

V501

Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen und magnetischen Feld

Julian Hochhaus
julian.hochhaus@tu-dortmund.de

Niko Salewski
niko.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 09.05.2017

Abgabe: 16.05.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau einer Kathodenstrahlröhre	3
2.2	Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld	4
2.2.1	Der Kathodenstrahl-Oszillograph	5
2.3	Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld	5
3	Durchführung	7
3.1	Versuchsaufbau	7
3.1.1	Aufbau zur Ablenkung durch ein elektrisches Feld	7
3.1.2	Aufbau zur Ablenkung durch ein magnetisches Feld	8
3.2	Versuchsbeschreibung	8
3.2.1	für die Ablenkung im elektrischen Feld	8
3.2.2	für die Ablenkung im magnetischen Feld	9
4	Auswertung	9
4.1	Ablenkung im elektrischen Feld	9
4.2	Untersuchung einer Sinusspannung mittels des Kathodenstrahl-Oszillographs	11
4.3	Ablenkung im magnetischen Feld	12
4.3.1	Bestimmung von $\frac{e_0}{m_0}$	12
4.4	Bestimmung der Intensität des lokalen Erdmagnetfelds	14
5	Diskussion	14
	Literatur	15

1 Zielsetzung

Im vorliegenden Versuch wird die Ablenkung eines Elektronenstrahls sowohl im elektrischen, als auch im magnetischen Feld mittels einer Kathodenstrahlröhre untersucht. Zudem wird ein Kathodenstrahl-Oszillograph zur Untersuchung einer Wechselspannung verwendet.

2 Theorie

2.1 Aufbau einer Kathodenstrahlröhre

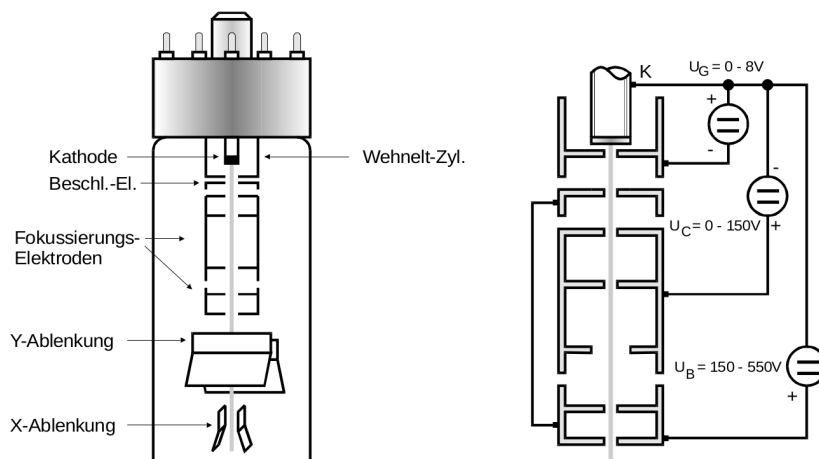


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Kathodenstrahlröhre und Schema über die angelegten Potentiale im Fokussierungssystem der Kathodenstrahlröhre.

Eine Kathodenstrahlröhre ist ein bis auf einen Restdruck von $10 \cdot 10^{-6}$ bar evakuiertes Instrument zur Erzeugung eines möglichst unbeeinflussten Elektronenstrahls.

Im Wesentlichen besteht eine Kathodenstrahlröhre aus einer Elektronenkanone, diese erzeugt und fokussiert einen Elektronenstrahl, einem Ablensystem und einem Leuchtschirm, auf dem der Elektronenstrahl sichtbar gemacht werden kann.

Der Elektronenstrahl wird erzeugt an der sogenannten Kathode. Ihre Oberfläche besteht aus einem Material mit niedriger Elektronenaustrittsarbeit. Die Kathode wird indirekt über einen bis zur Rotglut erhitzten Draht beheizt, sodass Elektronen aus der Kathode ausgelöst werden. Umgeben ist die Kathode von dem Wehnelt-Zylinder. Dieser hat ein negatives Potential gegenüber der Kathode, sodass der Elektronenstrahl fokussiert wird. Über das variable Potential des Wehnelt-Zylinders ist es möglich, die Intensität des Elektronenstrahls zu variieren.

Vor dem Wehnelt-Zylinder befindet sich, wie in Abbildung 1 zu sehen, eine beschleunigende Elektrode. Diese beschleunigt die Elektronen nach dem Energieerhaltungssatz

auf

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

Hinter der beschleunigenden Elektrode befindet sich ein regelbares Fokussierungssystem bestehend aus Elektroden verschiedener Potentiale (vgl. dazu 1). Der Elektronenstrahl wird hierbei über inhomogene elektrische Felder zwischen den Stirnseiten der Fokussierelektroden fokussiert.

Der Elektronenstrahl passiert zunächst zwei senkrecht zueinander stehende Plattenpaare, welche bei angelegten Potentialen als Ablensystem dienen, und trifft schließlich auf den Leuchtschirm. Die auftreffenden Elektronen regen Störstellen im Kristallgitter des Leuchtschirms zur Emission von Photonen an, sodass der Auftreffpunkt des Elektronenstrahls visuell sichtbar wird.

2.2 Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld

Elektrostatische Felder wirken auf Elektronen. Passiert ein Elektronenstrahl wie in Abbildung 2 ein annähernd homogenes elektrisches Feld zwischen zwei Ablenkplatten, so wirkt auf jedes Elektron, für die Dauer Δt des Aufenthalts im elektrischen Feld, die Kraft

$$|\vec{F}| = |e_0 \vec{E}| = e_0 \frac{U_d}{d}. \quad (2)$$

Hierbei ist d der Abstand der Ablenkplatten und U_d das anliegende Potential. Die Durchlaufzeit Δt durch das elektrische Feld zwischen den Platten ergibt sich über die Geschwindigkeit der Elektronen in z -Richtung mit Gleichung (1) zu

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

Nach dem Passieren der Ablenkplatten hat jedes Elektron aufgrund der Ablenkung durch das elektrische Feld eine Geschwindigkeit in y -Richtung:

$$v_y = F \frac{\Delta t}{m_0} = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \cdot \frac{p}{v_z}. \quad (4)$$

Aus Abbildung 2 ergibt sich die Verschiebung D des Auftreffpunkts des Elektronenstrahl am Leuchtschirm zu:

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

und unter Verwendung von Gleichung (1) schließlich

$$D = \frac{p}{2d} L \frac{U_d}{U_B}. \quad (6)$$

Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Verschiebung am Leuchtschirm und der Ablenkungsspannung. Somit eignet sich die Kathodenstrahlröhre zur Spannungsmessung.

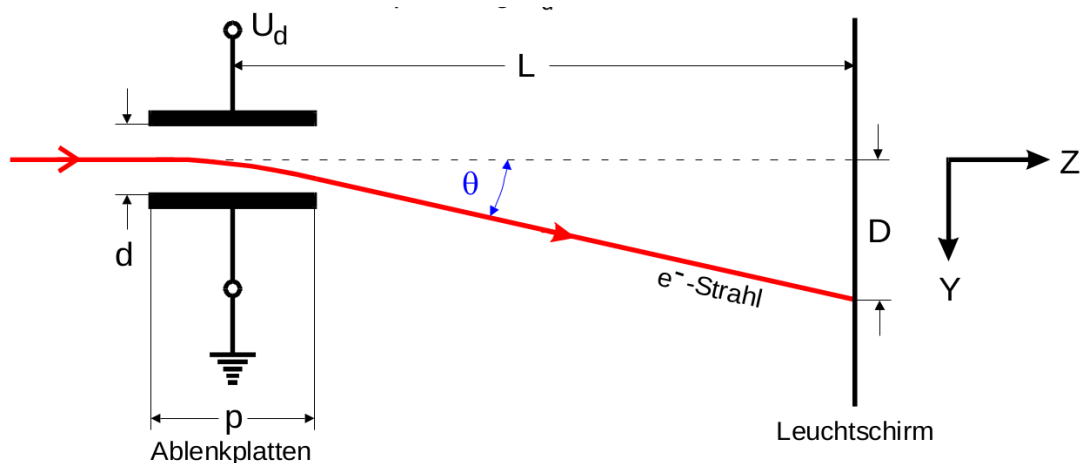


Abbildung 2: Skizze des Elektronenstrahlverlaufs zur Bestimmung der Verschiebung D des Auftreffpunkts am Leuchtschirm für das elektrische Feld.

2.2.1 Der Kathodenstrahl-Oszillograph

Die Kathodenstrahlröhre kann erweitert werden zu einem Kathodenstrahl-Oszillographen. Dieser dient zur Untersuchung der Zeitabhängigkeit von Wechselspannungen. Dazu wird auf die Ablenkplatten in x -Richtung eine Sägezahnspannung aufgegeben. Eine zweite, über die y -Ablenkplatten aufgegebene Spannung kann nun untersucht werden. Stehen die zu untersuchende Wechselspannungsfrequenz ν_{WS} und die Sägezahnspannungsfrequenz $\nu_{Säge}$ in einem geeigneten Verhältnis zueinander, wird auf dem Leuchtschirm der Kathodenstrahlröhre der zeitliche Verlauf der Wechselspannung dargestellt. Die dafür nötige Synchronisationsbedingung lautet:

$$n \cdot \nu_{Säge} = m \cdot \nu_{WS} \text{ mit } n, m \in [1, 2, 3, \dots]. \quad (7)$$

2.3 Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld

Magnetfelder erzeugen, anders als elektrostatische Felder, lediglich Kräfte auf relativ zum Feld bewegte Ladungen. Diese Kraft wird als Lorentz-Kraft bezeichnet. Durch ein homogenes Magnetfeld \vec{B} , dessen Feldlinien in einem kartesischen Koordinatensystem in \vec{X} Richtung verlaufen, wirkt auf ein Elektron, welches sich mit der Geschwindigkeit \vec{v}_0 in \vec{Z} -Richtung bewegt, die Lorentzkraft

$$F_{Ly} = e_0 v_0 B, \quad (8)$$

in \vec{Y} -Richtung. Das Elektron bewegt sich daher auf einer gekrümmten Bahn in der YZ -Ebene. Da die Lorentzkraft immer senkrecht zu jedem Wegstück der Bahn des Elektrons wirkt, ändert sich die potentielle Energie des Elektrons nicht. Mit der Energieerhaltung folgt, dass daher auch seine kinetische Energie erhalten bleibt.

Folglich darf sich die Geschwindigkeit $|\vec{v}|$ des Elektrons nicht ändern. Die Geschwindigkeit

des Elektrons zu jedem Zeitpunkt ist gegeben durch seine Geschwindigkeit \vec{v}_0 , welche es vor Eintritt in das Magnetfeld hatte. Die Lorentzkraft wirkt als Zentripetalkraft und es gilt:

$$e_0 v_0 B = \frac{m_0 v_0^2}{r}. \quad (9)$$

Für den Radius der Kreisbahn ergibt sich:

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

Die spezifische Elektronenladung $\frac{e_0}{m_0}$ lässt sich über Gleichung (10) mittels einer Kathodenstrahlröhre bestimmen. Die konstante Geschwindigkeit der Elektronen ergibt sich über das Beschleunigungspotential U_B wie folgt:

$$v_0 = \sqrt{2U_B \frac{e_0}{m_0}}. \quad (11)$$

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, verursacht das Magnetfeld \vec{B} eine Ablenkung um D

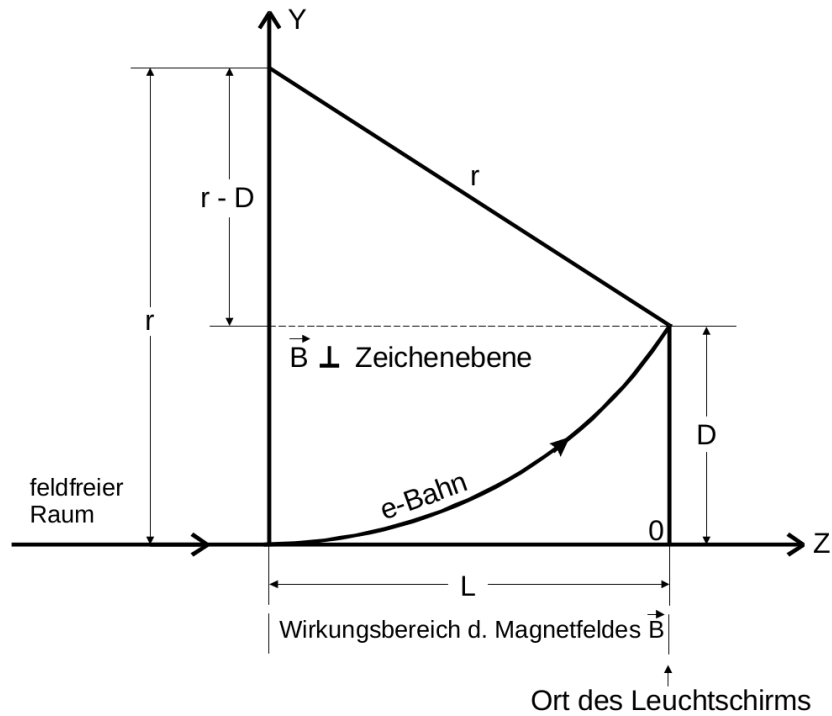


Abbildung 3: Skizze der Elektronenbahn zur Bestimmung der Verschiebung D am Leuchtschirm.

von der ursprünglichen Bahn des Elektronen. Die Größe D kann am Schirm der Kathoden-

strahlröhre gemessen werden. Für den Bahnradius r ergibt sich

$$r = \frac{L^2 + D^2}{2D}. \quad (12)$$

Ein Gleichsetzen der Gleichungen (10) und (12) eliminiert den Bahnradius r . Unter Verwendung von Gleichung (11) ergibt sich

$$\frac{D}{L^2 + D^2} = \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} B. \quad (13)$$

Im vorliegenden Experiment wird zur Erzeugung eines annähernd homogenen Magnetfeldes ein Helmholtzspulenpaar verwendet. Die Flussdichte B ist gegeben durch:

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{N \cdot I}{R}. \quad (14)$$

Hierbei ist N die Windungszahl und I der Spulenstrom.

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

3.1.1 Aufbau zur Ablenkung durch ein elektrisches Feld

Der Aufbau zur Untersuchung der Proportionalität zwischen der Leuchtfleckverschiebung D und der Ablenkspannung U_d ist in Abbildung 4 dargestellt. Dieser besteht aus der

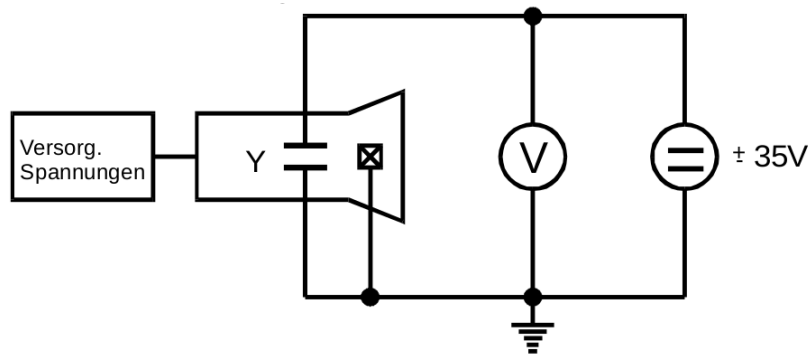


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau zur Untersuchung der Proportionalität zwischen Leuchtfleckverschiebung D und der Ablenkspannung U_d .

Kathodenstrahlröhre und einem Voltmeter zur Spannungsmessung. Für den Schirm am Ende der Kathodenstrahlröhre soll das Y-System eingestellt werden, sodass die Verschiebung nur in y-Richtung gemessen wird. Es ist darauf zu achten, dass eine Platte der Ablenkensysteme geerdet ist. Ein Kathodenstrahl-Oszillograph kann mit einem Aufbau wie in Abbildung 5 realisiert werden. Hierbei wird im Vergleich zum vorherigen Aufbau nur

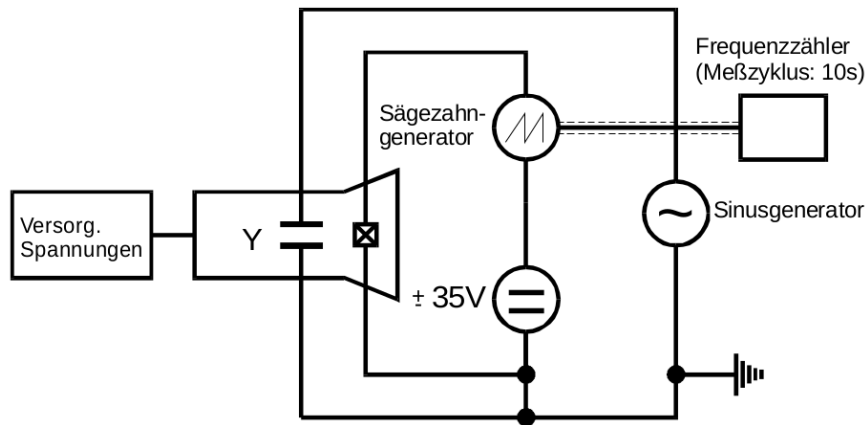


Abbildung 5: Prinzipieller Aufbau eines Kathodenstrahl-Oszilloskop.

ein Sinusgenerator für die Spannungsversorgung der in y-Richtung ablenkenden Platten und ein Sägezahn-generator für die Spannungsversorgung der in x-Richtung ablenkenden Platten hinzugefügt. Da bei dem Messvorgang die Sägezahnfrequenz bestimmt werden soll, wird außerdem ein Frequenzzähler verwendet.

3.1.2 Aufbau zur Ablenkung durch ein magnetisches Feld

Für die Messung der Leuchtfleckverschiebung durch ein magnetisches Feld wird der Aufbau wie in 4 verwendet. Zusätzlich wird ein Magnetfeld in Form eines Helmholtz-Spulenpaares senkrecht zur Kathodenstrahlröhre erzeugt. Der Spulenstrom kann manuell reguliert werden. Zur Bestimmung der Richtung des Erdmagnetfeldes wird ein Deklinatorium-Inklinatorium verwendet.

3.2 Versuchsbeschreibung

3.2.1 für die Ablenkung im elektrischen Feld

In der ersten Messung soll die Proportionalität zwischen der Leuchtfleckverschiebung D und der Ablenkspannung U_d überprüft werden. Diese Messung wird für drei verschiedene Beschleunigungsspannungen U_B durchgeführt. Bevor die Spannungsversorgung der Kathodenstrahlröhre angeschaltet wird, muss der Schalter circa eine Minute als Anheizzeit in der Stellung "STANDBY" stehen. Wenn der Leuchtfleck während der Messung zu unscharf wird, kann dieser durch Regulierung der Fokussierungs- und Wehnelt-Spannung neu fokussiert werden. Das Koordinatennetz, auf dem die Verschiebung des Leuchtflecks abgelesen wird, hat neun äquidistante (Abstand: 1 inch) Linien. Der Leuchtfleck soll bei Variation der Ablenkspannung U_d auf die neun Linien positioniert werden. Ist dies der Fall, wird jeweils die Verschiebung als $n \cdot 1 \text{ inch}$ und die zugehörige Ablenkspannung U_d abgelesen. Es ergeben sich also neun Messtupel.

Für die Bestimmung einer unbekannten Frequenz einer Sinusspannung wird der

Kathodenstrahl-Oszillosgraph verwendet. Es wird Sägezahnfrequenz solange variiert bis stehende Wellen zu erkennen sind. Dann wird die zugehörige Frequenz notiert. Es sollen vier Frequenzen für die Verhältnisse $n = \frac{1}{2}, 1, 2$ und 3 bestimmt werden. Damit der Leuchtschirm nicht beschädigt wird, sollte der Elektronenstrahl nicht zu lange auf die gleiche Stelle abgelenkt werden.

3.2.2 für die Ablenkung im magnetischen Feld

Die Leuchtfleckverschiebung D in Abhängigkeit von der Flussdichte B wird für die Beschleunigungsspannungen $U_B = 250 \text{ V}$ und $U_B = 450 \text{ V}$ gemessen. Damit nur das Magnetfeld des Spulenpaares auf die Kathodenstrahlröhre wirkt wird die Kathodenstrahlröhre in Richtung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes verschoben. Diese Richtung kann mit dem Deklinatorium-Inklinatorium bestimmt werden, indem dieser einen Winkel von 0° anzeigt. Der Strom soll wieder abgelesen werden, wenn sich der Leuchtfleck auf den äquidistanten Linien befindet.

Für die Bestimmung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes B_{hor} wird eine möglichst niedrige Beschleunigungsspannung verwendet. Der Spulenstrom wird ausgeschaltet und die Kathodenstrahlröhre wieder in die Richtung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes gedreht. Die Position des abgelenkten Leuchtflecks auf dem Schirm wird markiert. Daraufhin wird die Kathodenstrahlröhre um 90° gedreht und der Spulenstrom wieder hochgeregelt bis das Erdmagnetfeld wieder auf die vorherige Ablenkung kompensiert wird. Der kompensierende Spulenstrom wird notiert.

4 Auswertung

4.1 Ablenkung im elektrischen Feld

Die Messdaten zur Untersuchung der Ablenkung von bewegten Elektronen im elektrischen Feld sind in Tabelle 1 zu finden.

Zur Bestimmung der Empfindlichkeit $\kappa = \frac{D}{U_d}$ der Kathodenstrahlröhre wird die Position D des Auftreffspunkt am Leuchtschirm gegen die gemessene Ablenkspannung U_d für die gemessenen Beschleunigungsspannungen U_B in Abbildung 6 aufgetragen. Hierbei wurde eine lineare Ausgleichsrechnung mittels `scipy/python` [3] nach

$$y = m \cdot x + b$$

durchgeführt. Aus dem Geradenparameter m ergibt sich schließlich die Empfindlichkeit κ der Elektronenstrahlröhre. Für die verschiedenen Beschleunigungsspannungen U_B ergibt sich:

$$\begin{aligned}\kappa_{400 \text{ V}} &= (0,117 \pm 0,005) \frac{\text{cm}}{\text{V}}, \\ \kappa_{300 \text{ V}} &= (0,159 \pm 0,005) \frac{\text{cm}}{\text{V}}, \\ \kappa_{200 \text{ V}} &= (0,250 \pm 0,006) \frac{\text{cm}}{\text{V}}.\end{aligned}$$

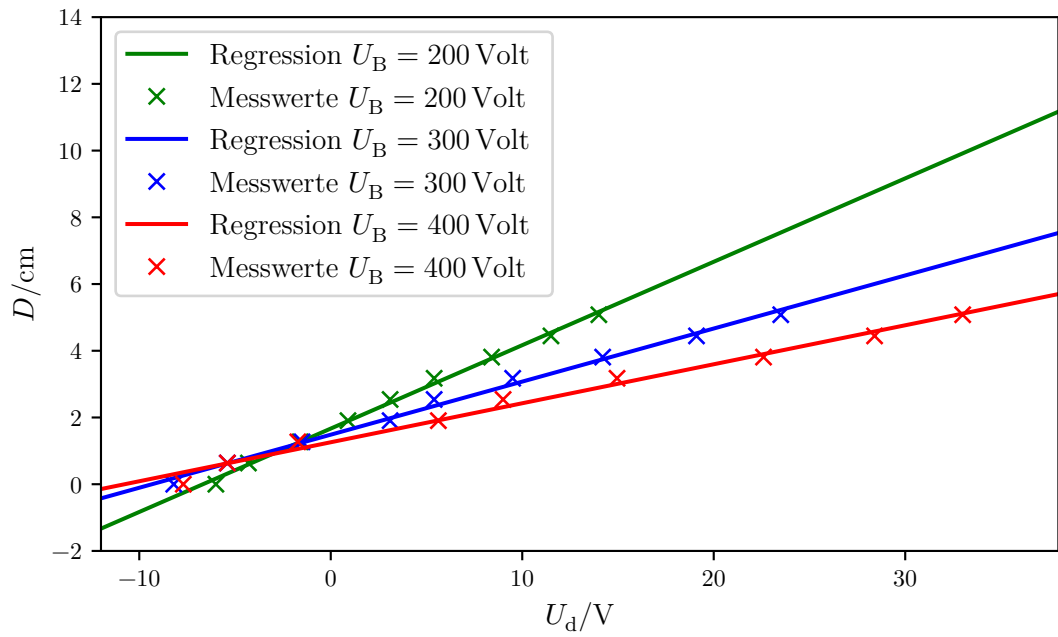


Abbildung 6: Ablenkung D am Leuchtschirm aufgetragen gegen die gemessene Ablenkspannungen U_d zur Bestimmung der Empfindlichkeit κ_i .

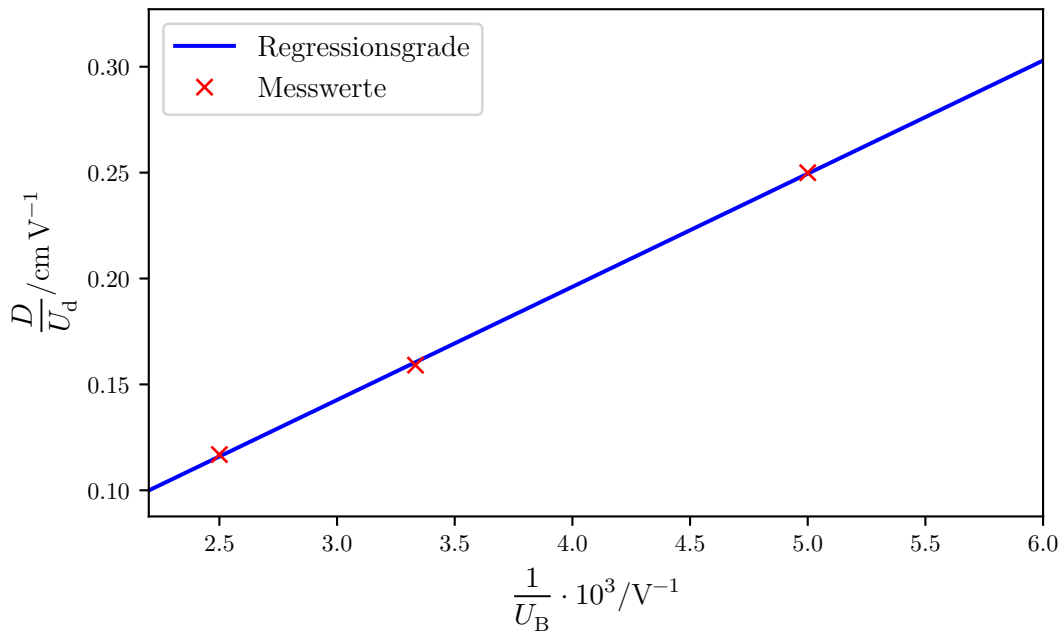


Abbildung 7: Empfindlichkeit κ_i aufgetragen gegen die reziproke Beschleunigungsspannung U_B .

In Abbildung 7 sind die bestimmten κ_i gegen die zugehörigen reziproken Beschleunigungsspannungen U_B aufgetragen. Erneut wird mittels scipy/python [3] eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Die Steigung m der Ausgleichsgeraden entspricht der Apparaturkonstanten K . Mit Gleichung (6) ergibt sich

$$K = D \cdot \frac{U_B}{U_d} = \frac{p \cdot L}{2d}.$$

Die experimentell bestimmte Apparaturkonstante K ist

$$K = m_{\text{Ausgleich}} = (53 \pm 1) \text{ cm}.$$

Wird die Apparaturkonstante über die Abmessungen der Kathodenstrahlröhre ermittelt, ergibt sich mit $L = 14,3 \text{ cm}$, $p = 1,9 \text{ cm}$ und $d = 0,38 \text{ cm}$:

$$K = 35,75 \text{ cm}.$$

Tabelle 1: Messdaten zur Bestimmung der Empfindlichkeit κ der Kathodenstrahlröhre.

D / cm	U_d für		
	$U_B = 400 \text{ V}$	$U_B = 300 \text{ V}$	$U_B = 400 \text{ V}$
0.000	-7.70	-8.2	-6.0
0.635	-5.40	-5.4	-4.3
1.270	-1.72	-1.5	-1.6
1.905	5.62	3.1	0.9
2.540	9.00	5.4	3.1
3.175	14.95	9.5	5.4
3.810	22.60	14.2	8.4
4.445	28.40	19.1	11.5
5.080	33.00	23.5	14.0

4.2 Untersuchung einer Sinusspannung mittels des Kathodenstrahl-Oszillographs

In Tabelle 2 sind die gemessenen Frequenzen der Sägespannung eingetragen, bei denen eine Entartung des Oszilloskopbilds zu einer stehenden Welle festgestellt wurde. Zudem sind die zugehörigen Frequenzverhältnisse zwischen angelegter Wechselspannung und der Sägespannungsfrequenz $\nu_{\text{Säge}}$ eingetragen. Eine Mittellung über alle Werte ergibt mittels python/numpy [4] für die Frequenz der angelegten Sinusspannung:

$$\nu_{\text{Sinus}} = (79,926 \pm 0,009) \text{ Hz}.$$

Tabelle 2: Bestimmte Synchronisationsfrequenzen zur Erzeugung von stehenden Wellen auf dem Leuchtschirm.

Frequenzverhältnis n	$\nu_{\text{Säge}} / \text{Hz}$
0.5	39.96
1.0	79.95
2.0	159.85
3.0	239.73

4.3 Ablenkung im magnetischen Feld

4.3.1 Bestimmung von $\frac{e_0}{m_0}$

Die Messergebnisse zur Berechnung von $\frac{e_0}{m_0}$ sind in Tabelle 1 aufgetragen. Es wird eine lineare Ausgleichsrechnung der Form

$$y = m \cdot x + b$$

gemäß Formel (13) mit scipy/python [3] durchgeführt. Hierbei entspricht das y dem Faktor $\frac{D}{L^2 + D^2}$ und das x der Flussdichte B . Die Parameter für die Beschleunigungsspannung $U_b = 250 \text{ V}$ ergeben sich zu

$$m = -(15\,548 \pm 3386) \frac{\text{T}}{\text{m}},$$

$$b = (2,6 \pm 0,3) \frac{1}{\text{m}}.$$

Die Ausgleichsgerade mit den Messwerten ist in Abbildung 8 dargestellt. Analog lassen sich die Parameter für die Beschleunigungsspannung $U_b = 450 \text{ V}$ zu

$$m = -(13\,662 \pm 2964) \frac{\text{T}}{\text{m}},$$

$$b = (2,8 \pm 0,4) \frac{1}{\text{m}}$$

bestimmen. Die Ausgleichsgerade ist in Abbildung 9 dargestellt. Damit ergeben sich die Verhältnisse gemäß Formel (13) und scipy [3] zu

$$\frac{e_0}{m_{0 \text{ theo}}} = -(175,882\,002\,4 \pm 0,000\,002\,4) \frac{\text{GC}}{\text{kg}},$$

$$\frac{e_0}{m_{0 \text{ } U_b=250 \text{ V}}} = -(480 \pm 210) \frac{\text{GC}}{\text{kg}},$$

$$\frac{e_0}{m_{0 \text{ } U_b=450 \text{ V}}} = -(900 \pm 400) \frac{\text{GC}}{\text{kg}},$$

mit der Elementarladung nach [2] und der Elektronenmasse nach [1] für den Theoriewert.

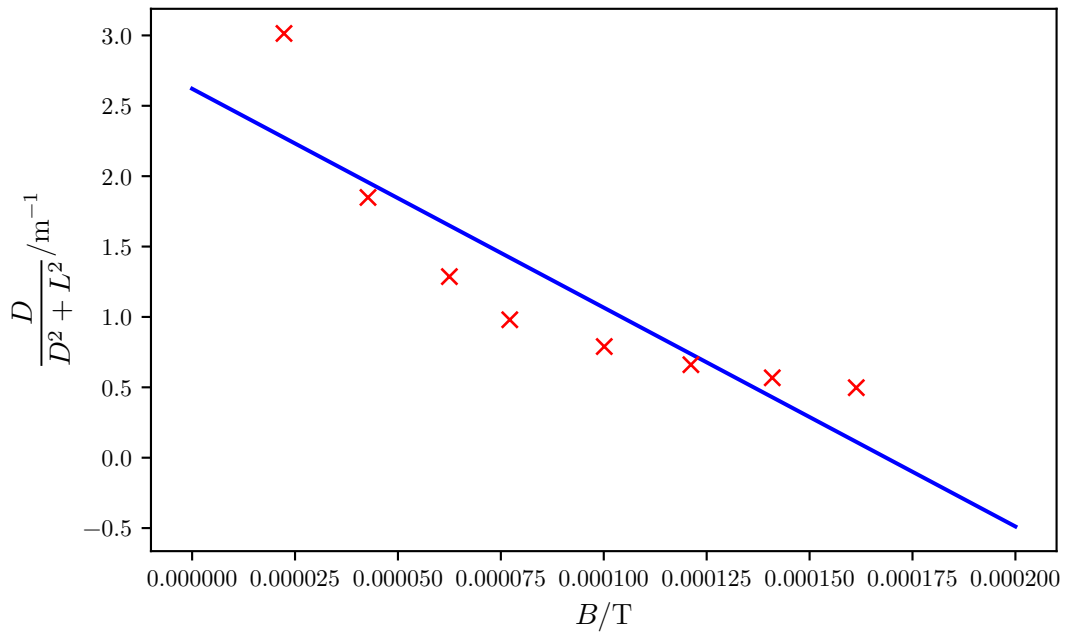


Abbildung 8: Ausgleichsgerade mit Messwerten für eine Beschleunigungsspannung von $U_b = 250 \text{ V}$.

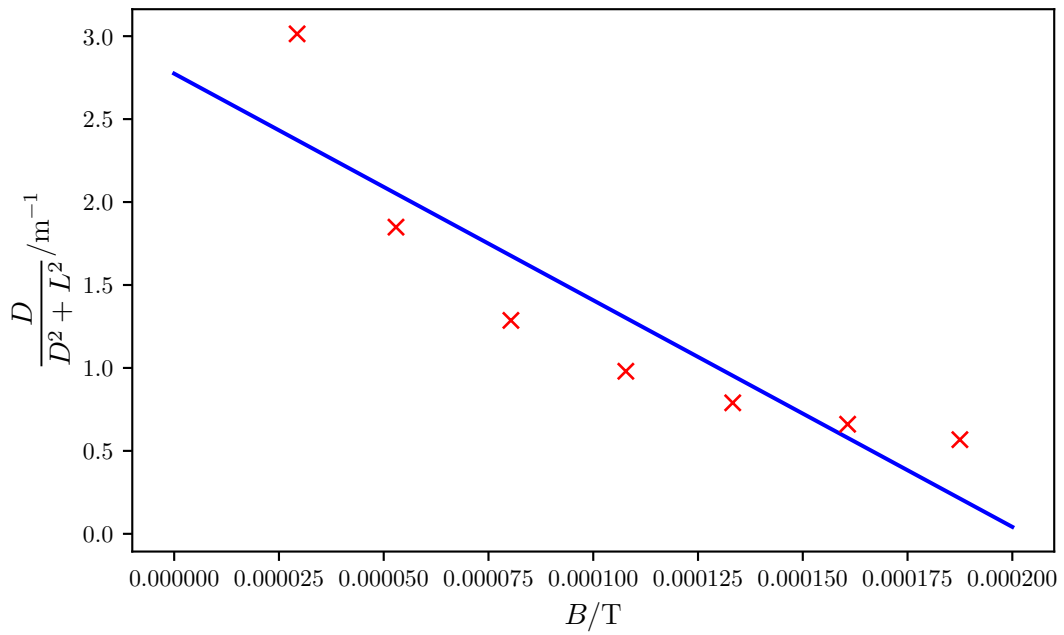


Abbildung 9: Ausgleichsgerade mit Messwerten für eine Beschleunigungsspannung von $U_b = 450 \text{ V}$.

Tabelle 3: Messwerte für die Verschiebung D in Abhängigkeit vom Spulenstrom bei Beschleunigungsspannungen von $U_b = 250$ V und $U_b = 450$ V.

D / cm	I / A bei $U_b = 250$ V	I / A bei $U_b = 450$ V
0.635	0.35	0.46
1.270	0.67	0.83
1.905	0.98	1.26
2.540	1.21	1.69
3.175	1.57	2.09
3.810	1.90	2.52
4.445	2.21	2.94
5.080	2.53	-

4.4 Bestimmung der Intensität des lokalen Erdmagnetfelds

Zur Bestimmung der Intensität des lokalen Erdmagnetfelds wurde zunächst mittels des Deklinatorium-Inklinatoriums der lokale Inklinationwinkel des Erdmagnetfelds zur Horizontalebene zu $\alpha = 75^\circ$ bestimmt. Nach Formel (14) wird die Flussdichte B des Ausgleichsfelds bestimmt. Hierbei beträgt der Spulenstrom $I = 0,25$ A, die Windungszahl der Helmholtzspule $N = 20$ und der Spulenradius $R = 0,282$ m. Es ergibt sich:

$$B_{\text{Ausgleich}} = 1,59 \cdot 10^{-5} \text{ T.} \quad (15)$$

Zur Bestimmung der Intensität des lokalen Erdmagnetfelds muss der berechnete Wert noch durch den Kosinus des Inklinationwinkel dividiert werden. Diese ergibt sich schließlich zu:

$$B_{\text{Erde}} = \frac{B_{\text{Ausgleich}}}{\cos \alpha} = 6,16 \cdot 10^{-5} \text{ T.} \quad (16)$$

5 Diskussion

Ein Vergleich der experimentell bestimmten Apparaturkonstanten $K_{\text{Ex.}} = (53 \pm 1)$ cm mit der aus den Apparaturdaten bestimmten Apparaturkonstanten $K = 35,75$ cm zeigt eine Abweichung von etwa 48%. Eine mögliche Erklärung für die recht große Abweichung ist, dass die Elektronen auf ihrem Weg von der Beschleunigungselektrode zu den Ablenkplatten gebremst werden und ihre Geschwindigkeit beim Durchlaufen des elektrischen Feldes geringer ist als nach dem Passieren der Beschleunigungselektrode. Damit würden die Elektroden eine längere Zeit Δt zum Passieren der Ablenkplatten benötigen und daher eine größere Ablenkung erfahren.

Die Elektronen könnten beispielsweise gebremst werden, indem sie mit Luftmolekülen wechselwirken. Dies würde bedeuten, dass das Vakuum in der Kathodenstrahlröhre eventuell nicht so gut ist wie angenommen und daher nicht so gut als ideales Vakuum genähert werden kann. Selbiger Grund lässt sich für die großen Abweichungen zwischen den theoretischen und den experimentell bestimmten Werten für die spezifische

Elektronenladung $\frac{e_0}{m_0}$ anbringen. Wird angenommen, dass auch hier das Vakuum in der Kathodenstrahlröhre nicht optimal ist, folgt, dass die Elektronen auch hier länger brauchen, um das magnetische Feld zu passieren. Auf sie hat also effektiv bei Eintritt in das magnetische Feld eine geringere Beschleunigungsspannung gewirkt, da sie auf dem Weg zwischen Beschleunigungselektrode und Ablenkplatten ebenfalls durch Luftmoleküle gebremst wurden.

Für die Totalintensität des Erdmagnetfelds ergibt sich im Experiment ein Wert von $B_{\text{Ex.}} = 6,16 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Ein Vergleich mit dem Literaturwert $B_{\text{Theo.}} = 4,9046 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ nach [5] zeigt eine Abweichung von etwa 25%. Mögliche Fehler lassen sich mit Störfeldern in der Umgebung erklären. So wurde auch das Deklinatorium-Inklinatorium durch Störfelder, beispielsweise durch den Versuchsaufbau verursacht, bereits beeinflusst und ist ein weiterer möglicher Fehler in der Messung.

Literatur

- [1] CODATA value: electron mass. URL: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?me> (besucht am 15.05.2017).
- [2] CODATA value: elementary charge. URL: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e> (besucht am 15.05.2017).
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] 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/>.
- [5] Deutsches Geoforschungszentrum (Helmholtz-Zentrum Potsdam). *IGRF- Deklinationsrechner: Internationales geomagnetisches Referenzfeld*. URL: <http://www.gfz-potsdam.de/deklinationsrechner/> (besucht am 15.05.2017).