

## **V501 Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld**

## **V502 Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld**

Katharina Brägelmann      Tobias Janßen  
katharina.braegelmanntu-dortmund.de  
tobias2.janssenu-dortmund.de

Durchführung: 10. April 2018, Abgabe: 17. April 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Theorie zur Ablenkung im elektrischen Feld . . . . .	3
1.2	Theorie zur Ablenkung im magnetischen Feld . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>7</b>
2.1	Aufbau und Durchführung des Versuchs V501 . . . . .	7
2.1.1	Proportionalität der Ablenkung und der Ablenkungsspannung . . .	7
2.1.2	Kathodenstrahl-Oszillograph und stehende Wellen . . . . .	7
2.2	Aufbau und Durchführung des Versuchs V502 . . . . .	8
2.2.1	Messung der spezifischen Ladung eines Elektrons . . . . .	8
2.2.2	Messung der Feldstärke des lokalen Erdmagnetfelds . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>9</b>
3.1	Auswertung zu V501 . . . . .	9
3.2	Auswertung zu V502 . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>20</b>
4.1	Diskussion zu V501 . . . . .	20
4.2	Diskussion zu V502 . . . . .	20

# 1 Theorie

## 1.1 Theorie zur Ablenkung im elektrischen Feld

Die Elektronen können nur nach Durchfliegen eines möglichst luftleeren Raum auf einem Schirm sichtbar gemacht werden, da sie sonst mit den Luftmolekülen zusammenstoßen. Bewegen sich die Elektronen durch ein homogenes elektrisches Feld, zum Beispiel durch einen Kondensator, werden sie von diesem abgelenkt. Die Ablenkung wird durch ein elektrisches Feld zwischen den Kondensatorplatten initiiert. Das negativ geladene Elektron wird gleichmäßig von der negativen Kondensatorplatte abgestoßen und von der positiv geladenen Platte angezogen. Die Geschwindigkeit eines Elektrons in Richtung der Feldlinien, hier in Z-Richtung, lässt sich aus der angelegte Beschleunigungsspannung  $U_B$  und der Energieerhaltung berechnen:

$$E_{kin.} = E_{elektr.} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m_0 v_Z^2 = e_0 U_B \Leftrightarrow v_Z = \sqrt{\frac{2 e_0 U_B}{m_0}}. \quad (1)$$

Dabei ist  $m_0$  die Elektronenmasse und  $e_0$  die Elementarladung.

Die Elektronen können auch eine Anfangsgeschwindigkeit senkrecht zu den Feldlinien haben. Dies führt zu einer Ablenkung innerhalb des Kondensators analog zu einem waagerechten Wurf in der Mechanik. Die parallel zum E-Feld wirkende Kraft führt zur Beschleunigung des Elektrons, hier in Y-Richtung:

$$F = e_0 E = e_0 \cdot \frac{U_B}{d} = m_0 a_Y \Leftrightarrow a_Y = \frac{e_0 U_B}{m_0 d}.$$

Der Abstand der Kondensatorplatten ist durch  $d$  beschrieben, die Länge der Kondensatorplatten ist  $p$ .

Aus der Beschleunigung der Elektronen lässt sich nun die Geschwindigkeit des Elektrons in Y-Richtung berechnen:

$$v_Y = a \Delta t = \frac{e_0 U_B}{m_0 d} \cdot \Delta t \quad (2)$$

Die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls in Z-Richtung im Kondensator ist konstant:

$$\Delta t = \frac{p}{v_Z}. \quad (3)$$

Die Gleichungen (2) und (3) kombiniert ergeben die resultierende Geschwindigkeit in Y-Richtung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit in Z-Richtung:

$$v_Y = a \Delta t = \frac{e_0 U_B p}{m_0 d v_Z}.$$

Eine Möglichkeit der Darstellung eines abgelenkten Elektronenstrahls ist die Kathodenstrahlröhre. In einer Kathodenstrahlröhre passiert der Elektronenstrahl mehrere ablenkende elektrische Felder und trifft dann auf einen Leuchtschirm. Sobald der Elektronenstrahl das E-Feld verlässt, bewegt er sich linear weiter (Abb. 1).

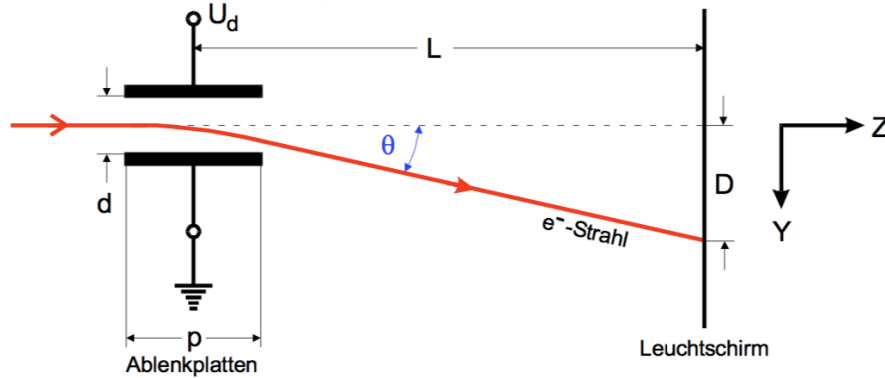


Abbildung 1: Ablenkung des Elektronenstrahls durch die E-Felder [1]

Der entsprechende Ablenkungswinkel  $\theta$  ergibt sich durch:

$$\Theta = \frac{v_Y}{v_Z} = \frac{e_0 U_B p}{m_0 d v_Z^2}.$$

Der Abstand des Punktes zu seinem Ausgangspunkt berechnet sich wie folgt:

$$D = L\Theta = \frac{e_0 U_B p L}{m_0 d v_Z^2}.$$

$L$  ist dabei der Abstand vom Kondensator bis zum Leuchtschirm.

Der zweite Ablenkungskondensator funktioniert analog. Er steht senkrecht zum ersten und ermöglicht ein zweidimensionales Bild auf dem Schirm. Der Schirm besteht aus einem Material, welches bei Anregung durch Elektronen fluoresziert.

Die Kathodenstrahlröhre lässt sich als Oszilloskop, also zum Darstellen eines Spannungsverlaufes, verwenden. Dazu wird an die Ablenkungsplatten in X-Richtung eine Sägezahnspannung der Frequenz  $\nu_{sg}$  angelegt. An die Ablenkplatten in Y-Richtung wird die Spannung gelegt, die untersucht werden soll mit der Frequenz  $\nu_{sin}$ . Dabei müssen die Frequenzen beider Spannungen in einem richtigen Verhältnis stehen, um einen eindeutigen Spannungsverlauf darzustellen:

$$n\nu_{sg} = m\nu_{sin} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

## 1.2 Theorie zur Ablenkung im magnetischen Feld

Annähernd homogene Magnetfelder können durch ein Helmholtzspulenpaar erzeugt werden. Der Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  in der Mitte der Spulen berechnet

sich durch:

$$B_{hor} = \frac{8 \mu_0 N I}{\sqrt{125} R}. \quad (4)$$

In einem homogenen magnetischen Feld wirkt die Lorentzkraft auf eine Ladung  $q$  mit der Geschwindigkeit  $v$ :

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Die Lorentzkraft führt zu einer Kreisbewegung der Ladung. Dabei bleibt dennoch der Betrag der Geschwindigkeit konstant.

Zur Veranschaulichung der Lorentzkraft kann ein Elektronenstrahl mit einer Kathodenstrahlröhre erzeugt werden. Im Bereich zwischen den Ablenkungskondensatoren und dem Leuchtschirm werden die Elektronen durch das B-Feld abgelenkt (Abb. 2).

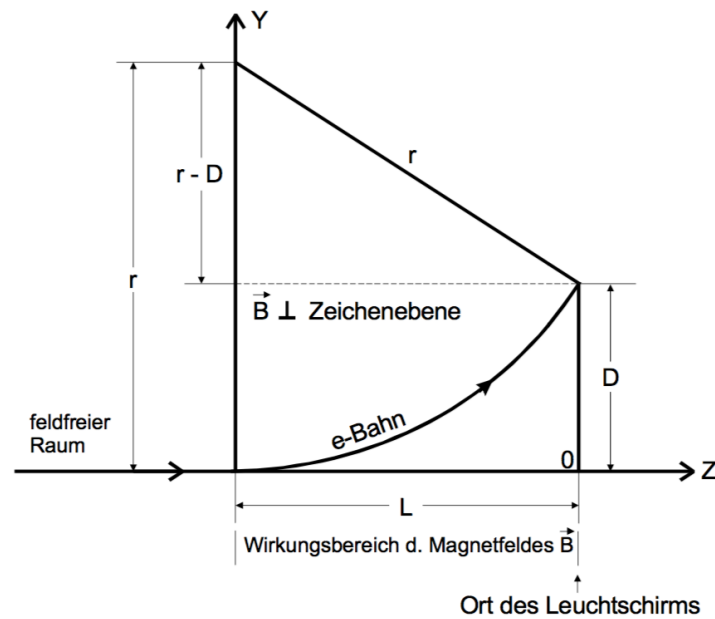


Abbildung 2: Ablenkung des Elektronenstrahls durch das B-Feld [2]

Ist die Ladung die eines Elektrons und stehen die Bewegungsrichtung des Elektrons und die Richtung des B-Felds senkrecht aufeinander ergibt sich die Kraft zu:

$$F_L = e_0 v B.$$

Die Zentripetalkraft ist im Gleichgewicht mit der Lorentzkraft:

$$F_L = F_Z \Leftrightarrow e_0 v B = \frac{m_0 v^2}{r}.$$

Dabei ist  $r$  der Radius der Kreisbewegung, der sich ergibt zu:

$$r = \frac{m_0 v}{e_0 B} \quad (5)$$

Um den Krümmungsradius durch die Höhe des Auftreffpunktes auf dem Schirm  $D$  auszudrücken folgt durch den Satz des Pythagoras 2:

$$L^2 + (r - D)^2 = r^2 \Leftrightarrow r = \frac{L^2 + D^2}{2D} \quad (6)$$

Aus Formel (5), Formel (6) und Formel (1) lässt sich schließen:

$$\frac{m_0 v}{e_0 B} = \frac{L^2 + D^2}{2D} \Leftrightarrow \sqrt{\frac{m_0}{e_0}} = \frac{(L^2 + D^2)B}{\sqrt{8 U_B D}} \Leftrightarrow \frac{e_0}{m_0} = \frac{8 U_B D^2}{(L^2 + D^2)^2 B^2} \quad (7)$$

Da die horizontal gemessene Feldstärke nicht der totalen Feldstärke entspricht, muss der Inklinationwinkel  $\varphi$  noch einbezogen werden. Die Feldlinien treten in unterschiedlichen Winkeln aus der Erdoberfläche (Abb. 3).

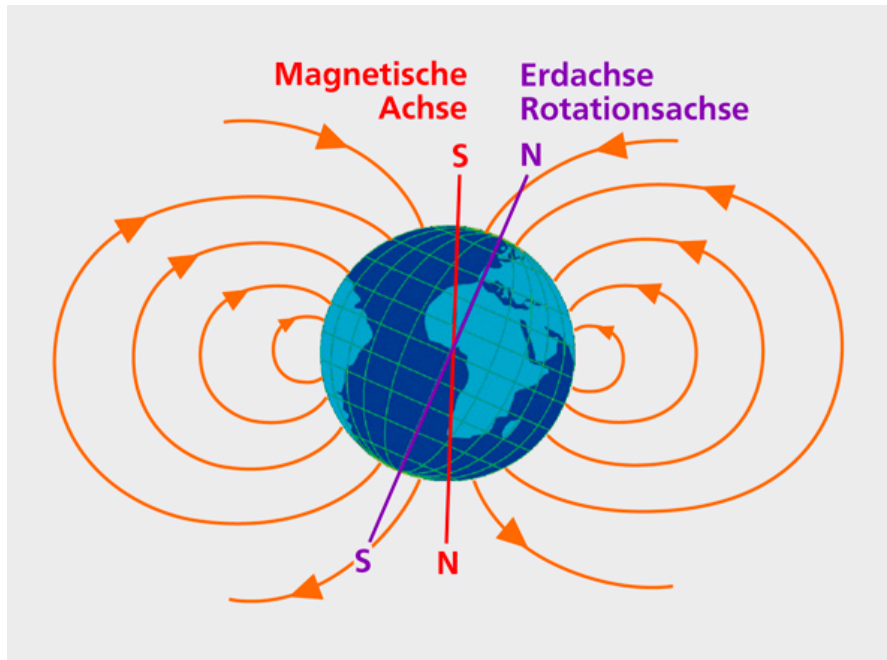


Abbildung 3: Feldlinien des Erdmagnetfelds [5]

Die totale Intensität des Erdmagnetfelds ergibt sich über die Winkelbeziehung zu

$$B_{tot} = \frac{B_{hor}}{\cos \varphi}. \quad (8)$$

## 2 Aufbau und Durchführung

### 2.1 Aufbau und Durchführung des Versuchs V501

#### 2.1.1 Proportionalität der Ablenkung und der Ablenkungsspannung

In einer Kathodenstrahlröhre gibt es zunächst eine Glühwendel, aus der die negativ geladenen Elektronen emittiert werden. Die Elektronen werden anschließend durch eine negativ geladene Blende, den Wehnelt-Zylinder, grob fokussiert und dann durch eine stark positiv geladene Elektrode beschleunigt. Die genauere Fokussierung erfolgt durch mehrere negativ geladene Fokussierungselektroden (Abb. 4). Die Elektronen durchlaufen danach die beiden Ablenkungskondensatoren. Die Ablenkung findet in X-Richtung und analog in Y-Richtung statt.

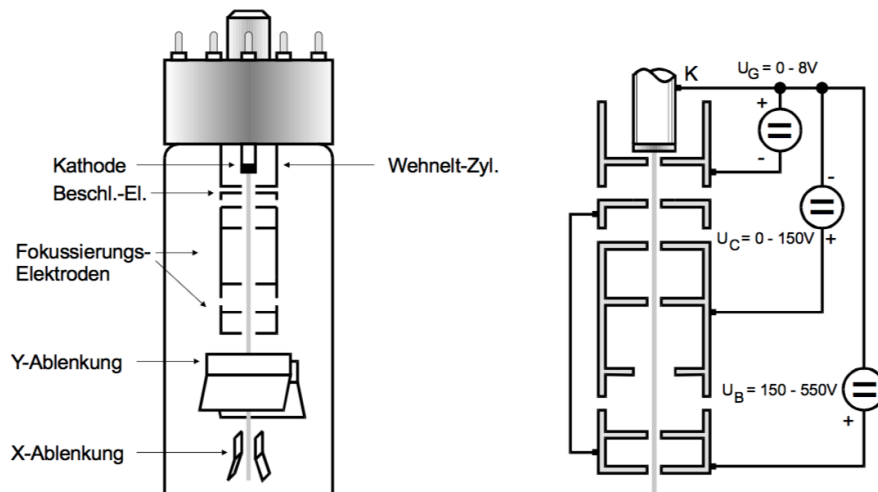


Abbildung 4: Kathodenstrahlröhre [1]

Die Kathodenstrahlröhre wird an die versorgende Spannungsquelle geschlossen (Abb. 5). Die Spannungsquelle zeigt die regelbare Beschleunigungsspannung  $U_B$  an. Die Kathodenstrahlröhre wird mit den Spannungsgeneratoren der Ablenkspannungen verbunden. Zusätzlich wird ein Voltmeter an den Spannungsgenerator für die Ablenkung in Y-Richtung gebracht. Gemessen wird die Verschiebung des Elektronenstrahls auf dem Leuchtschirm und die Ablenkspannung  $U_d$  für fünf unterschiedliche Beschleunigungsspannungen.

#### 2.1.2 Kathodenstrahl-Oszillograph und stehende Wellen

Der Versuchsaufbau wird abgeändert, indem das Voltmeter ausgebaut wird und eine Sägezahnspannung  $\nu_{Sg}$  an die X-Ablenkung gelegt wird (Abb. 6). Außerdem wird an die Y-Ablenkung eine Wechselspannung der Frequenz von  $\nu_{Sin} \approx 80 - 90\text{Hz}$  laut Apparatur und der Spannungsamplitude  $U_{max} = 10\text{V}$  gelegt. Die angelegte Beschleunigungsspannung in

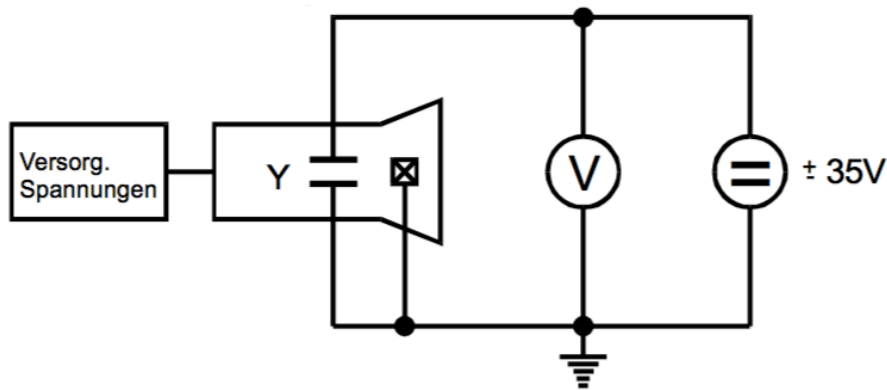


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Messung der Ablenkung des Elektronenstrahls durch elektrische Felder [1]

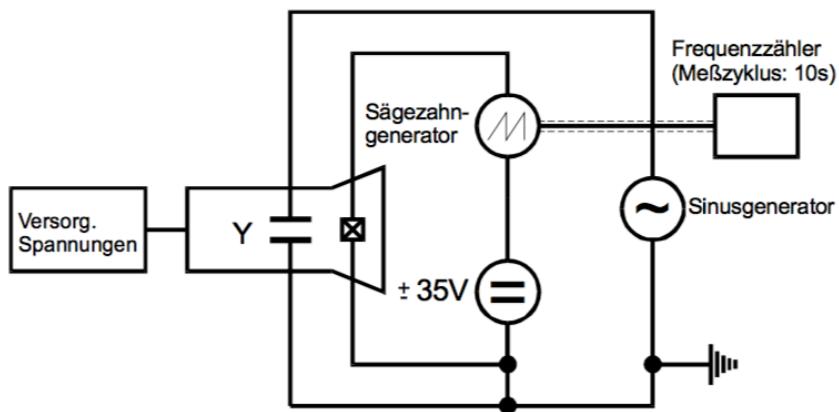


Abbildung 6: Versuchsaufbau des Oszillographen und zum Erstellen der stehenden Wellen [1]

der Kathodenstrahlröhre liegt bei  $U_B = 280V$ . Die Frequenz  $\nu_{Sg}$  wird so lange verändert, bis sich auf dem Oszilloskop eine stehende Welle abbildet. Die stehenden Wellen werden fotografiert und es werden sieben zugehörigen Frequenzen der Sägezahnspannung und die maximale Strahlauslenkung notiert.

## 2.2 Aufbau und Durchführung des Versuchs V502

### 2.2.1 Messung der spezifischen Ladung eines Elektrons

Ein homogenes Magnetfeld wird durch ein Paar Helmholtzspulen mit dem Radius  $r = 0,282m$  und der Windungszahl  $N = 20$  erzeugt. Die Spulen werden mit einem regelbaren Strom  $I$  gespeist. In der Mitte der Helmholtzspulen befindet sich die Kathodenstrahlröhre (Abb. 4). Diese wird mit der Spannungsquelle verbunden, die die Beschleunigungsspannungen erzeugt. Die Ablenkungsplatten werden an die entspre-



chenden Spannungsgeneratoren für die X- und Y-Ablenkung geschlossen. Mithilfe des Kompasses wird ermittelt in welcher Richtung Norden liegt und das Spulenpaar wird parallel dazu ausgerichtet. Der leuchtende Punkt auf dem Schirm wird mit der X- und Y- Ablenkung auf den untersten Punkt der Y-Achse des Koordinatensystems gebracht. Die Stromquelle der Spulen wird eingeschaltet. Der leuchtende Punkt wird durch das Erhöhen des Stroms  $I$  um den Abstand  $D$  auf dem Leuchtschirm verschoben. Für fünf verschiedene Beschleunigungsspannungen werden zehn Messwerte des Abstands  $D$  und des Stroms  $I$  aufgenommen.

### 2.2.2 Messung der Feldstärke des lokalen Erdmagnetfelds

Mit dem Deklinatorium-Inklinatorium wird der Inklinationwinkel festgestellt. Dazu wird zunächst die horizontale Richtung des Erdmagnetfelds gemessen und der Kompass wird gedreht, bis die Nadel bei  $0^\circ$  steht. Dann wird der Kompass senkrecht gedreht. Der Inklinationwinkel wird an der Skala abgelesen. Die Ausrichtung der Helmholtzspulen wird zunächst beibehalten. Die Beschleunigungsspannung wird auf  $U_B = 300\text{ V}$  verringert und der Strom  $I$  wird ausgestellt. Mit der X- und Y-Ablenkung wird der leuchtende Punkt auf dem Schirm in die Mitte des Koordinatensystems gebracht. Die Apparatur wird nun um  $90^\circ$  gedreht. Dabei verschiebt sich der leuchtende Punkt auf dem Schirm. Der Strom  $I$  in den Helmholtzspulen wird erhöht, bis der leuchtende Punkt wieder bei seinem Ausgangspunkt ist. Der benötigte Strom  $I$  wird notiert.

## 3 Auswertung

### 3.1 Auswertung zu V501

Die gemessenen Werte für die Beschleunigungsspannung  $U_B$ , die Ablenkung des Elektronenstrahls  $D$  und die Ablenkspannung  $U_d$  sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Messergebnisse  $U_d$  und  $D$  in Abhängigkeit von  $U_B$

$U_B = 150\text{V}$		$U_B = 250\text{V}$		$U_B = 350\text{V}$		$U_B = 450\text{V}$		$U_B = 480$	
$U_d$ V	D cm	$U_d$ V	D cm	$U_d$ V	D cm	$U_d$ V	D cm	$U_d$ V	D cm
-7,3	1,5875	-12,3	1,524	16,4	1,4478	-19,7	1,3462	-	-
-4,5	0,9525	-7,5	0,889	10,5	0,8128	-11,3	0,7112	-10,6	0,635
-1,6	0,3175	-2,7	0,254	-3,7	0,1778	-2,9	0,0762	-0,9	0,0
1,1	-0,3175	2,4	-0,381	2,9	-0,4572	6,4	-0,5588	8,6	-0,635
3,6	-0,9525	6,9	-1,016	9,8	-1,0922	13,6	-1,1938	17,9	-1,27
6,2	-1,5875	11,4	-1,651	15,7	-1,7272	21,6	-1,8288	27,0	-1,905
8,8	-2,2225	16,2	-2,286	22,6	-2,3622	29,6	-2,4638	-	-
11,4	-2,8575	20,8	-2,921	28,8	-2,9972	-	-	-	-
14,0	-3,4925	25,6	-3,556	34,4	-3,6322	-	-	-	-

In den Abbildungen 7, 8, 9, 10 und 11 wird  $D$  gegen  $U_d$  aufgetragen.

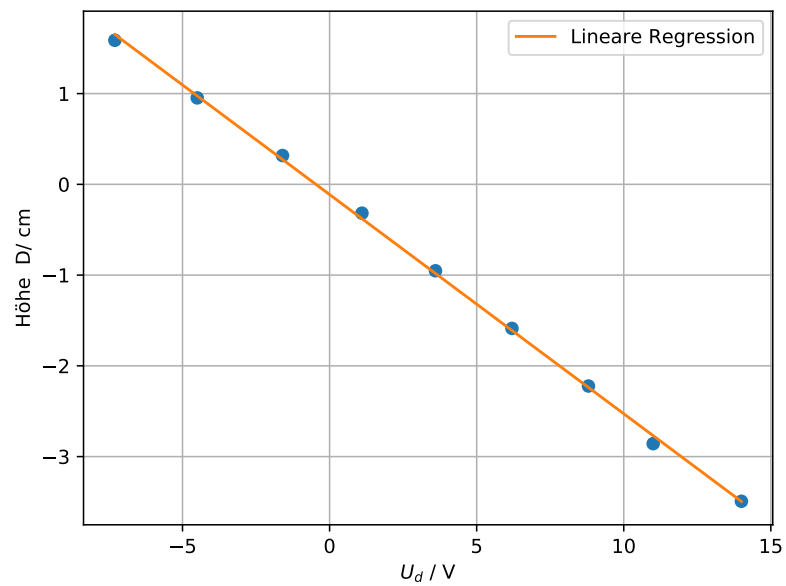


Abbildung 7: Höhe D gegen  $U_d$  für 150V

150V

$$\text{Steigung} : (-0.24155702 \pm 6.70315714 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{cm}}{\text{V}}$$

$$Y - \text{Achse} : (-0.11241836 \pm 3.89639666 \cdot 10^{-4}) \text{cm}$$

250V

$$\text{Steigung} : (-0.13446489 \pm 4.13337095 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{cm}}{\text{V}}$$

$$Y - \text{Achse} : (-0.10761495 \pm 8.03068033 \cdot 10^{-5}) \text{cm}$$

350V

$$\text{Stiegung} : (-0.09853167 \pm 6.37684729 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{cm}}{\text{V}}$$

$$Y - \text{Achse} : (-0.17695027 \pm 2.31507889 \cdot 10^{-4}) \text{cm}$$

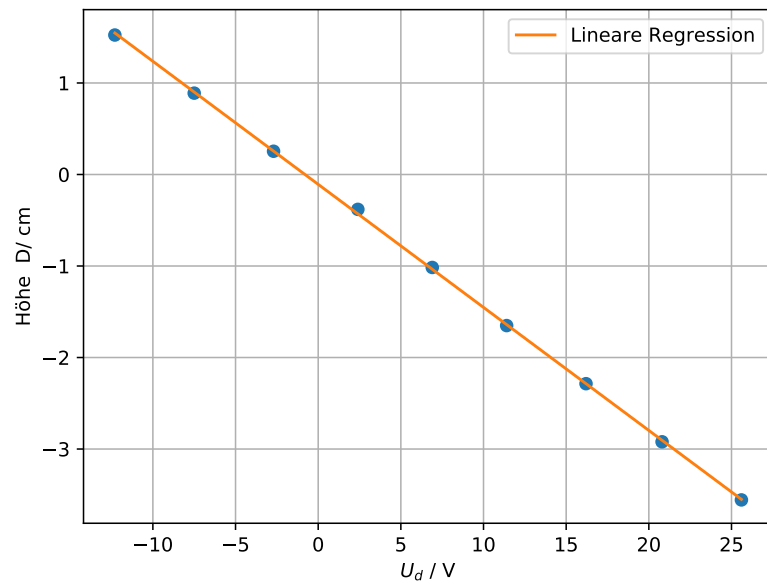


Abbildung 8: Höhe  $D$  gegen  $U_d$  für 250V

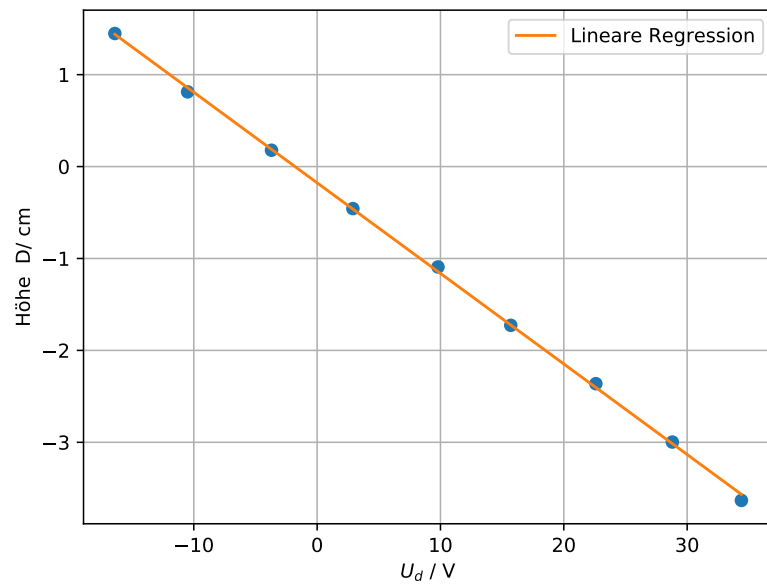


Abbildung 9: Höhe  $D$  gegen  $U_d$  für 350V

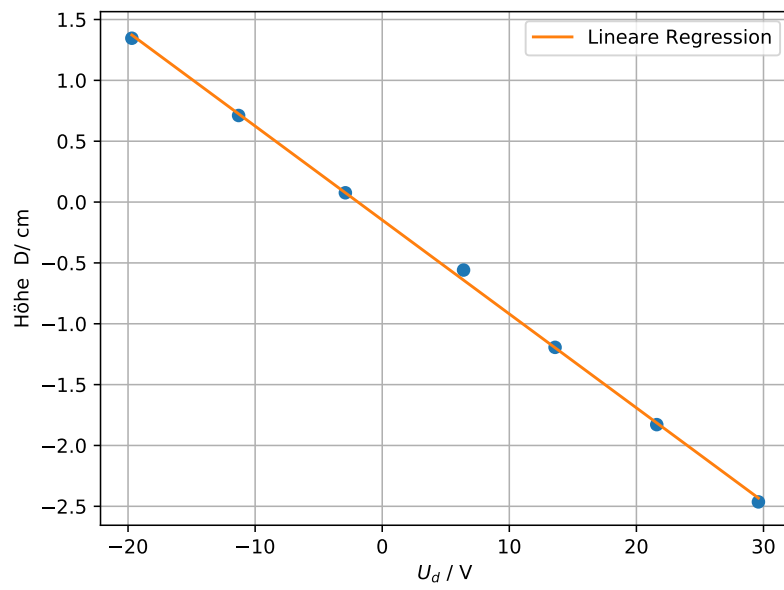


Abbildung 10: Höhe  $D$  gegen  $U_d$  für 450V

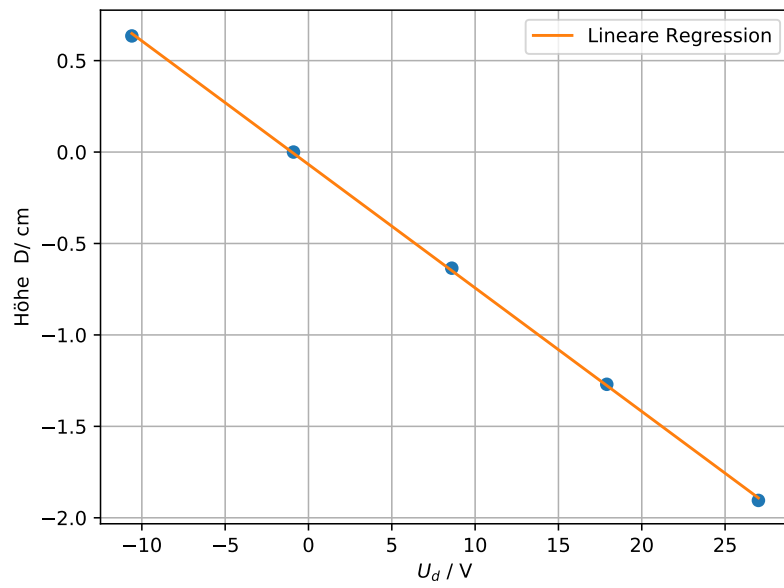


Abbildung 11: Höhe  $D$  gegen  $U_d$  für 480V

450V

$$\text{Steigung} : (-0.07717596 \pm 9.45031190 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{cm}}{\text{V}}$$

$$Y - \text{Achse} : (-0.14756239 \pm 2.82541359 \cdot 10^{-4}) \text{cm}$$

480V

$$\text{Steigung} : (-0.06754249 \pm 2.40937941 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{cm}}{\text{V}}$$

$$Y - \text{Achse} : (-0.06764309 \pm 5.95858844 \cdot 10^{-5}) \text{cm}$$

Mit Hilfe einer von Phyton errechneten Ausgleichsgraden kann die Empfindlichkeit  $D/U_d$  für die verschiedenen Beschleunigungsspannungen ermittelt werden. Die ermittelte Empfindlichkeit wird nun gegen  $1/U_B$  aufgetragen und eine Ausgleichsrechnung durchgeführt. Dies ist in der Abbildung 12 zu sehen.

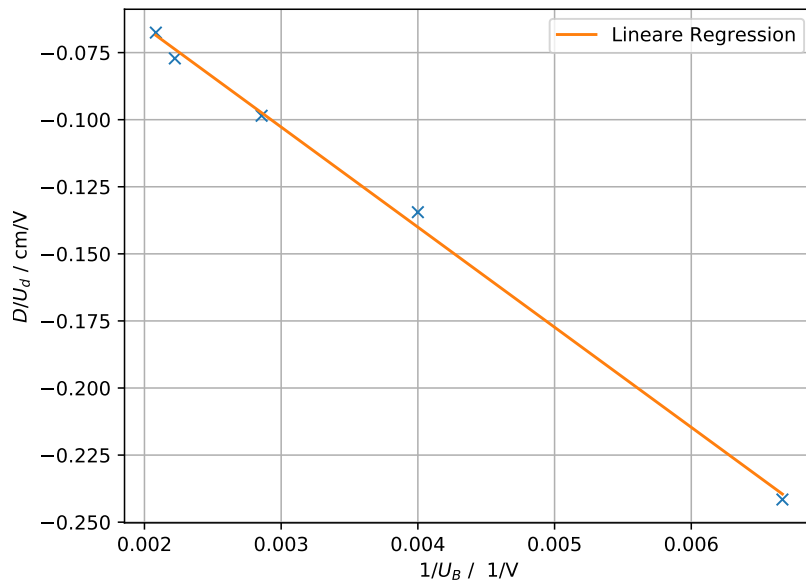


Abbildung 12:  $D/U_d$  gegen  $1/U_B$

Die Steigung der Ausgleichsgraden beträgt:

$$a = (0,3730 \pm 0,0115) \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
p &= 0,019 \text{ m} \\
d &= 0,0038 \text{ m} \\
L &= 0,1533 \text{ m} \\
\frac{pL}{2d} &= 0,383 \text{ 25 m}
\end{aligned}$$

Nun wird die Frequenz der Sinusspannung bestimmt. Als Beschleunigungsspannung wird  $U_B = 280 \text{ V}$  verwendet. Für bestimmte Frequenzen zeigt das Oszilloskop stehende Wellen an. Diese Frequenzen sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Der gemittelte Wert für  $\nu_{\sin}$  beträgt:

$$\nu_{\sin} = 75,146 \text{ Hz.}$$

Die Amplitude der Sinusfrequenz beträgt ein Kästchen auf dem Gitternetz, das sind  $D = 0,635 \text{ cm}$ . Die Empfindlichkeit für  $U_B = 280 \text{ V}$  wird über die Ausgleichsgrade in Abbildung 12 ermittelt.

Tabelle 2: Frequenz der Sinusspannung

$n$	$\nu_{\text{säg}}/\text{Hz}$	$\nu_{\text{sin}}/\text{Hz}$
3	25	75
1,5	50,35	75,525
1	75,24	75,24
0,75	100,35	75,263
0,6	125,36	75,216
0,5	150,95	75,48
0,42	176,9	74,298

$$\begin{aligned}
\frac{D_{\max}}{U_{\sin}} &= 0,1241 \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\
U_{\sin} &= 5,1184 \text{ V}
\end{aligned}$$

### 3.2 Auswertung zu V502

Das im Experiment verwendete Helmholtz-Spulenpaar hatte einen Radius von  $R = 0,282 \text{ m}$  und  $N = 20$  Windungen. In der Tabelle 3 ist das aus der Stromstärke errechnete B-Feld für die gemessenen Spannungen und die Größe  $\frac{D}{(D^2+L^2)}$  eingetragen. L ist dabei  $0,1533 \text{ m}$ .

Trägt man die Werte in Graphen ein und führt mit Python eine Ausgleichsrechnung

Tabelle 3: Messergebnisse der Größen  $D$  und  $B$  für verschiedene  $U_B$

D m	$D/(D^2 + L^2)$ 1/m	$B_{250}$ mT	$B_{300}$ mT	$B_{350}$ mT	$B_{400}$ mT	$B_{440}$ mT
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,00635	0,2697	0,0204	0,0223	0,0223	0,0255	0,0242
0,01270	0,5367	0,0408	0,0446	0,0466	0,0510	0,0510
0,01905	0,7983	0,0638	0,0669	0,0701	0,0772	0,0797
0,02540	1,0519	0,0816	0,0893	0,0957	0,1033	0,1084
0,03175	1,2954	0,1020	0,1148	0,1116	0,1282	0,1352
0,03810	1,5269	0,1224	0,1339	0,1441	0,1562	0,1652
0,04445	1,7447	0,1454	0,1594	0,1690	0,1817	0,1945
0,05080	1,9477	0,1658	0,1817	0,1932	0,2073	

durch, ergeben sich die Abbildungen 13, 14, 15, 16 und 17.

$$\begin{aligned}
m_{250V} &= (11\,844,857 \pm 60,887) \frac{1}{\text{Tm}} \\
Y_{250V} &= (0,042\,147\,51 \pm 0,000\,587\,50) \text{ m} \\
m_{300V} &= (10\,760,858 \pm 48,438) \frac{1}{\text{Tm}} \\
Y_{300V} &= (0,046\,917\,44 \pm 0,000\,562\,41) \text{ m} \\
m_{350V} &= (10\,107,370 \pm 88,829) \frac{1}{\text{Tm}} \\
Y_{350V} &= (0,061\,551\,80 \pm 0,001\,143\,44) \text{ m} \\
m_{400V} &= (9421,877 \pm 30,996) \frac{1}{\text{Tm}} \\
Y_{400V} &= (0,045\,045\,14 \pm 0,000\,470\,80) \text{ m} \\
m_{450V} &= (8946,296 \pm 44,868) \frac{1}{\text{Tm}} \\
Y_{450V} &= (0,055\,062\,24 \pm 0,000\,587\,10) \text{ m}
\end{aligned}$$

Aus den Graphiken werden folgende Steigungen und Y-Achsenabschnitte errechnet. Mit den Steigungen lässt sich über die Gleichung 7 die Konstante  $\frac{e_0}{m_0}$  bestimmen.

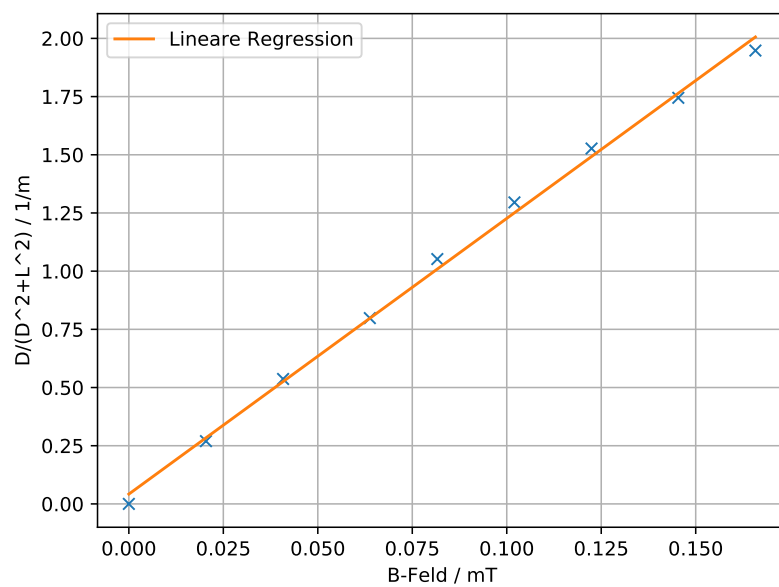


Abbildung 13:  $D/(D^2 + L^2)$  gegen  $B - Feld$  für 250V

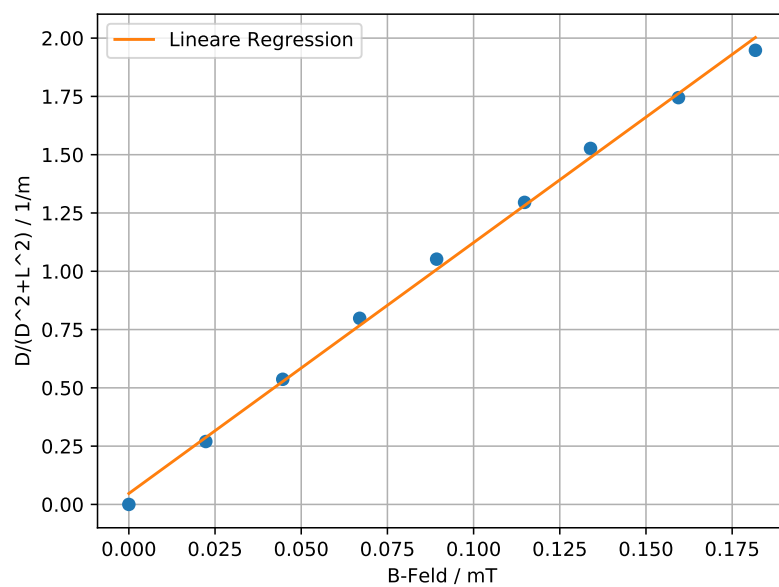


Abbildung 14:  $D/(D^2 + L^2)$  gegen  $B - Feld$  für 300V



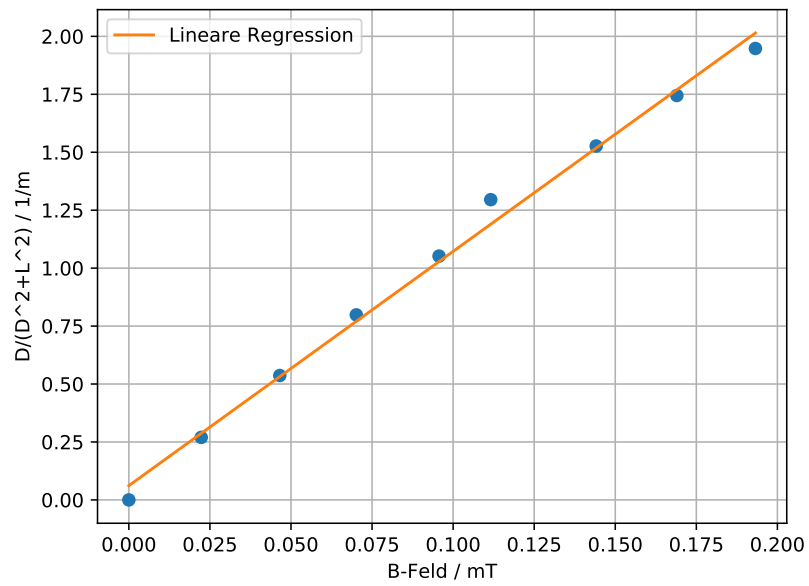


Abbildung 15:  $D/(D^2 + L^2)$  gegen  $B - Feld$  für 350V

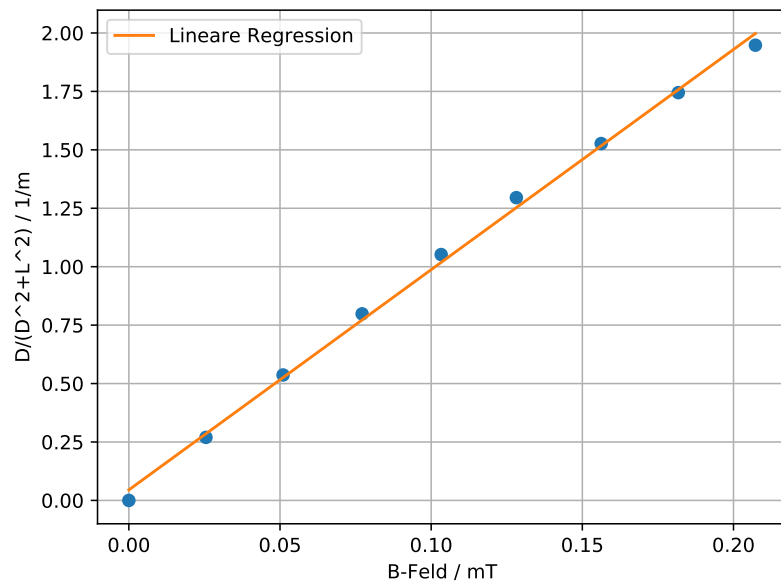


Abbildung 16:  $D/(D^2 + L^2)$  gegen  $B - Feld$  für 400V

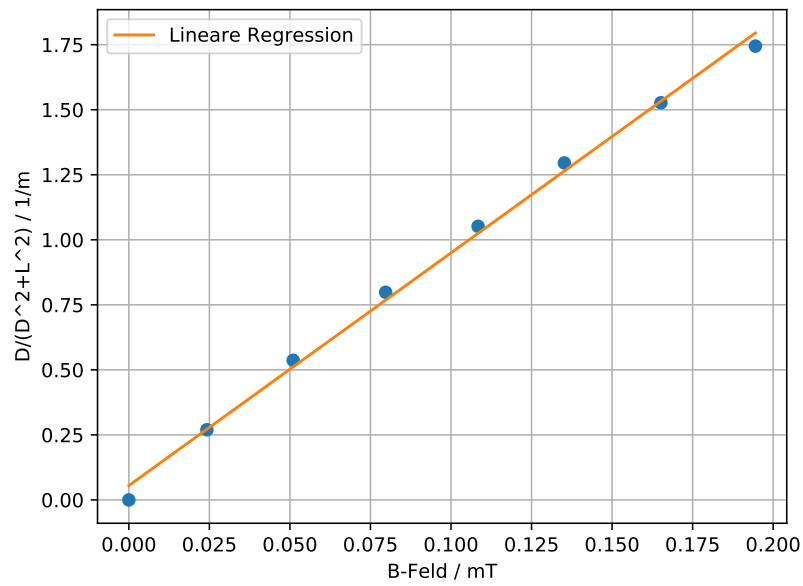


Abbildung 17:  $D/(D^2 + L^2)$  gegen  $B$  – Feld für 450V

Der Mittelwert liegt in etwa bei  $2,820\,707\,896\,80 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$

$$U = 250V$$

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,806\,012\,747 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$U = 300V$$

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,779\,105\,558 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$U = 350V$$

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,860\,449\,993 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$U = 400V$$

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,840\,696\,519 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$U = 440V$$

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,817\,274\,667 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Für die Berechnung des Erdmagnetfeldes werden die Werte

$$I = 0,26 \text{ A}$$

$$\varphi = 72^\circ$$

aufgenommen. Mit den Formeln 4 und 8 kann das totale Erdmagnetfeld berechnet werden:

$$B = 0,053 \text{ mT}.$$

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion zu V501

In der ersten Messreihe gibt es einige Fehlerquellen. Mögliche Fehlerquellen sind Spannungsschwankungen des Stromnetzes, parallaxe Fehler beim Ausrichten des leuchtenden Punktes auf den Linien des Gitternetzes, störende elektrische und magnetische Felder und weiteres. Die störenden Felder bewirken eine Ablenkung der Teilchen. Insbesondere bei dem Versuch 502, der zuvor stattfand, werden diffuse Störungen des Erdmagnetfelds festgestellt. Daraus wird gefolgert, dass die umgebenden Elektrogeräte und andere Dinge störende elektrische oder magnetische Felder emittieren. Dennoch verläuft die Ablenkung des Elektronenstrahls wie erwartet. Der Zusammenhang zwischen der Beschleunigungsspannung  $U_B$ , der Ablenkspannung  $U_d$  und der Ablenkung  $D$  ist linear. Die Steigung des Graphen, in dem die Empfindlichkeit  $D/U_d$  gegen  $1/U_B$  aufgetragen ist, beträgt:

$$a = (0,3730 \pm 0,0115) \text{ m}$$

Die zweite Messreihe zur Erzeugung der stehenden Wellen mit dem selbst gebauten Oszilloskop verläuft weniger genau. Probleme bei der Messung sind, dass die Frequenz der Wellen auf dem Schirm nach dem Einstellen der Frequenz der Sägezahnspannung  $\nu_{Sg}$  schnell wieder zunimmt. Dies führt dazu, dass die Wellen für einige Augenblicke tatsächlich stehen, sich dann aber wieder bewegen. Außerdem ist der Regler für  $\nu_{Sg}$  schwer einzustellen. Der Spannungsgenerator des angelegten und untersuchten Wechselstroms gibt an, Spannungen mit Frequenzen von  $\nu_{theo} = 80 - 90 \text{ Hz}$  auszugeben. Initial bei der Messung fällt auf, dass die Werte für  $\nu_{Sg}$  ungefähr Vielfachen von 25 Hz entsprechen. Dies passt jedoch nicht zu den vom Gerät angegebenen Frequenzen. Als Frequenz des Wechselstroms wird

$$\nu_{exp} = 75,146 \text{ Hz}$$

ermittelt. Die relative Messabweichung  $f$  vom gemessenen Wert zum niedrigsten vom Gerät angegebenen Wert  $\nu = 80 \text{ Hz}$  berechnet sich über

$$f = \frac{x_{exp} - x_{theo}}{x_{theo}} \quad (9)$$

und beläuft sich auf 6,07%.

### 4.2 Diskussion zu V502

Zunächst lässt sich sagen, dass die Messwerte nah an den Literaturwerten liegen. Dennoch liegen mögliche Fehlerquellen vor. Dazu gehören Störungen des induzierten Magnetfelds, Spannungsschwankungen des Stromnetzes, parallaxe Fehler und massive Störungen des Erdmagnetfeldes. Die Störungen des Erdmagnetfelds führen zur Ablenkung der Elektronen und haben ihren Ursprung meist bei elektrischen Geräten, die elektrische und magnetische

Felder emittieren. Das Erdmagnetfeld kann außerdem durch die Beschaffenheit des Gebäudes abgeschirmt werden.

Der mithilfe von Literaturwerten [4] errechnete Wert der spezifischen Elektronenladung beläuft sich auf

$$\frac{e_{0,theo}}{m_{0,theo}} = 1,759 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Der Mittelwert der Messwerte zur spezifischen Elektronenladung ergibt sich zu:

$$\frac{e_0}{m_0} = 2,821 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Die Abweichungen des Mittelwerts der Messwerte zum Literaturwert errechnen sich mit Gleichung (9) zu  $f = 60,37\%$ .

Die zweite Messung beschäftigt sich mit dem lokalen Erdmagnetfeld. Gerade die Messung der Magnetfeldrichtung ist abhängig vom Ort der Messung sehr unterschiedlich. So ergibt sich bei der Messung eine Abweichung von bis zu  $70^\circ$  zu der Richtung, die als Norden bekannt ist und abgeschätzt wird. Als Literaturwert wird

$$B_{tot,theo} = 48 \mu\text{T}$$

verwendet [3].

Die gemessene totale Magnetfeldstärke beträgt:

$$B = 0,053 \text{ mT} = 53 \mu\text{T}.$$

Die Abweichung dieser beiden Werte beläuft sich mit Gleichung (9) auf  $f = 9,4\%$ .

## Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V501*.
- [2] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V502*.
- [3] GFZ German Research Centre for Geosciences. 2017. URL: <http://isdg.gfz-potsdam.de/geomagnetism/igrf-declination-calculator/> (besucht am 16.04.2018).
- [4] Casio Taschenrechner. In: *fx-991ES*.
- [5] Vitatec. 2017. URL: <http://www.vitatec.com/grundlagen/einfluss-erdmagnetfeld> (besucht am 12.04.2018).

V802	$L = 17,5 \text{ cm}$	Spule: $N = 20$ , $r = 0,282 \text{ m}$	
<u>Messreihe 1</u>	$U_B = 250 \text{ V}$	<u>Messreihe 2</u> $U_B = 300 \text{ V}$	
Spulenstrom	D	Spulenstrom	D
I	inch	I	inch
0	0	0	0
<del>0,17</del> 0,17	0,125	<del>0,35</del> 0,35	0,25
0,32	0,25	0,7	0,5
0,46	0,375	1,05	0,75
0,64	0,5	1,4	1
0,84	0,625	1,8	1,25
1	0,75	2,1	1,5
1,104	0,875	2,5	1,75
1,28	1	2,85	2
1,45	1,125		
1,6	1,25		
1,78	1,375		
1,92	1,5		
2,05	1,625		
2,28	1,75		
2,45	1,875		
2,6	2		

<u>Messreihe 3</u>	$U_B = 350 \text{ V}$
Spulenstrom	D
I	inch
0	0
0,35	0,25
0,73	0,5
1,1	0,75
1,5	1,0
1,75	1,25
2,026	1,5
2,65	1,75
3,03	2

A.L.

Abbildung 18: Originale Messdaten

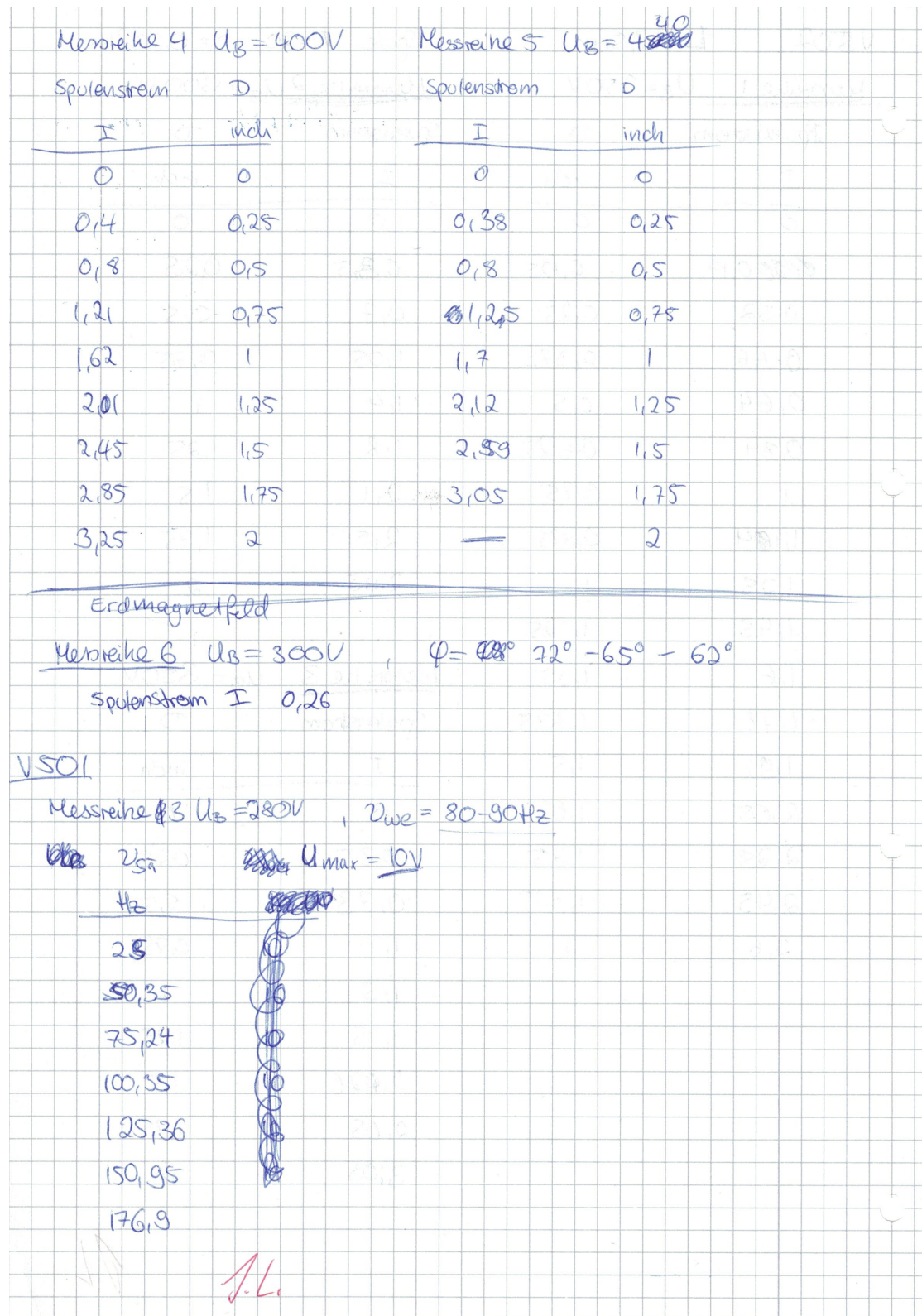


Abbildung 19: Originale Messdaten



# Messreihe ~~120~~ 1

$U_B = 150$

<del>Ud</del>	R
V	inch
-0,75	1
-0,45	0,75
-0,16	0,5
+0,11	0,25
0,36	0
0,62	-0,25
0,88	-0,5
1,14	-0,75
1,40	-1

Nullpunkt: 0,375

$U_B = 250$

<del>Ud</del>	R
V	inch
-12,3	1
-0,75	0,75
-0,27	0,5
+0,24	0,25
0,69	0
1,14	-0,25
1,62	-0,5
2,08	-0,75
2,56	-1

$U_B = 350$

<del>Ud</del>	R
V	inch
-16,4	1
-10,5	0,75
-0,37	0,5
+0,29	0,25
+0,89	0
15,7	-0,25
22,6	-0,5
28,8	-0,75
34,4	-1

$U_B = 450$

<del>Ud</del>	R
V	inch
-19,87	1
-11,3	0,75
-0,29	0,5
0,54	0,25
13,6	0
21,6	-0,25
29,6	-0,5

$U_B = 480$

<del>Ud</del>	R
V	inch
-10,6	0,75
-0,09	0,5
0,86	0,25
17,9	0
27,0	-0,25

NP: 0,5 inch

1.L.

Abbildung 20: Originale Messdaten