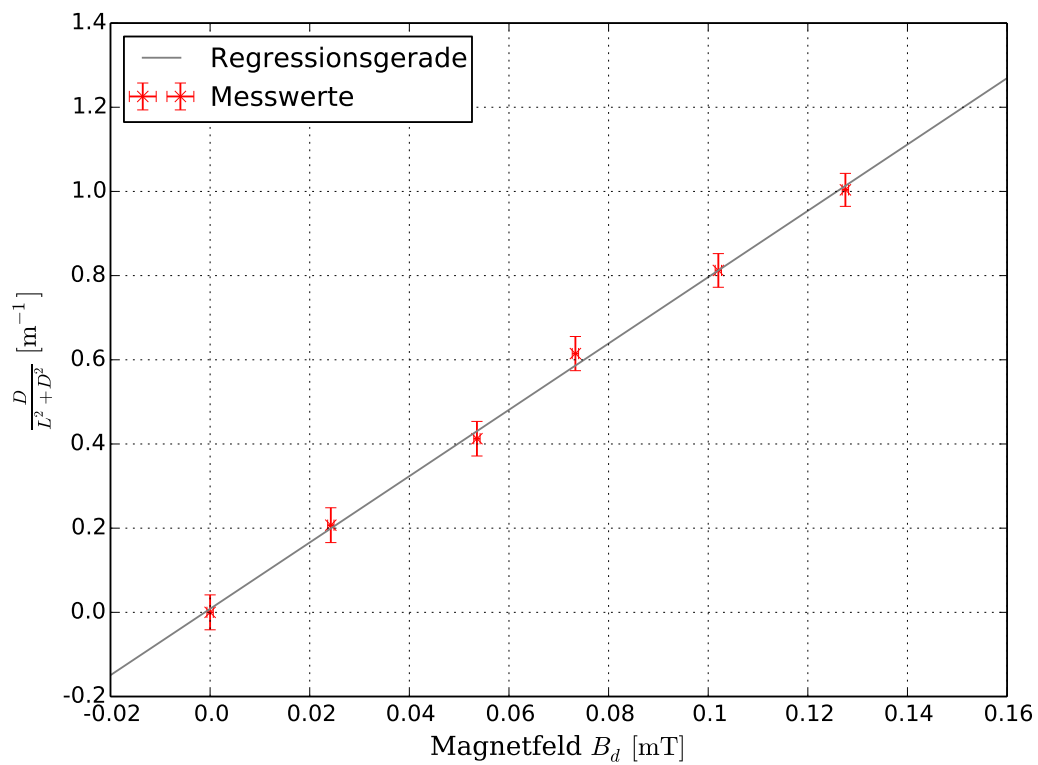


Abbildung 12: Grafische Darstellung der vierten Messreihe im B-Feld

unter Umformung von (12) zu

$$\frac{e_0}{m_e} = 8 \cdot \gamma^2 \cdot U_b \quad (21)$$

aus der Steigung  $\gamma$  der Regressionsgeraden berechnen.

Der Mittelwert der drei Messwerte mit der geringsten Abweichung vom Literaturwert ergeben im Mittel

$$\frac{e_0}{m_e} = (1,77 \pm 0,03) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}. \quad (22)$$

Auch der Fehler dieses Wertes wurde mit Hilfe der gaußschen Fehlerfortpflanzung bestimmt, da dieser Fehler der im Vergleich zur Abweichung vom Mittelwert größer ist.

#### 4.2.2 Bestimmung der Intensität des Erdmagnetfeldes

Für den Ausgleich der von dem Erdmagnetfeld verursachten Verschiebung wurde die Stromstärke

$$I_{hor} = (0,28 \pm 0,01) \text{ A} \quad (23)$$

an die Helmholtz-Spule angelegt. Mit (15) ergibt sich damit der Betrag des Erdmagnetfelds zu

$$B_{hor} = (0,0179 \pm 0,0006) \text{ mT}. \quad (24)$$

Die totale Intensität des Erdmagnetfeldes erhält ist mit dem Inklinationswinkel  $\varphi = 70^\circ$  zu

$$B_{total} = \frac{B_{hor}}{\cos(\varphi)} = (52 \pm 2) \mu\text{T}. \quad (25)$$

bestimmbar.



### 4.3 Fehlerrechnung

In diesem Abschnitt sind die zur Berechnung der Fehler in Abschnitt 4 verwendeten Fehlergleichungen aufgelistet, die mittels der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet wurden.

Den Fehler der berechneten Sinusfrequenz  $f_{sin}$  erhält man vereinfacht durch:

$$\sigma_{f_{sin}} = n \cdot \sigma_{f_{sz}} \quad (\text{I})$$

Der Fehler der magnetischen Flussdichte  $B_d$  berechnet sich durch die Gleichung:

$$\sigma_{B_d} = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 N}{R} \sigma_I \quad (\text{II})$$

Der Fehler der spezifischen Ladung  $e_{spez} = \frac{e_0}{m_e}$  ergibt sich aus:

$$\sigma_{e_{spez}} = 8 \sqrt{\gamma^4 \sigma_{U_b}^2 + 4 \gamma^2 U_b^2 \sigma_\gamma^2} \quad (\text{III})$$

Den Fehler des totalen Magnetfelds  $B_{total}$  der Erde wurde bestimmt durch:

$$\sigma_{B_{total}} = \frac{\sigma_{B_{hor}}}{\cos(\varphi)} \quad (\text{IV})$$

## 5 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die in der Auswertung erhaltenen Ergebnisse noch einmal aufgegriffen und durch Vergleich mit Literaturwerten oder ähnlichem auf ihre Plausibilität hin untersucht. Dabei wird, falls erforderlich auch Bezug auf die Versuchsdurchführung und den Aufbau genommen.

Der aus den fünf Messreihen in Tabelle 1 erhaltene Proportionalitätsfaktor  $\alpha = (30,3 \pm 0,8) \text{ cm}$  (17a) stellt mit einer relativen Abweichung von  $\Delta_{rel}(\alpha) = (7 \pm 3) \%$  zum Theoriewert (18) ein, für die relativ geringe Anzahl an Messungen, plausibles und genaues Ergebnis dar. Ein Grund für diese Abweichung könnten die für die Herleitung verwendeten, vereinfachten Annahmen sein, wie die als parallel angenommenen Platten des Ablenkkondensators, wodurch der theoretische Wert nur ein Näherungswert bzw. idealisierten Wert darstellt.

Die Ermittlung der Sinusfrequenz  $f_{sin}$  zeigt in allen vier Fällen Tabelle 3 eine Übereinstimmung bis zur ersten und in drei Fällen sogar bis zu zweiten Nachkommastelle. Wodurch die Plausibilität der Relation (14) gezeigt ist.

Die Ergebnisse der Messung der spezifischen Ladung des Elektrons Tabelle 6 zeigen, in bis auf einem Fall, im Vergleich zum Literaturwert  $\frac{e_0}{m_0} = 1,7588 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$  [3] nur geringe Abweichungen. Dies ist auch daran zu erkennen, dass der Literaturwert in den berechneten Fehlern der Ergebnisse liegt.

Das bestimmte Erdmagnetfeld mit  $B_{total} = (52 \pm 2) \mu\text{T}$  (25) stellt sich im Vergleich mit dem Literaturwert von  $B_{total,lit} = 47 \mu\text{T}$  [1] für Mitteleuropa, in Anbetracht der Tatsache, dass nur eine Messung durchgeführt wurde, als plausibles und gutes Ergebnis heraus.

Alles in allem lässt sich somit sagen, dass alle Ergebnisse dieses Versuchs plausibel und mehr noch, in Anbetracht der geringen Zahl an Wiederholungen, relativ genau sind. Dies lässt darauf schließen, dass der verwendete Versuchsaufbau zur Messung der erhaltenen Größen gut geeignet und dabei außerdem noch unanfällig für äußere Störungen ist.

## Literatur

- [1] *Die Geomagnetik*. URL: [http://www.ggukarlsruhe.de/Messverfahren\\_Geophysik\\_zersto/Geomagnetik\\_Magnetik\\_Erdmagnet/hauptteil\\_geomagnetik\\_magnetik\\_erdmagnet.html](http://www.ggukarlsruhe.de/Messverfahren_Geophysik_zersto/Geomagnetik_Magnetik_Erdmagnet/hauptteil_geomagnetik_magnetik_erdmagnet.html) (besucht am 25.04.2014).
- [2] *SciPy*. URL: <http://docs.scipy.org/doc/> (besucht am 21.04.2014).
- [3] Dietmar Mende, Günther Simon. *Physik. Gleichungen und Tabellen*. 16. Aufl. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München, 2009.
- [4] *Versuchsanleitung. V501 Elektronen im elektrischen Feld*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V501.pdf> (besucht am 23.04.2014).
- [5] *Versuchsanleitung. V502 Elektronen im Magnetfeld*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V502.pdf> (besucht am 23.04.2014).