

V501/2

## **Elektronen in E- und B-Feld**

Sonia Chander

sonia.chander@tu-dortmund.de

Jana Schlücking

jana.schluecking@tu-dortmund.de

Durchführung: 08.06.2021

Abgabe: 15.06.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Kathodenstrahlröhre . . . . .	3
2.2	Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld . . . . .	4
2.3	Prinzip eines Kathodenstrahl-Oszillographen . . . . .	6
2.4	Ablenkung eines Elektronenstrahls im homogenen Magnetfeld . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>8</b>
3.1	Elektronen im E-Feld . . . . .	8
3.2	Elektronen im B-Feld . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>11</b>
4.1	Elektronen im E-Feld . . . . .	11
4.2	Elektronen im B-Feld . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>16</b>
	<b>Literatur</b>	<b>19</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird die Ablenkung eines Elektronenstrahls einmal in einem elektrischen Feld und einmal in einem magnetischen Feld untersucht. Dabei wird die spezifische Ladung  $\frac{e_0}{m_0}$  eines Elektrons errechnet und das Magnetfeld der Erde am Experimentierort bestimmt.

## 2 Theorie

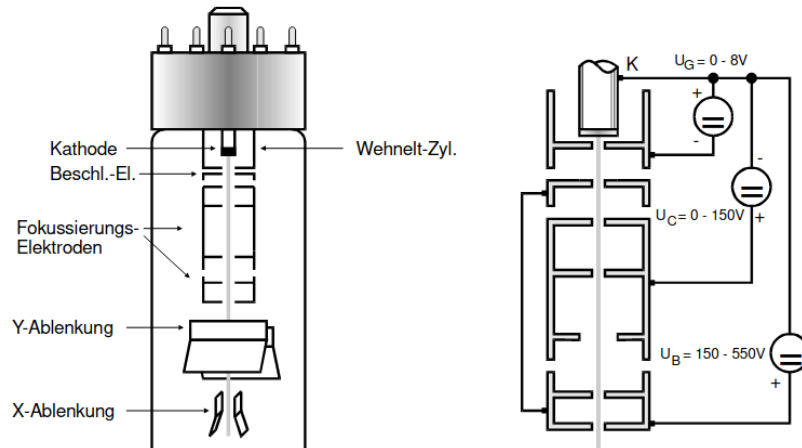
Zur Erzeugung eines Elektronenstrahls kann eine Kathodenstrahlröhre, welche auch unter dem Namen Braun'sche Röhre bekannt ist, genutzt werden. Um Wechselwirkungen der Elektronen mit Luftmolekülen zu vermeiden, werden alle Teile des Experimentes in einem Hochvakuum durchgeführt. In üblichen Kathodenstrahlröhren herrscht ein Druck von etwa  $10^{-6}$  mbar.

### 2.1 Kathodenstrahlröhre

In einer Kathodenstrahlröhre werden Elektronen mit einer sogenannten Elektronenkanone erzeugt. Dort werden mittels Glühemission Elektronen aus einer Kathode, welche eine Oberfläche aus Material mit niedriger Elektronenaustrittsarbeit hat, gelöst. Die Kathode ist von einem Wehnelt-Zylinder umgeben. Dies ist ein zylindrischer Hohlkörper an dem ein zur Kathode negatives Potential anliegt. Somit wird die Intensität des Elektronenstrahls gesteuert. Die dritte anliegende Spannung ist die Beschleunigungsspannung  $U_B$ . Diese gibt den Elektronen Energie, sodass sie die Geschwindigkeit

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

haben, welche sich aus dem Energiesatz berechnen lässt. Hier beschreibt  $e_0$  die Elementarladung,  $m_0$  die Elektronenmasse und  $v_z$  die Geschwindigkeit der Elektronen, wobei  $v_z \ll c$  gelten muss. Diese Schaltung ist auch in der Abbildung 1 zu sehen.



**Abbildung 1:** Der Querschnitt einer Kathodenstrahlröhre und die Beschaltung ihrer Elektronenkanone [1].

Die ausgelösten und beschleunigten Elektronen werden anschließend mit einer elektronischen Linse gebündelt. Dies geschieht durch inhomogene E-Felder, welche sich am Stirnende der Elektroden aufbauen. Dementsprechend ist die Brechkraft dieser elektronischen Linse mit der Spannung  $U_c$  einstellbar.

Der Elektronenstrahl fällt auf einen auf der Innenseite aufgedampften Leuchtschirm. Dort regen die Elektronen die Aktivatorzentren zur Emission von Lichtquanten an. Damit sich der Leuchtschirm nicht negativ auflädt ist er elektrisch leitend mit der Beschleunigungselektrode verbunden.

Nach dem Austreten der Elektronen aus der Elektronenkanone durchlaufen diese das Ablensystem, welches aus zwei senkrecht zueinanderstehenden Plattenkondensatoren besteht. Wird dort eine Spannung angelegt, so werden die Elektronen abhängig von der Feldstärke des im Plattenkondensator entstehendem elektrischen Feld und ihrer Geschwindigkeit weit abgelenkt.

## 2.2 Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld

Liegt an einem Plattenkondensator eine Spannung  $U_d$  an, so bildet sich in ihm ein nahezu homogenes elektrisches Feld mit der Feldstärke

$$E = \frac{U_d}{d},$$

wobei  $d$  für den Plattenabstand steht. Befindet sich eine Ladung in diesem Feld, so wirkt auf sie die Kraft

$$|\vec{F}| = e_0 \cdot \frac{U_d}{d}.$$

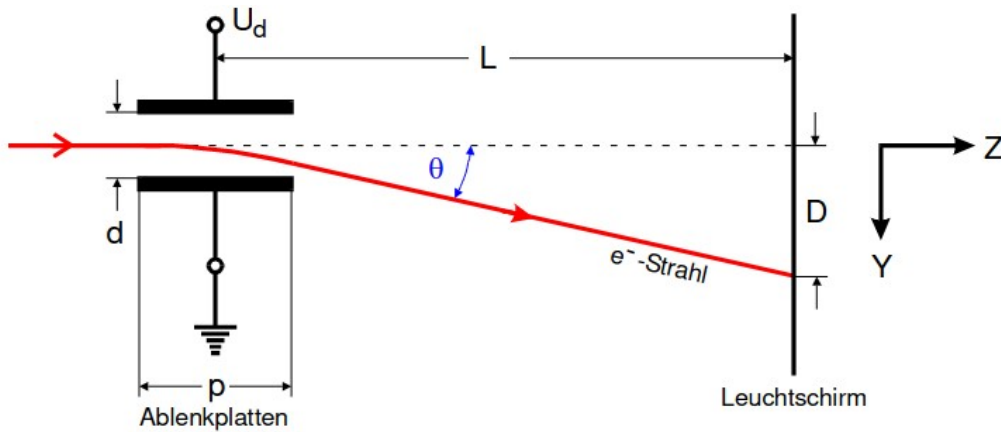
Die Richtung der Kraft ist parallel oder antiparallel zu den Feldlinien. Da die Kraft nur im elektrischen Feld auf die Ladung ausgeübt wird, kann die Geschwindigkeit, die die

Ladung nach Durchlauf des Plattenkondensators in y-Richtung hat, angegeben werden mit

$$v_y = a_y \cdot \Delta t = \frac{F}{m_0} \Delta t.$$

Dazu wird genutzt, dass  $v = a \cdot t$  und  $F = m \cdot a$  ist. Mit der Geschwindigkeit in z-Richtung, welche durch die Beschleunigungsspannung gegeben ist, kann die Durchlaufzeit  $\Delta t$  angegeben werden als  $\Delta t = \frac{p}{v_z}$ . Somit gilt für die Geschwindigkeit in y-Richtung:

$$v_y = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z}$$



**Abbildung 2:** Die Strahlablenkung in der Kathodenstrahlröhre [1].

In der Abbildung 2 ist die beschriebene Ablenkung mit allen wichtigen Größen eingezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Auslenkung des Elektronenstrahl direkt beim Eintritt in den Kondensator beginnt und nicht erst in der Mitte des Kondensators. Da sich das Elektron außerhalb des E-Feldes geradlinig bewegt, kann mithilfe der Abbildung 2 für den Winkel der Richtungsänderung der Term

$$\theta \approx \frac{v_y}{v_z} = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2}$$

angegeben werden. Es wird die Kleinwinkelnäherung angenommen. Die messbare Verschiebung des angezeigten Punktes auf dem Leuchtschirm  $D$  wird unter Benutzung der Kleinwinkelnäherung berechnet über

$$D = L \cdot \theta = \frac{e_0}{m_0} L \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2} = \frac{p}{2d} L \frac{U_d}{U_B}. \quad (2)$$

Bei der letzten Umformung wird für  $v_z$  die Relation aus Gleichung (1) eingesetzt.

Aus den Formeln ist zu erkennen, dass für eine hohe Ablenkempfindlichkeit ein langer Ablenkkondensator  $p$ , ein langer Strahlenweg  $L$  und eine geringe Beschleunigungsspannung genutzt werden muss. Da die Flugzeit  $\Delta t$  immer klein gegenüber der Periodendauer von  $U_d$  sein muss, können so nur niederfrequente Wechselspannungen gemessen werden. Um hochfrequente Wechselspannungen zu untersuchen, wird eine Kathodenstrahlröhre mit kurzem Ablenkkondensator  $p$  und großer Beschleunigungsspannung benötigt.

### 2.3 Prinzip eines Kathodenstrahl-Oszillographen

Eine Kathodenstrahlröhre kann auch als Kathodenstrahl-Oszillograph benutzt werden, indem die zu untersuchende Spannung auf die vertikal ablenkenden Platten und eine Sägezahnspannung auf die horizontal ablenkenden Platten angelegt wird. Die Sägezahnspannung steigt linear an und fällt beim Erreichen ihres Maximalwertes schlagartig wieder auf die Null. Damit sorgt sie dafür, dass der Elektronenstrahl gleichmäßig über den Leuchtschirm fährt und beim Erreichen des Endes des Leuchtschirms springt der Elektronenstrahl wieder an den Anfang des Leuchtschirms. Um ein stehendes Bild auf dem Schirm zu sehen, muss für die Frequenzen der folgende Zusammenhang gelten

$$n \cdot \nu_{\text{Sä}} = m \cdot \nu_{\text{We}}, \quad (3)$$

wobei  $n, m \in \mathbb{N}$  sind. Für  $n = 1, m = 2$  bedeutet das, dass auf dem Schirm zwei Periodendauern der Wechselspannung zu sehen sind.

### 2.4 Ablenkung eines Elektronenstrahls im homogenen Magnetfeld

In einem homogenen Magnetfeld wirkt auf bewegte Ladungen die sogenannte Lorentz-Kraft

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}. \quad (4)$$

Kommt ein Elektron mit einer Geschwindigkeit in z-Richtung in ein homogenes Magnetfeld, welches in x-Richtung ausgerichtet ist, so erfährt es eine Kraft in y-Richtung,

$$F_{L, y} = e_0 m_0 B.$$

Die Geschwindigkeit in y-Richtung, welche aus der Kraft resultiert, überlagert sich mit der Geschwindigkeit in z-Richtung, sodass das Elektron auf eine gekrümmte Bahn in der xy-Ebene gezogen wird. Eine Eigenschaft des Kreuzproduktes aus der Formel (4) ist, dass die Kraft senkrecht auf dem Wegelement steht,

$$\vec{F} \cdot d\vec{s} = 0.$$

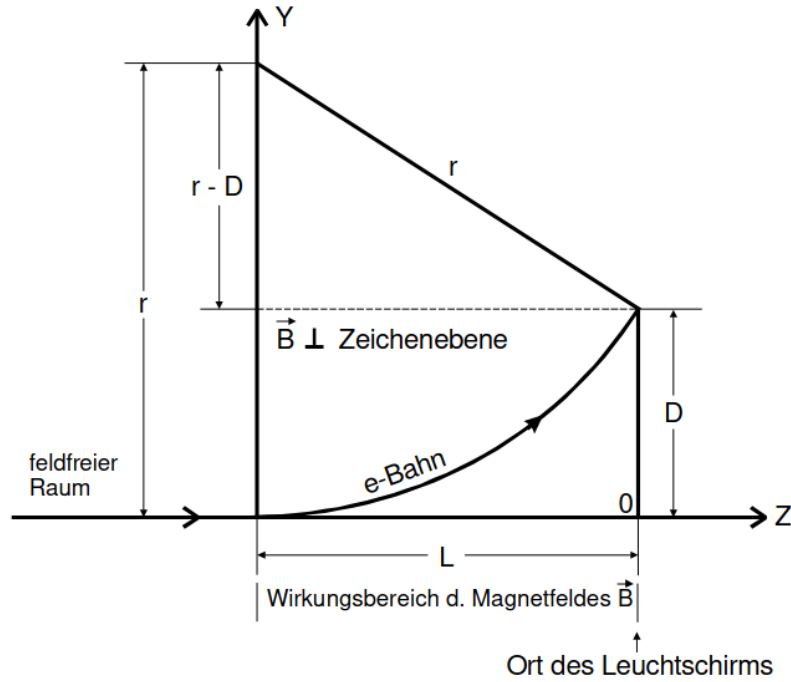
Hieraus folgt, dass sich die potentielle Energie des Elektrons nicht ändert. Da Energieerhaltung gilt, muss somit auch kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_0 v^2$  konstant bleiben und damit bleibt als einzig veränderbare Variable  $|\vec{v}|$ . Außerhalb des Magnetfeldes ist die Geschwindigkeit  $\vec{v} = v_z \vec{e}_z$ , sodass

$$|\vec{v}| = v_z$$

für alle Bahnpunkte gilt. Durch Gleichsetzen von Lorentzkraft und Zentripetalkraft kann der momentane Krümmungsradius  $r$  ermittelt werden:

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

Es ist auffällig, dass der Radius sich nur aus konstanten Werten zusammensetzt, sodass sich das Elektron auf einer Kreisbahn bewegen muss.



**Abbildung 3:** Skizze zur Bestimmung der Beziehungen bei der Ablenkung im B-Feld [2].

In der Kathodenstrahlröhre bekommen die Elektronen die Geschwindigkeit

$$v_z = \sqrt{\frac{2U_B e_0}{m_0}},$$

wobei diese aus der Gleichung (1) durch Umstellen ermittelt wird. Auf dem Leuchtschirm ist der Abstand vom Nullpunkt  $D$  zu ermitteln. Ist  $L$ , wie in der Abbildung 3 zu sehen der Wirkungsbereich des Magnetfeldes, so gilt der Zusammenhang

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

Durch Einsetzen der Zusammenhänge (5) und (1) lässt sich ein Ausdruck für die spezifische Ladung aufstellen:

$$\frac{D}{L^2 + D^2} = \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \cdot \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} \cdot B. \quad (6)$$

### 3 Durchführung

Für die Messungen werden jeweils die gleichen Kathodenstrahlröhren genutzt. Die Abmessungen der Röhre sind in der Abbildung 4 zu sehen.

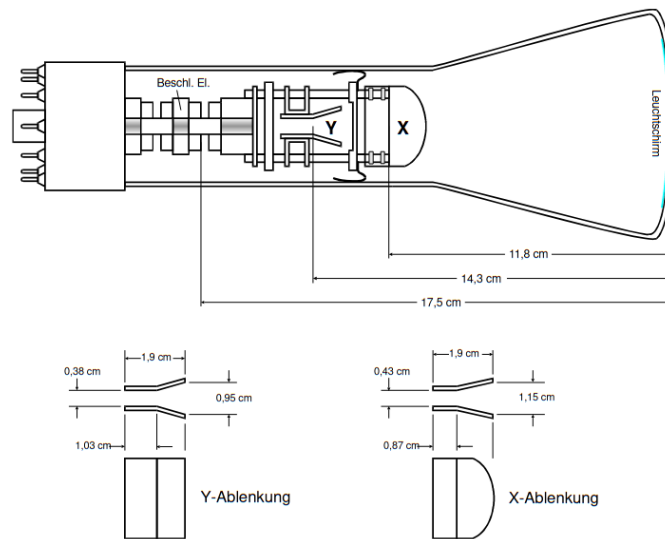


Abbildung 4: Der Querschnitt der benutzten Kathodenstrahlröhre. [1].

#### 3.1 Elektronen im E-Feld

Zuerst wird der Zusammenhang zwischen der Ablenkspannung und der Leuchtfleckverschiebung auf dem Schirm untersucht. Dafür werden für 5 verschiedene Beschleunigungsspannungen  $U_B$  im Bereich von 180 V – 500 V der Leuchtfleck auf die 9 äquidistanten Punkte des Leuchtschirms gebracht und dann die jeweilige Ablenkspannung  $U_d$  notiert. Diese wird auf einem Voltmeter abgelesen.

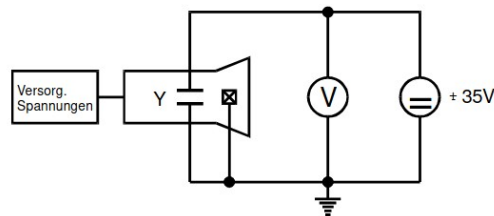
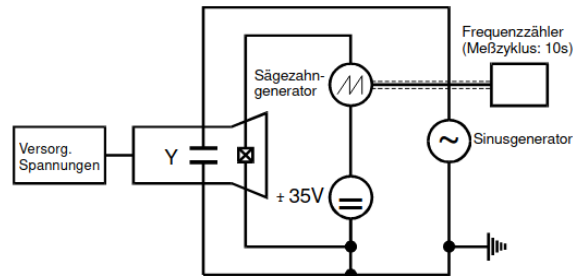


Abbildung 5: Eine Schaltung zur Messung der Leuchtfleckverschiebung [1].



Anschließend wird ein Kathodenstrahl-Oszillograph nach der Schaltung in Abbildung 6 aufgebaut. An der x-Ablenkung ist die Sägezahnspannung und an der y-Ablenkung eine auszumessende Sinusspannung angelegt. Nun wird die Frequenz der Sägezahnspannung so verändert, dass sich auf dem Schirm stehende Bilder von einer halben, einer ganzen, zwei und drei Perioden der Sinusspannung zu sehen sind. Für diese Verhältnisse werden die Frequenzen notiert.



**Abbildung 6:** Prinzipschaltbild eines Kathodenstrahl-Oszillographen [1].



**Abbildung 7:** Aufbau des Experimentes für die Messung mit einem elektrischen Feld.

In der Abbildung 7 ist von links nach rechts ist die Beschaltung der Kathodenstrahlröhre, die Kathodenstrahlröhre, der Sinusgenerator auf dem Frequenzzähler und das Voltmeter auf dem Gleichspannungsgenerator auf dem Sägezahn-generator zu sehen.

### 3.2 Elektronen im B-Feld

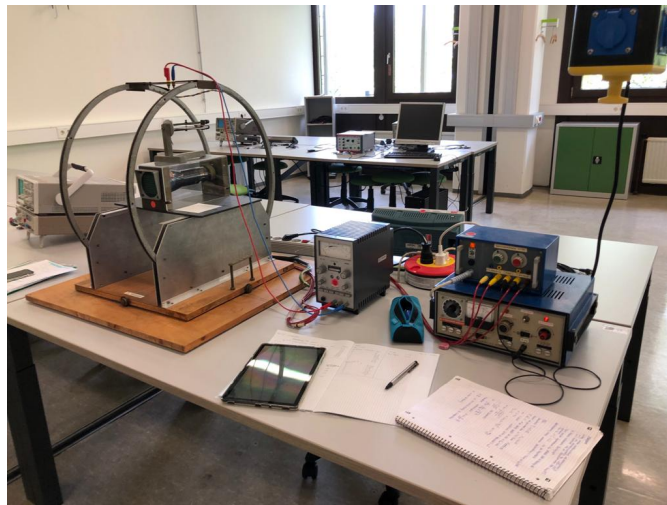
Es wird ein Magnetfeld mit einem Helmholtzspulenpaar erzeugt; die Flussdichte  $B$  ist im Mittelpunkt gegeben durch

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{NI}{R}, \quad (7)$$

wobei  $N$  die Windungszahl,  $R$  der Spulenradius und  $I$  der Spulenstrom ist. Die Kathodenstrahlröhre wird zu Beginn nicht in Richtung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes gelegt, da dies kaum einen Einfluss auf die Messung der spezifischen Ladung hat. Hierzu wird für zwei verschiedene Beschleunigungsspannungen  $U_B = 250\text{ V}$  und  $U_B = 500\text{ V}$  der Leuchtfleck mit Hilfe eines elektrischen Feldes auf die oberste oder die unterste der äquidistanten Linien gelegt. Analog zur Messung der Leuchtfleckverschiebung wird der Leuchtfleck auf eine der äquidistanten Linien gebracht und der dafür benötigte Spulenstrom notiert.

Abschließend wird die Intensität des lokalen Erdmagnetfeldes gemessen. Dazu wird die Position des Leuchtfleck in Nord-Süd-Ausrichtung der Kathodenstrahlröhre notiert oder mit einem elektrischen Feld auf den Mittelpunkt des Schirms gelegt. Dann wird die Röhre in Ost-West-Richtung gedreht, sodass sich der Leuchtfleck verschiebt. Anschließend wird der Leuchtfleck durch das Magnetfeld des Helmholtzspulenpaar wieder auf den Ursprungsort gelegt und der dafür benötigte Spulenstrom notiert.

In der Abbildung 8 ist der Aufbau des Experimentes mit einem Magnetfeld zu sehen. Das Helmholtzspulenpaar ist auf einer drehbaren Platte gelagert, in seinem Mittelpunkt befindet sich die Kathodenstrahlröhre. Rechts daneben befindet sich das Amperemeter mit dem der Strom notiert wird und daneben der Gleichspannungsgenerator auf der Beschaltung für die Kathodenstrahlröhre.



**Abbildung 8:** Aufbau des Experimentes zur Messung mit einem Magnetfeld.

## 4 Auswertung

### 4.1 Elektronen im E-Feld

Zunächst wird die Empfindlichkeit  $D/U_d$  mithilfe einer Ausgleichsrechnung durch Python ermittelt. Die nach Abschnitt 3 aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 1, sowie in Abbildung 9 zu finden. Zudem wird zu jedem Messsatz eine lineare Ausgleichsrechnung nach  $D = a \cdot U_d + b$  durchgeführt. Folgende Werte werden ermittelt:

$$\begin{aligned} U_b = 180 \text{ V} : \quad & a = (-0.5371 \pm 0.0060) \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\ & b = (-2.1190 \pm 0.1182) \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_b = 240 \text{ V} : \quad & a = (-0.7039 \pm 0.0048) \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\ & b = (-1.6669 \pm 0.0948) \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_b = 275 \text{ V} : \quad & a = (-0.7806 \pm 0.0041) \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\ & b = (0.0258 \pm 0.0819) \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_b = 300 \text{ V} : \quad & a = (-0.6900 \pm 0.0804) \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\ & b = (-0.4568 \pm 1.5918) \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_b = 350 \text{ V} : \quad & a = (-0.9771 \pm 0.0173) \frac{\text{cm}}{\text{V}} \\ & b = (1.3315 \pm 0.3310) \text{ cm} \end{aligned}$$

Diese Steigungen werden in ein  $1/U_b - D/U_d$ -Diagramm aufgetragen (siehe Abbildung 10) und mithilfe von Python eine Ausgleichsrechnung durchgeführt.

Der Punkt für  $D/U_d = 300 \text{ V}$  wird für die Ausgleichsrechnung nicht berücksichtigt, da dieser deutlich abweicht, auch die Messunsicherheit ist hier relativ groß. Für diese Gerade mit der Form  $\frac{D}{U_d} = a \cdot \frac{1}{U_b} + b$  werden folgende Werte bestimmt:

$$a = (157,2805 \pm 22,9625) \text{ mm} \quad b = (-1,3873 \pm 0,0958) \frac{\text{mm}}{\text{V}}$$

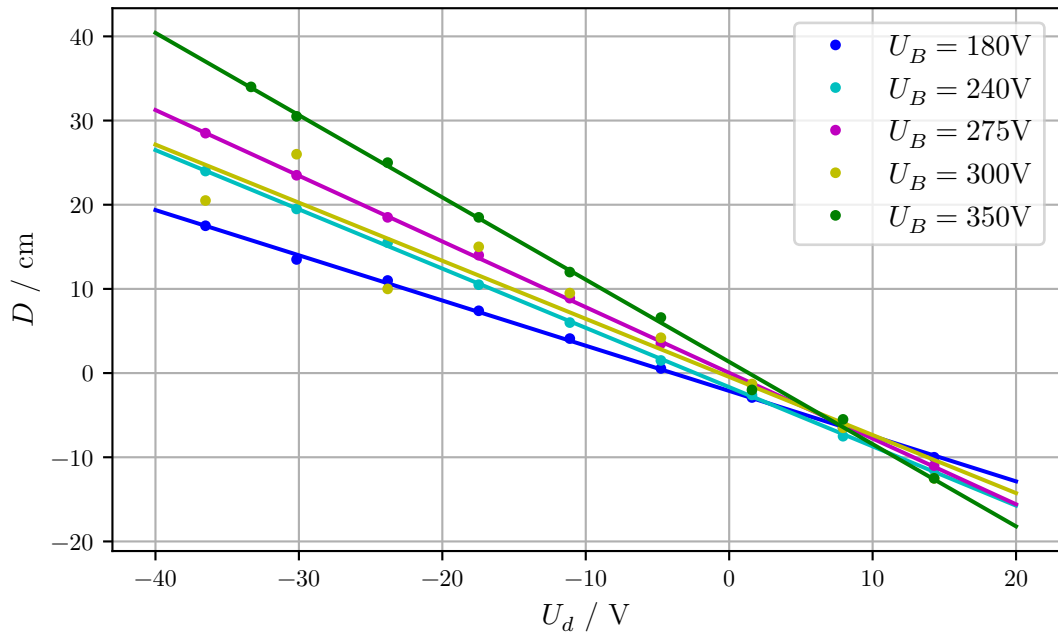
Diese Steigung  $a = (157,2805 \pm 22,9625) \text{ mm}$  soll nun mit  $\frac{p \cdot L}{2 \cdot d}$  aus der Gleichung (2) verglichen werden. Die Längen werden aus Abbildung 4 entnommen und lauten:

Länge der Ablenkplatte	$p = 19 \text{ mm}$
Abstand der Ablenkplatten	$d = 3,8 \text{ mm}$
Abstand zw. Ablenkplatte und Leuchtschirm	$L = 143 \text{ mm}$

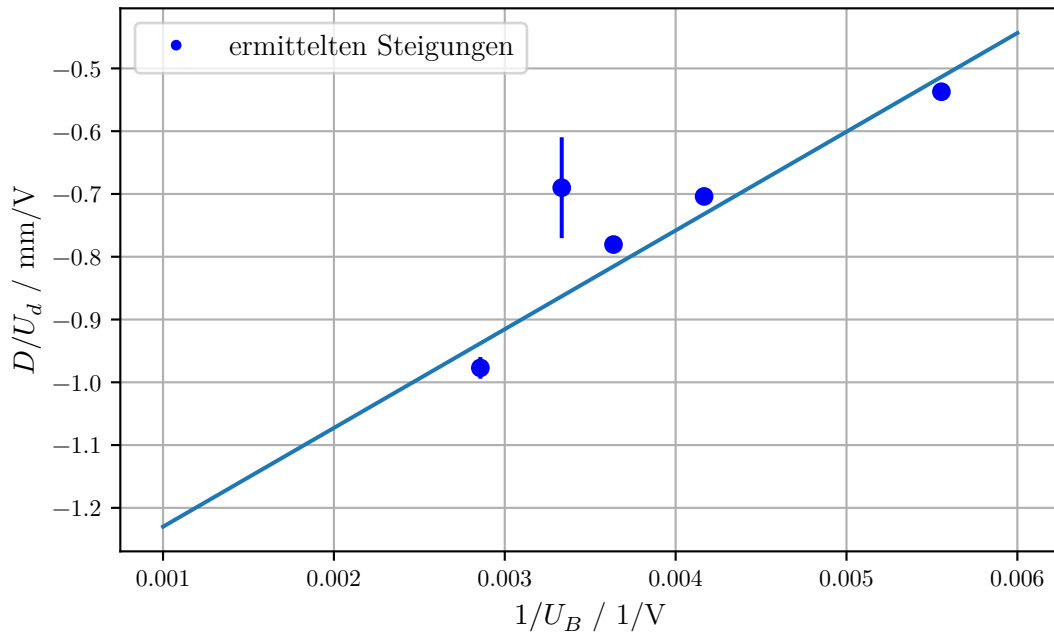
**Tabelle 1:** Die aufgenommenen Messergebnisse.  $U_b$  wurde am Anfang jeder Messung verändert.  $U_d$  wurde dann in Abhängigkeit von der Auslenkung  $D$  notiert.

	$U_b = 180 \text{ V}$	$U_b = 240 \text{ V}$	$U_b = 275 \text{ V}$	$U_b = 300 \text{ V}$	$U_b = 350 \text{ V}$
$D / 6,35 \text{ mm}$	$U_d$				
4.0	-10.0	-11.5	-11.0	-12.5	-12.5
3.0	-6.5	-7.5	-6.2	-6.5	-5.5
2.0	-2.9	-2.6	-1.4	-1.3	-2.0
1.0	0.55	1.5	3.5	4.2	6.6
0.0	4.1	6.0	8.9	9.5	12.0
-1.0	7.4	10.5	14.0	15.0	18.5
-2.0	11.0	15.5	18.5	10.0	25.0
-3.0	13.5	19.5	23.5	26.0	30.5
-3.5	17.5	24.0	28.5	20.5	34.0

Daraus ergibt sich für  $\frac{p \cdot L}{2 \cdot d} = 357,5 \text{ mm}$ , somit weicht der ermittelte Wert um 43,9% vom Theoriewert ab.



**Abbildung 9:** Die aufgenommenen Messwerte aus dem ersten Teil der E-Feld Untersuchung und die dazugehörigen Ausgleichsgeraden.



**Abbildung 10:** Die ermittelten Steigungen aus dem ersten Teil der E-Feld Untersuchung und dazugehörige Ausgleichsgerade. Das Wertepaar zu  $U_b = 300 \text{ V}$  wurde für die Ausgleichsrechnung vernachlässigt.

Das Kathodenstrahl-Oszilloskop wird nachgebaut und verschiedene Sägezahnfrequenzen werden durchlaufen, um die Frequenz der Sinusspannung zu ermitteln. Die aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 2 zu finden. Das Messpaar  $n = 3/2$  und  $\nu_{\text{Sä}} = 75 \text{ Hz}$  wird bei der weiteren Betrachtung vernachlässigt, da dieser nicht zu dem Verhältnis passt, das in Gleichung (3) beschrieben wird. Mithilfe von Gleichung (3) wird für die Sinusfrequenz  $\nu_{\text{Sin}} = 50 \text{ Hz}$  bestimmt, da sich aus den Messpaaren folgender Zusammenhang ergibt:

$$\begin{aligned}
 n_1 \cdot \nu_1 &= 2 \cdot 25 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}, \\
 n_2 \cdot \nu_2 &= 1 \cdot 50 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}, \\
 n_4 \cdot \nu_4 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}.
 \end{aligned}$$

**Tabelle 2:** Die aufgenommenen Sägezahnfrequenzen  $\nu_{\text{Sä}}$  in Abhängigkeit von den beobachteten Sinusperioden  $n$ .

$n$	$\nu_{\text{Sä}} / \text{Hz}$
2	25
1	50
$3/2$	75
$1/2$	100

## 4.2 Elektronen im B-Feld

In diesem Teil soll nun die spezifische Ladung  $\frac{e_0}{m_0}$  bestimmt werden. Die nach Abschnitt 3 aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 3 zu finden. Diese werden in Abbildung 11 aufgetragen, für beide Messreihen wird eine lineare Ausgleichsrechnung der Form  $\frac{D}{L^2+D^2} = a \cdot B + b$  durchgeführt. Dabei ist  $L = 0,143 \text{ m}$  und die Flussdichte  $B$  kann mithilfe der Gleichung (7) bestimmt werden. Hier ist  $N$  die Windungszahl,  $I$  der Spulenstrom,  $R$  der Spulenradius und  $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(A m)}$ . Die Windungszahl  $N$  beträgt 20 und der Spulenradius  $R$  ist  $0,282 \text{ m}$ . Für die Koeffizienten der Ausgleichsgeraden werden folgende Werte ermittelt:

$$\begin{aligned} U_b = 250 \text{ V} \quad & a = (-15.0649 \pm 0.0796) \cdot 10^{-3} \frac{\text{mT}}{\text{m}} \\ & b = (1.1955 \pm 0.0076) \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_b = 420 \text{ V} \quad & a = (-11.6417 \pm 0.1543) \cdot 10^{-3} \frac{\text{mT}}{\text{m}} \\ & b = (-1.2456 \pm 0.0195) \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

Durch einen Vergleich mit der Gleichung (6) ergibt sich jeweils für die spezifische Ladung:

$$U_b = 250 \text{ V} \quad \frac{e_0}{m_0} = (4.5390 \pm 0.0015) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$U_b = 420 \text{ V} \quad \frac{e_0}{m_0} = (2.7106 \pm 0.0023) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Daraus ergibt sich als Mittelwert für die spezifische Ladung:

$$\frac{e_0}{m_0} = (3.6248 \pm 0.0014) \cdot 10^{11} \text{ C/kg.}$$

Nun soll das Erdmagnetfeld bestimmt werden. Wie in Abschnitt 3 beschrieben, wird folgender Messwert notiert:

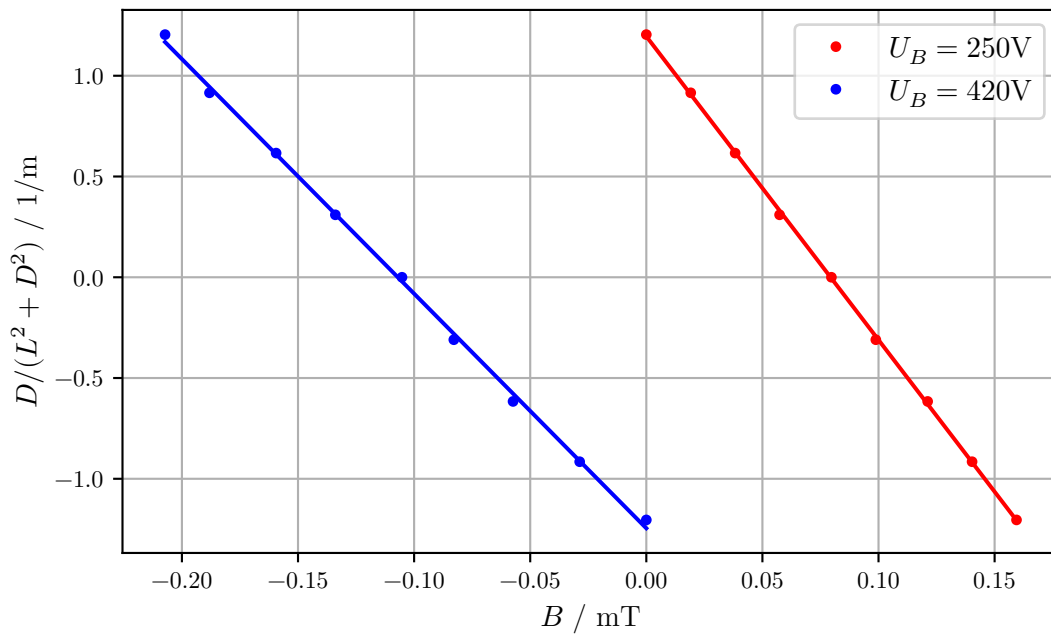
$$U_b = 180 \text{ V} \quad I = 0,55 \text{ A.}$$

Mit der Gleichung (7) kann dann das Erdmagnetfeld ermittelt werden:

$$B = 3.5074 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$

**Tabelle 3:** Die aufgenommenen Stromstärken  $I$  in Abhängigkeit der Auslenkung  $D$ . Ähnlich wie in der E-Feld Untersuchung wurde die Beschleunigungsspannung zu Beginn eines Messdurchlaufes festgesetzt um danach die Ablenkungen und Stromstärken zu untersuchen.

$D / 6,35 \text{ mm}$	$U_b = 250 \text{ V}$	$U_b = 420 \text{ V}$
	$I / \text{A}$	
4.0	0.0	-3.25
3.0	0.3	-2.95
2.0	0.6	-2.5
1.0	0.9	-2.1
0.0	1.25	-1.65
-1.0	1.55	-1.3
-2.0	1.9	-0.9
-3.0	2.2	-0.45
-4.0	2.5	0.0



**Abbildung 11:**  $\frac{D}{L^2 + D^2}$  gegen die Flussdichte  $B$  aufgetragen. Die Messungen wurden für  $U_b = 250 \text{ V}$  und  $420 \text{ V}$  durchgeführt.

## 5 Diskussion

Die Versuchsdurchführung verlief ohne größere Probleme. Da die Messungen stark von dem Blickwinkel auf den Leuchtschirm beeinflusst werden, können hierbei einige Messunsicherheiten nicht vermieden werden. Auch die Justierung der Y-Ablenkung erfolgte nur mündlich, da eine der Praktikantinnen den Leuchtschirm im Blick hatte und die andere den Regler verstellte.

Für das Verhältnis  $\frac{p \cdot L}{2 \cdot d}$  besteht eine 43,9% Abweichung zwischen Theorie- und ermittelten Wert. Die oben genannten Bedingungen haben sicherlich einen Einfluss auf das Ergebnis, dennoch ist von einem systematischen Fehler auszugehen, da diese Abweichung dafür viel zu groß ist. Eine Vermutung aufgrund des Alters der Messapparatur ist, dass die Kathodenstrahlröhre nicht mehr vollständig evakuiert ist, sodass doch größere Wechselwirkungen mit Luftmolekülen zu Stande kommen. Während des Versuches kam es auch mehrmals dazu, dass der Leuchtbildschirm keine Auftreffpunkte angezeigt hat, was auch auf einen systematischen Fehler deuten kann.

Die Bestimmung der Sinusfrequenz verläuft nach Verwerfen des dritten Messpaares eindeutig, somit beträgt  $\nu_{\text{sin}} = 50 \text{ Hz}$ . Der zweite Teil, der Versuch zur Untersuchung von Elektronen im B-Feld, verlief ähnlich. Einige Messunsicherheiten können, wie oben beschrieben, nicht vermieden werden. Die Diagramme zeigen dennoch ein gutes Ergebnis, da die erwartete Proportionalität zu sehen ist. Eine Ablenkung bei der Untersuchung des Erdmagnetfeldes wurde auch während des Versuches gut beobachtet. Die experimentell bestimmte spezifische Ladung ist in derselben Größenordnung wie der Theoriewert, um genau zu sein im  $10^{11} \text{ C/kg}$ -Bereich. Mit  $\frac{e_0}{m_0} = (3.6248 \pm 0.0014) \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$  weicht dieser Wert um ca. 50% vom Theoriewert ab. Der ermittelte Wert für das Erdmagnetfeld  $B = 3.5074 \cdot 10^{-5} \text{ T}$  ist auch knapp im  $\mu\text{T}$ -Bereich. Einige Gründe für diese Ungenauigkeiten sind zum einen die bereits erwähnten Bedingungen des Versuchsdurchlaufs, zum anderen der vermutete systematische Fehler. Bei der Untersuchung der Elektronen im B-Feld wurde auch kein Deklinatorium-Inklinatorium verwendet. Dadurch wurden die Himmelsrichtungen abgeschätzt, sodass über die verschiedenen Komponenten des Erdmagnetfeldes wenig ausgesagt werden kann.

## 6 Anhang



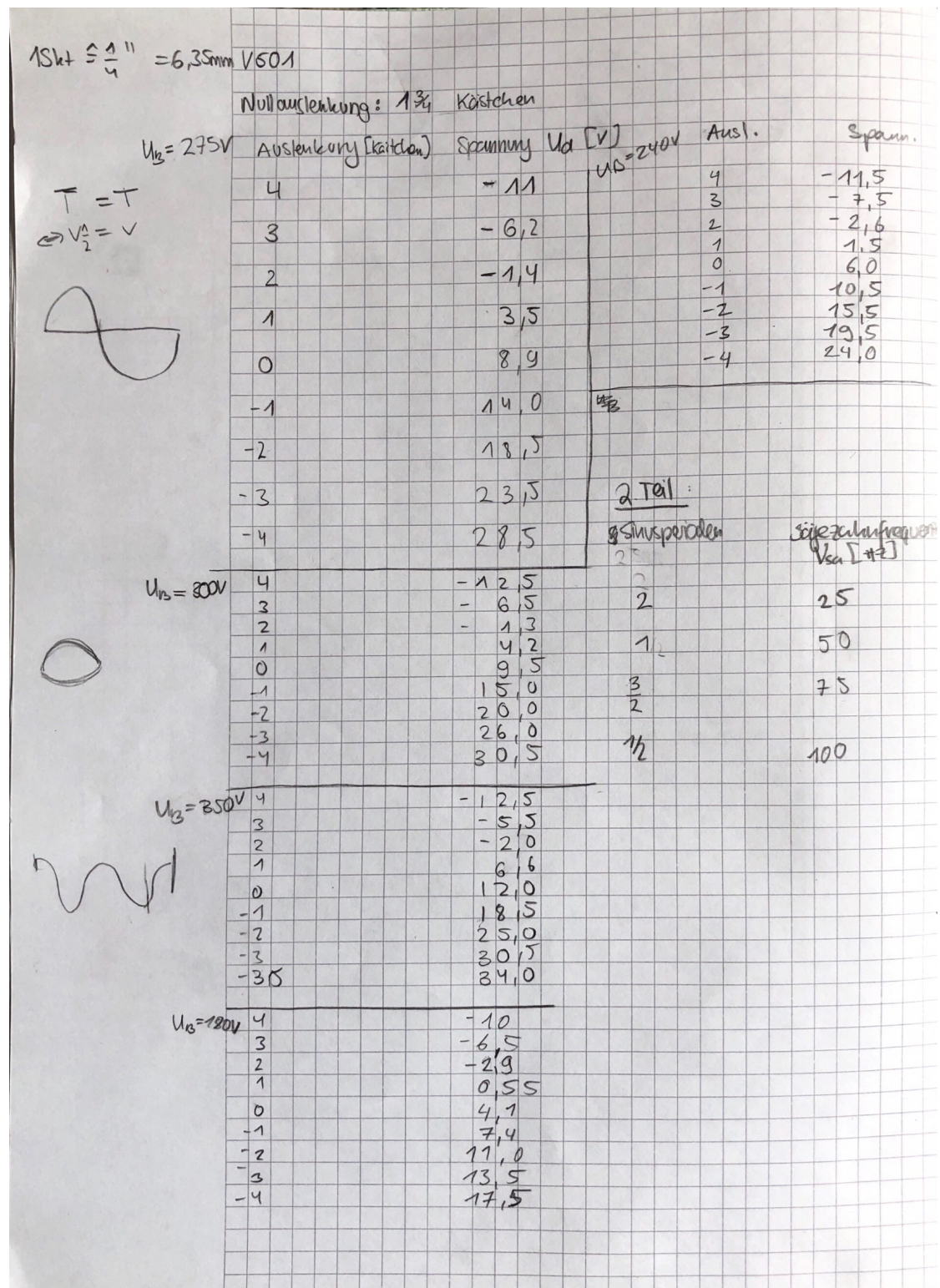


Abbildung 12: Die Originaldaten von der Ablenkung mit dem elektrischen Feld.

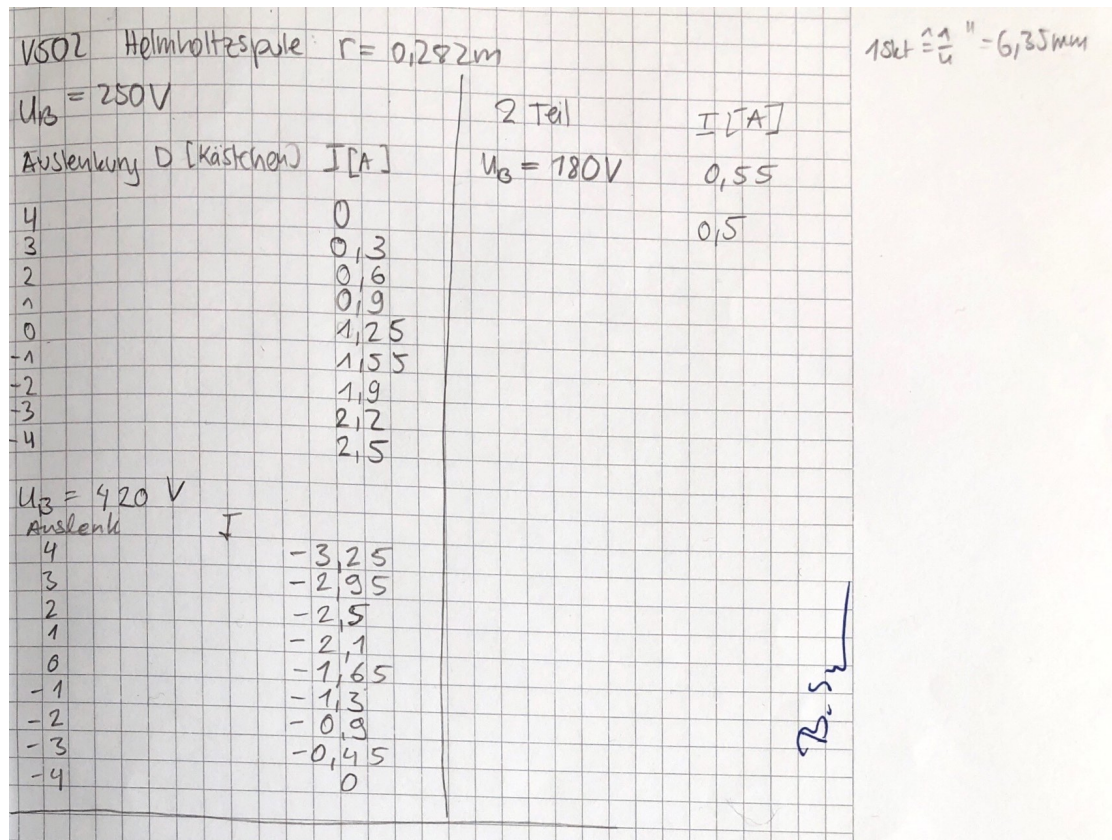


Abbildung 13: Die Originaldaten von der Ablenkung mit dem magnetischen Feld.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektischen Feld*. 2021.
- [2] TU Dortmund. *Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld*. 2021.