

V501/2 - Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld und im transversalen Magnetfeld

Jan Herdieckerhoff
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.04.2019, Abgabe: 23.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	4
2	Theorie	4
2.1	Theoretische Grundlage im elektrischen Feld	4
2.1.1	Aufbau einer Kathodenstrahlröhre	4
2.1.2	Berechnung der Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld	5
2.1.3	Der Kathodenstrahl-Oszillograph	6
2.2	Theoretische Grundlage im magnetischen Feld	6
2.2.1	Berechnung der Elektronenbahn im homogenen Magnetfeld	6
2.2.2	Bestimmung der spezifischen Elektronenladung	7
2.2.3	Das Helmholtz-Spulenpaar	7
2.2.4	Erdmagnetfeld	8
3	Fehlerrechnung	8
4	Durchführung	8
4.1	Messung im elektrischen Feld	8
4.1.1	Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenk- spannung	8
4.1.2	Kathodenstrahl-Oszillograph	9
4.2	Messung im Magnetfeld	9
4.2.1	Messung der spezifischen Elektronenladung	9
4.2.2	Messung der Intensität des lokalen Erdmagnetfeldes	9
5	Auswertung	10
5.1	Elektrisches Feld	10
5.1.1	Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenk- spannung	10
5.1.2	Bestimmung der Frequenz der Sinusspannung	15
5.2	Magnetfeld	15
5.2.1	Bestimmung der spezifischen Elektronenladung	15
5.2.2	Bestimmung der Intensität des lokal Erdmagnetfeldes	17
6	Diskussion	18
6.1	Elektrisches Feld	18
6.1.1	Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenk- spannung	18
6.1.2	Bestimmung der Frequenz der Sinusspannung	18
6.2	Magnetfeld	18
6.2.1	Bestimmung der spezifischen Elektronenladung	18
6.2.2	Bestimmung der Intensität des lokal Erdmagnetfeldes	18
6.3	Fazit	19

1 Ziel

Das Ziel dieses Versuches ist es, mithilfe der Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen sowie im transversalen Magnetfeld bestimmte Eigenschaften zu untersuchen. Dazu zählen die spezifische Elektronenladung, die Intensität des Erdmagnetfeldes und die Proportionalität zwischen der Verschiebung des Leuchtflecks des Elektronenstrahls und der angelegten Ablenkspannung. Außerdem soll ein Kathodenstrahl- Oszillograph untersucht werden.

2 Theorie

Für beide Versuchsteile wird eine Röhre verwendet, in der ein Vakuum erzeugt wurde. Dafür wird die so genannte Kathodenstrahlröhre bis auf einen Restdruck von ca. $1 \cdot 10^{-6}$ mbar evakuiert.

2.1 Theoretische Grundlage im elektrischen Feld

2.1.1 Aufbau einer Kathodenstrahlröhre

Eine Kathodenstrahlröhre besteht aus drei Teilen (siehe Abb. 1). Im vorderen Teil der Kathodenstrahlröhre werden in der sogenannten Elektronenkanone Elektronen erzeugt, beschleunigt und zu einem Strahl fokussiert. Anschließend werden sie von einem Ablenk-system, das aus elektrisch geladenen Platten besteht, in verschiedene Richtungen gelenkt, und im dritten Bereich von einer Vorrichtung auf einem Schirm visuell nachgewiesen.

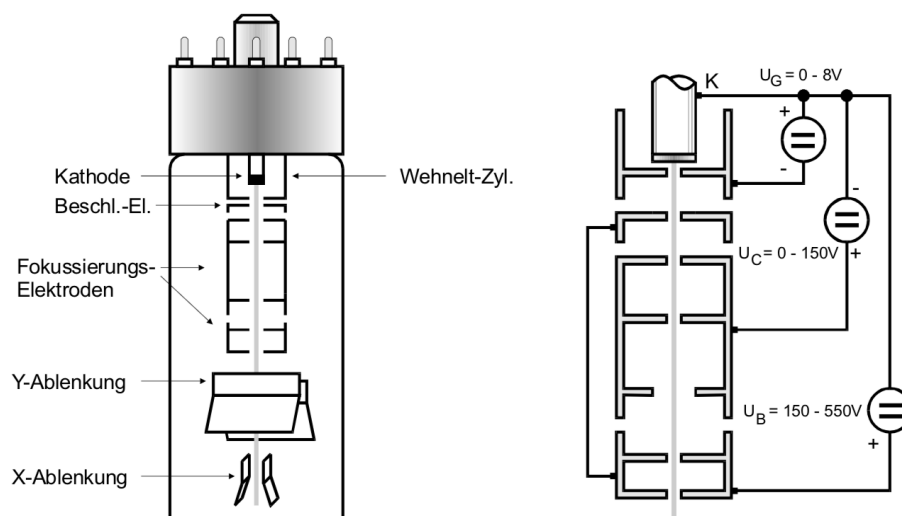


Abbildung 1: Der Aufbau einer Kathodenstrahlröhre. [1]

An einer Glühkathode werden die Elektronen durch eine Heizspannung, die an einem Draht anliegt, erzeugt. Diese ganze Apparatur befindet sich in einem Wehneltzylinder, der

dafür da ist, dass der Nutzer über einen Drehknopf von außen die Intensität beeinflussen kann. Der Zylinder ist nämlich elektrisch negativ geladen und kann so genutzt werden, um die Elektronen zusätzlich zu beschleunigen und somit die Intensität zu steuern. Als Gegenpol zu dem Wehneltzylinder gibt es eine Elektrode, die positiv geladen ist. Somit werden die Elektronen, die sich zwischen dem Zylinder und der dieser Elektrode befinden, zur dieser hin beschleunigt. Die Geschwindigkeit, die sie haben, nachdem sie den Zylinder verlassen konnten, beträgt v_z . Daraus ergibt sich dann mit dem Energiesatz

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

Hinter der Elektrode befinden sich weitere Elektroden, die dafür da sind, den Strahl zu fokussieren. Der gebündelte Strahl fällt am Ende der Apparatur auf einen Leuchtschirm, auf dem die auftreffenden Elektronen die Aktivatorzentren zur Emission von Lichtquanten anregen. Der Leuchtschirm ist mit der Beschleunigungselektrode verbunden, sodass er sich nicht negativ laden kann. Das Ablensystem besteht aus zwei Plattenpaaren, deren Normalen senkrecht aufeinander stehen. Legt man eine Spannung an diese Platten an, übt das davon erzeugte E -Feld eine Kraft auf den Elektronenstrahl aus.

2.1.2 Berechnung der Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld

Die folgenden Gleichungen können in Abb. 2 grafisch nachvollzogen werden.

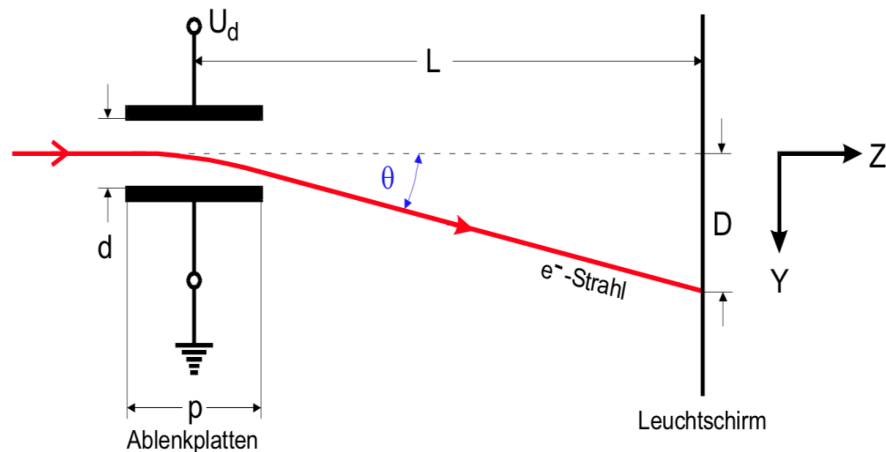


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ablenkung des Elektronenstrahls in der Kathodenstrahlröhre. [1]

Ein elektrisches Feld zwischen zwei Platten kann als homogen angenommen werden, wenn der Abstand d zwischen den Platten klein gegen die Länge p der beiden Platten ist. Aus dieser Näherung ergibt sich dann, dass die Feldstärke

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

ist. Auf ein Elektron wirkt dann die Coulombkraft, die außerhalb der Platten null wird im Rahmen dieser Näherung. Diese Kraft ist konstant, wodurch sich eine Beschleunigung in y -Richtung ergibt. Die erreichte Geschwindigkeit ist

$$v_y = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \Delta t.$$

Mit der Plattenlänge und der gleichförmigen Geschwindigkeit v_z ergibt sich Δt zu

$$\Delta t = \frac{p}{v_z}.$$

Dieser Ausdruck kann in die vertikale Geschwindigkeit v_y eingesetzt werden. Der Winkel θ der Richtungsänderung setzt sich aus der Division von v_y durch v_z zusammen.

Damit ergibt sich für die Verschiebung D des Leuchtflecks

$$D = L \theta = \frac{e_0}{m_0} L \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2}.$$

Mit Gleichung (1) ergibt sich dann

$$D = \frac{p}{2d} L \frac{U_d}{U_B}. \quad (2)$$

2.1.3 Der Kathodenstrahl-Oszillograph

Mit einem Kathodenstrahl-Oszillographen kann die Zeitabhängigkeit von Wechselspannungen dargestellt werden. Dazu wird an das Plattenpaar, das den Strahl in horizontaler Richtung ablenkt, eine Sägezahnspannung angelegt. An das Plattenpaar, das den Strahl vertikal ablenkt, wird die zu untersuchende Spannung angelegt. Wenn die Synchronisationsbedingung

$$n \nu_{\text{Sä}} = m \nu_{\text{We}}$$

erfüllt ist, wird der Verlauf der Wechselspannung auf dem Leuchtschirm angezeigt.

2.2 Theoretische Grundlage im magnetischen Feld

Elektrische Felder üben auf ruhende Ladungen eine Kraft aus. Magnetostatische Felder dagegen üben nur auf Ladungen, die sich relativ zum Feld bewegen, eine Kraft aus.

2.2.1 Berechnung der Elektronenbahn im homogenen Magnetfeld

Die Lorentzkraft ist so definiert, dass sie auf eine bewegte Ladung q , die sich mit einer Geschwindigkeit v in einem homogenen B -Feld bewegt, wirkt. Es gilt dann

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}. \quad (3)$$

Durch das Kreuzprodukt ergibt sich, dass die senkrecht zum B -Feld bewegte Ladung eine maximale Kraft spürt, während eine parallel zum B -Feld bewegte Ladung gar keine Kraft erfährt.

Durch die Kraft des Magnetfelds ändert sich allerdings nur die Richtung der Ladung und sie ändert in der Theorie nicht die Geschwindigkeit. Also ist die Energie konstant innerhalb des Systems der Ladung.

Der Krümmungsradius r lässt sich bestimmen, indem Lorentz- und der Zentrifugalkraft gleichgesetzt werden. Daraus folgt

$$r = \frac{m_0 v_0}{e_0 B}. \quad (4)$$

Die Krümmungsbahn ist eine Kreisbahn, weil der Radius bei einer gegebenen Einstellung von B , und wenn die Geschwindigkeit v_0 der Elektronen bekannt ist, konstant ist.

2.2.2 Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Die spezifische Ladung von Elektronen e_0/m_0 lässt sich mit Gleichung (4) bestimmen. Die konstante Geschwindigkeit v_0 ergibt sich zu

$$v_0 = \sqrt{2 U_B \frac{e_0}{m_0}}.$$

Dabei ist U_B die Beschleunigungsspannung, die an dem Draht angelegt ist. Sind alle Felder innerhalb der Kathodenstrahlröhre ausgeschaltet, wird ein Leuchtfleck in der Mitte des Schirms erzeugt werden. Wenn ein Magnetfeld in x-Richtung eingeschaltet wird, verschiebt sich der Leuchtfleck aufgrund der Krümmung auf der y-Achse um den Abstand D nach oben oder nach unten. Zwischen dem Wirkungsbereich L (das ist die Weite zwischen der Quelle und dem Schirm), der y-Verschiebung D und dem Radius r ergibt sich über den Satz des Pythagoras der Zusammenhang

$$r = \frac{L^2 + D^2}{2D}.$$

Dieser kann in (4) eingesetzt werden. Damit ergibt sich

$$\frac{D}{L^2 + D^2} = \frac{1}{\sqrt{8 U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} B, \quad (5)$$

womit die spezifische Ladungen durch eine Auftragung der linken und rechten Seite der Gleichung gegeneinander bestimmt werden kann.

2.2.3 Das Helmholtz-Spulenpaar

Ein Helmholtz-Spulenpaar kann ein homogenes Magnetfeld erzeugen. Der Radius R beider Spulen entspricht dem Spulenabstand. Die Windungszahl N der Spulen ist ebenfalls identisch. Im Mittelpunkt ist die Flussdichte B durch

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{NI}{R} \quad (6)$$

gegeben.

2.2.4 Erdmagnetfeld

Die Totalintensität des Erdmagnetfelds ergibt sich mit der horizontal Komponente $B_{\text{horizontal}}$ und dem Winkel φ zu

$$B_{\text{total}} = \frac{B_{\text{horizontal}}}{\cos \varphi}. \quad (7)$$

3 Fehlerrechnung

Der Mittelwert einer Stichprobe von N Werten wird durch

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (8)$$

bestimmt.

Die Standardabweichung der Stichprobe wird berechnet mit:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

Die relative Abweichung zwischen zwei Werten kann durch

$$\frac{a-b}{a}$$

bestimmt werden.

4 Durchführung

4.1 Messung im elektrischen Feld

Im ersten Teil des Versuches soll die Proportionalität zwischen der Leuchtfleckverschiebung und der Ablenkspannung bestimmt werden. Außerdem soll das Kathodenstrahl-Oszilloskop untersucht werden.

4.1.1 Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenkspannung

Im ersten Teil werden die Leuchtfleckverschiebung und die Ablenkspannung U_d für fünf verschiedene Beschleunigungsspannungen U_B zwischen 180 und 380 V in 50 V Schritten gemessen, um die Proportionalität zwischen diesen beiden Größen zu bestimmen. Dazu wird für jede Beschleunigungsspannung der Leuchtfleck nacheinander auf die neun Linien des Koordinatennetzes geregelt. Es wird jeweils die Ablenkspannung abgelesen.

4.1.2 Kathodenstrahl-Oszillograph

Es wird ein Kathodenstrahl-Oszillograph (Abb. 3) aufgebaut. Indem die Sägezahnfrequenz variiert wird, wird versucht die Graphen der Sinusspannung zum Stehen zu bringen. Das ist der Fall, wenn Sägezahn- und Sinusfrequenz in einem rationalen Verhältnis stehen. Es sollen die Fälle $n = \frac{1}{2}$, 1, 2 und 3 realisiert werden. Dabei wird jeweils die Sägezahnfrequenzen abgelesen.

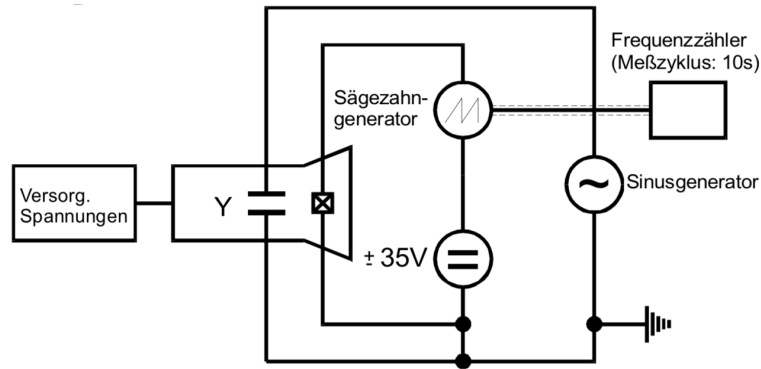


Abbildung 3: Schaltbild eines Kathodenstrahl-Oszillographen. [1]

4.2 Messung im Magnetfeld

In diesem Versuchsteil sollen die spezifische Elektronenladung und die Intensität des lokalen Erdmagnetfeldes bestimmt werden.

4.2.1 Messung der spezifischen Elektronenladung

Es soll die spezifische Elektronenladung bestimmt werden. Dazu erzeugt ein Helmholtz-Spulenpaar ein annähernd homogenes Magnetfeld. Dieses steht senkrecht zu dem Elektronenstrahl einer Kathodenstrahlröhre. Nach der korrekten Ausrichtung mithilfe eines speziellen Kompasses wird bei konstanten Beschleunigungsspannungen $U_B = 250 \text{ V}$ und 360 V die Verschiebung D des Elektronenstrahls in Abhängigkeit von den beiden Magnetfeldstärken gemessen. Dazu wird jeweils die Stromstärke, die eingestellt werden muss, um den Leuchtfleck auf die neun Linien des Koordinatennetzes zu bewegen, abgelesen.

4.2.2 Messung der Intensität des lokalen Erdmagnetfeldes

Die Achse der Kathodenstrahlröhre wird in Nord-Süd-Richtung des Erdmagnetfeldes ausgerichtet. Die Position des Leuchtflecks in dem Koordinatennetz wird erfasst. Die Apparatur wird anschließend in Ost-West-Richtung ausgerichtet. Der Leuchtfleck, dessen Position sich durch die Kraft des Feldes geändert hat, wird durch Einschalten des Helmholtz-Feldes wieder auf seine ursprüngliche Position bewegt, indem die Wirkung des Erdmagnetfeldes durch den Spulenstrom I_{hor} kompensiert wird. Diese Stromstärke

wird aufgenommen. Anschließend wird mithilfe des speziellen Kompasses der Winkel φ zwischen der Horizontalebene und der Richtung des Erdmagnetfeldes bestimmt.

5 Auswertung

Für die Auswertung wird Python, im Speziellen matplotlib [3], SciPy [4], Uncertainties [5] und NumPy [7] benutzt.

5.1 Elektisches Feld

5.1.1 Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenkspannung

Die gemessenen Werte für die Ablenkspannung U_d auf jeder Linie des Koordinatennetzes sind für die fünf unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen U_B in den folgenden Tabellen 1 bis 5 aufgelistet.

Tabelle 1: Die Indexwerte entsprechen der Höhe, die bei der jeweiligen Ablenkspannung U_d und der Beschleunigungsspannung $U_B = 180 \text{ V}$ gemessen wurden. Der Indexwert 1 entspricht einer Höhe von 0,6 cm.

Index	U_d/V
1,0	-21,3
2,0	-17,9
3,0	-14,4
4,0	-11,2
5,0	-7,8
6,0	-4,6
7,0	-1,2
8,0	2,3
9,0	6,1

Tabelle 2: Die Indexwerte entsprechen der Höhe, die bei der jeweiligen Ablenkspannung U_d und der Beschleunigungsspannung $U_B = 230 \text{ V}$ gemessen wurden. Der Indexwert 1 entspricht einer Höhe von $0,6 \text{ cm}$.

Index	U_d/V
1,0	-25,8
2,0	-21,8
3,0	-17,8
4,0	-13,5
5,0	-9,4
6,0	-5,2
7,0	-1,0
8,0	3,4
9,0	7,8

Tabelle 3: Die Indexwerte entsprechen der Höhe, die bei der jeweiligen Ablenkspannung U_d und der Beschleunigungsspannung $U_B = 280 \text{ V}$ gemessen wurden. Der Indexwert 1 entspricht einer Höhe von $0,6 \text{ cm}$.

Index	U_d/V
1,0	-30,7
2,0	-26,0
3,0	-20,8
4,0	-15,9
5,0	-10,9
6,0	-5,8
7,0	-0,9
8,0	4,6
9,0	10,0

Tabelle 4: Die Indexwerte entsprechen der Höhe, die bei der jeweiligen Ablenkspannung U_d und der Beschleunigungsspannung $U_B = 330$ V gemessen wurden. Der Indexwert 1 entspricht einer Höhe von 0,6 cm.

Index	U_d/V
1,0	-36,1
2,0	-30,1
3,0	-24,4
4,0	-18,3
5,0	-12,6
6,0	-6,8
7,0	-0,6
8,0	5,7
9,0	12,1

Tabelle 5: Die Indexwerte entsprechen der Höhe, die bei der jeweiligen Ablenkspannung U_d und der Beschleunigungsspannung $U_B = 380$ V gemessen wurden. Der Indexwert 1 entspricht einer Höhe von 0,6 cm.

Index	U_d/V
1,0	nan
2,0	-34,6
3,0	-27,7
4,0	-21,0
5,0	-14,3
6,0	-7,5
7,0	-0,4
8,0	6,8
9,0	13,6

Die Leuchtfleckverschiebung D ist in Tab. 6 und in Abb. 4 für die fünf Beschleunigungsspannungen gegen die Ablenkspannung U_d aufgetragen.

Tabelle 6: Die Ablenkspannung und die Höhe auf dem Graphen.

$U_{d, 1}$	$U_{d, 2}$	$U_{d, 3}$	$U_{d, 4}$	$U_{d, 5}$	D/m
-21,30	-25,80	-30,70	-36,10	nan	0,00
-17,90	-21,80	-26,00	-30,10	-34,60	0,60
-14,40	-17,80	-20,80	-24,40	-27,70	1,20
-11,20	-13,50	-15,90	-18,30	-21,00	1,80
-7,80	-9,40	-10,90	-12,60	-14,30	2,40
-4,60	-5,20	-5,80	-6,80	-7,50	3,00
-1,20	-1,00	-0,90	-0,60	-0,40	3,60
2,30	3,40	4,60	5,70	6,80	4,20
6,10	7,80	10,00	12,10	13,60	4,80

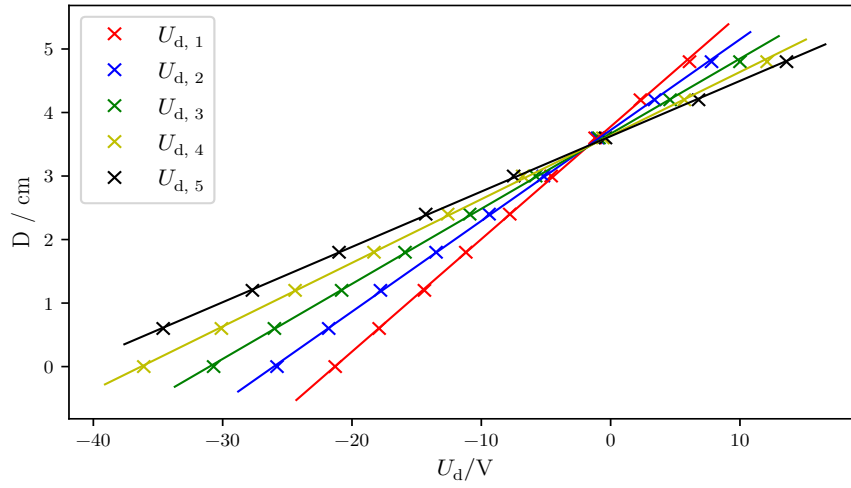


Abbildung 4: Die Leuchtfleckverschiebung D ist gegen die Ablenkspannung U_d aufgetragen. Es sind die Daten für die fünf verschiedenen Beschleunigungsspannungen und jeweils einen Fit eingezeichnet.

Aus dem Fit in Abb. 4 lässt sich die Steigung $\frac{pL}{2d\sqrt{U_B}}$ experimentell bestimmen. Die Werte sind in Tab. 8 und Abb. 5 gegen die Inverse der Beschleunigungsspannung aufgetragen.

Tabelle 7: Die Inverse der Spannung $1/U_B$ und die Empfindlichkeit D/U_d .

$\frac{1}{U_B} / \frac{1}{\text{kV}}$	$\frac{D}{U_d} / \frac{\text{mm}}{\text{V}}$
5,56	$177,10 \pm 1,20$
4,35	$142,90 \pm 0,80$
3,57	$118,20 \pm 0,80$
3,03	$100,20 \pm 0,70$
2,63	$87,10 \pm 0,40$

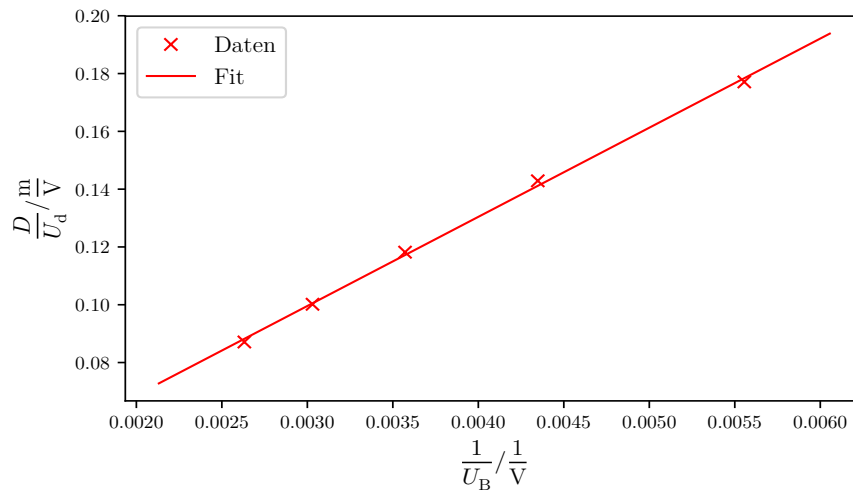


Abbildung 5: Die Empfindlichkeit D/U_d ist gegen das Inverse der Beschleunigungsspannung U_B aufgetragen. Es sind die Daten und einen Fit eingezeichnet.

Der aus der Steigung dieses Fits errechnete Wert ergibt sich zu

$$\frac{pL}{2d} = (30,84 \pm 0,66) \text{ cm.}$$

Die angegebenen Werte für die Plattenlänge p , den Plattenabstand d und den Strahlweg L sind

$$\begin{aligned} p &= 1,9 \text{ cm} \\ d &= 0,38 \text{ cm} \\ L &= 14,3 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Der aus diesen Werten theoretisch berechnete Wert für die Steigung ist

$$\frac{pL}{2d} = 35,75 \text{ cm.}$$

5.1.2 Bestimmung der Frequenz der Sinusspannung

Die gemessenen Synchronisationsfrequenzen sind in Tabelle 8 zu finden.

Tabelle 8: Die Frequenzen der Sägezahnspannung.

Index	$\nu_{\text{Sä}}/\text{Hz}$
0,50	25,02
1,00	49,95
2,00	99,99
3,00	149,97

Durch das Synchronisationsverhältnis kann jeweils die Frequenz der Sinusspannung bestimmt werden:

$$\nu_{0.5} = 50,04 \text{ Hz}$$

$$\nu_1 = 49,95 \text{ Hz}$$

$$\nu_2 = 49,995 \text{ Hz}$$

$$\nu_3 = 49,99 \text{ Hz.}$$

Der daraus mit Gleichung (8) berechnete Mittelwert ergibt sich zu

$$\nu_{\text{mittel}} = (49,994 \pm 0,032) \text{ Hz.}$$

5.2 Magnetfeld

5.2.1 Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Die Strahlverschiebung D in Abhängigkeit von der Flussdichte B für eine Beschleunigungsspannung von $U_B = 250 \text{ V}$ ist in Tabelle 9 aufgeführt. Die Strahlverschiebung in Abhängigkeit von der Flussdichte für eine Beschleunigungsspannung von $U_B = 360 \text{ V}$ befindet sich in Tabelle 10.

Tabelle 9: Die Indexwerte entsprechen der Höhe bei dem jeweiligen Strom und der Beschleunigungsspannung $U_B = 250 \text{ V}$.

Index	I/A
1,000	0,000
2,000	0,250
3,000	0,625
4,000	1,000
5,000	1,350
6,000	1,675
7,000	2,050
8,000	2,400
9,000	2,750

Tabelle 10: Die Indexwerte entsprechen der Höhe bei dem jeweiligen Strom und der Beschleunigungsspannung $U_B = 360 \text{ V}$.

Index	I/A
1,000	0,000
2,000	0,325
3,000	0,750
4,000	1,175
5,000	1,550
6,000	1,950
7,000	2,375
8,000	2,800
9,000	3,225

Der Term $\frac{D}{L^2+D^2}$ ist für beide Beschleunigungsspannungen in Tab. 11 und in Abb. 6 aufgetragen. Dabei ist L der Strahlweg und hat einen Wert von

$$L = 17,5 \text{ cm},$$

wie bereits in Abschnitt 5.1.1 erwähnt.

Tabelle 11: Das magnetische Feld aufgetragen gegen die Verschiebung D durch die Summe des Wirkungsbereichs L zum Quadrat und der Verschiebung D zum Quadrat.

B_1/mH	B_2/mH	$\frac{D}{(L^2+D^2)}/\frac{1}{\text{m}}$
0,00	0,00	0,00
15,94	20,73	0,20
39,86	47,83	0,39
63,77	74,93	0,58
86,09	98,85	0,77
106,82	124,35	0,95
130,73	151,46	1,13
153,05	178,56	1,30
175,37	205,66	1,46

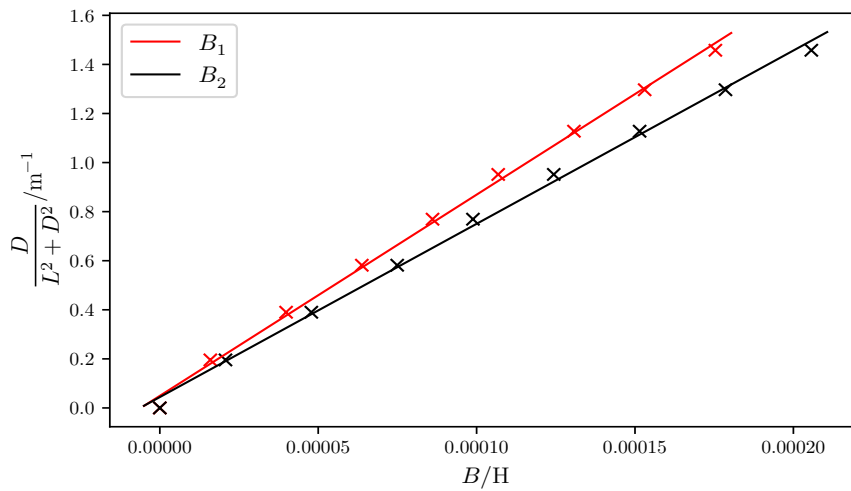


Abbildung 6: $\frac{D}{L^2 + D^2}$ gegen B aufgetragen. Es sind die Daten und die Fits für beide Beschleunigungsspannungen eingetragen.

Die Steigung der Fits ergibt sich zu

$$m_1 = 8199,29 \frac{1}{\text{m H}}$$

$$m_2 = 7062,35 \frac{1}{\text{m H}}.$$

Durch die quadrierte Steigung multipliziert mit der achtfachen Beschleunigungsspannung der beiden Fits lässt sich die spezifische Elektronenladung experimentell bestimmen. Diese ergibt sich zu

$$\left(\frac{e_0}{m_0} \right)_1 = 1,34 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$\left(\frac{e_0}{m_0} \right)_2 = 1,44 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Der Mittelwert ergibt sich zu

$$\frac{e_0}{m_0} = (1,39 \pm 0,05) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Der Literaturwert liegt bei

$$\frac{e_0}{m_0} = 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

5.2.2 Bestimmung der Intensität des lokal Erdmagnetfelds

Der Spulenstrom, der nötig ist, um das Erdmagnetfeld zu kompensieren, beträgt

$$I_{\text{hor}} = 0,19 \text{ A}.$$

Der Winkel zwischen Horizontalebene und Richtung des Erdmagnetfelds beträgt

$$\varphi = 79,5^\circ.$$

Aus diesen beiden Werten lässt sich mittels Gleichung (7) die Totalintensität des lokalen Erdmagnetfelds bestimmen. Diese ergibt sich zu

$$B_{\text{total}} = 66,5 \mu\text{T}.$$

Der Literaturwert für das Erdmagnetfeld in Europa [6] liegt bei ca.

$$B_{\text{total, lit}} = 49,4 \mu\text{T}.$$

6 Diskussion

6.1 Elektrisches Feld

Im Folgenden wird die Auswertung der Ablenkung eines Elektronenstrahls durch ein elektrisches Feld diskutiert.

6.1.1 Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung und Ablenkspannung

Die Steigung des Fits hat einen relativen Fehler von 2,14 % und weicht von der theoretischen Steigung um 15,92 % ab. Damit sind die Ergebnisse als relativ gut zu bewerten.

6.1.2 Bestimmung der Frequenz der Sinusspannung

Die ermittelte Sinusfrequenz hat einen relativen Fehler von 0,06 %. Auch hier ist der Fehler relativ klein, weshalb die Messung als ziemlich gut bewertet werden kann.

6.2 Magnetfeld

In diesem Teil wird die Auswertung der Ablenkung eines Elektronenstrahls durch ein magnetisches Feld diskutiert.

6.2.1 Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Für den Mittelwert der spezifischen Elektronenladung ergibt sich ein relativer Fehler von 3,60 %. Die relative Abweichung zum Literaturwert beträgt 20,97 %. Der relative Fehler ist zwar recht klein, aber trotzdem weicht das Ergebnis ziemlich stark ab. Grund dafür ist vermutlich, dass das Inklinatorium nicht sehr exakt war. Das lag vor allem daran, dass die Aufhängung nicht komplett reibungsfrei war.

6.2.2 Bestimmung der Intensität des lokal Erdmagnetfelds

Das Erdmagnetfeld, das sich durch die Messung ergeben hat, weicht vom Literaturwert um 34,6 % ab. Auch hierbei ist die Messung nicht sehr exakt gewesen, was wieder mit dem schlecht kalibrierten Inklinatorium in Verbindung gebracht werden kann. Allerdings liegt das Ergebnis trotz der schlechten Messung in der gleichen Größenordnung.

6.3 Fazit

Abschließend kann gesagt werden, dass die Messung im ekeltrischen Feld deutlich exakter und näher an den Theoriewerten lag, als bei der zweiten Messung, bei der die Abweichung von den Literaturwerten doch als recht groß einzuschätzen ist.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 501 - Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld*. 2019. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V501.pdf>.
- [2] TU Dortmund. *Versuch 502 - Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld*. 2019. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V502.pdf>.
- [3] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. „SciPy: Open source scientific tools for Python“. Version 0.16.0. In: (). URL: <http://www.scipy.org/>.
- [5] Eric O. Lebigot. „Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties“. Version 2.4.6.1. In: (). URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [6] „Messung des Erdmagnetfeldes in der PTB“. In: (2019). URL: <https://www.ptb.de/cms/nc/ptb/fachabteilungen/abt2/fb-25/ag-251/live-daten-erdmagnetfeldmessung.html>.
- [7] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.