

V501/2

# **Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld / transversalen Magnetfeld**

Jonas Osterholz

Moritz Rempe

Durchführung: 21.05.2019

Abgabe: 28.05.2019

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	Ablenkung im elektrischen Feld . . . . .	3
2.1.1	Kathodenstrahlröhre im E-Feld . . . . .	3
2.1.2	Ablenkung im E-Feld . . . . .	4
2.1.3	Kathodenstrahl-Oszillograph . . . . .	5
2.2	Ablenkung im B-Feld . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1	Ablenkung im E-Feld . . . . .	6
3.2	Ablenkung im B-Feld . . . . .	7
	<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Zielsetzung

In den beiden folgenden Versuchen soll die Ablenkung von Elektronen durch ein elektrisches Feld in einer Kathodenstrahlröhre untersucht werden. Im zweiten Versuch wird die Ablenkung in einem B-Feld untersucht.

## 2 Theorie

### 2.1 Ablenkung im elektrischen Feld

#### 2.1.1 Kathodenstrahlröhre im E-Feld

Das Innere der Kathodenstrahlröhre, auch Braunsche Röhre genannt, wird evakuiert, sodass keine Wechselwirkungen der Elektronen mit Luftmolekülen auftreten. Der Aufbau dieser Kathodenstrahlröhre ist in Abbildung 1 dargestellt.

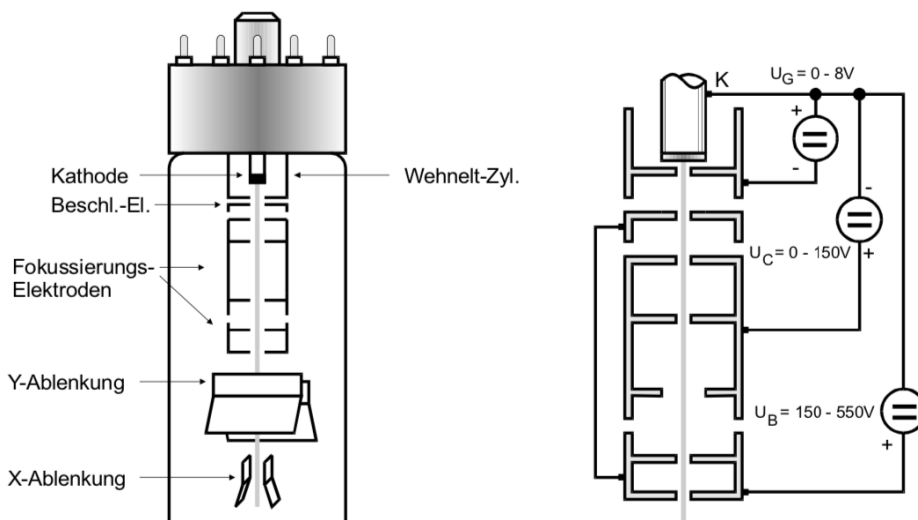


Abbildung 1: Aufbau der Kathodenstrahlröhre [1].

Die Elektronen werden mithilfe eines Glühdrahtes aus der Kathode freigesetzt. Die Kathode ist von dem Wehnelt-Zylinder umgeben, welcher die Strahlrichtung durch ein kleines Loch vorgibt. Da dieser Zylinder ein negatives Potential gegenüber der Kathode besitzt, kann hiermit die Intensität des Elektronenstrahls eingestellt werden. Eine Elektrode vor dem Zylinder mit einem hohen positiven Potential beschleunigt die austretenden Elektronen auf eine Geschwindigkeit  $v_z$ . Diese Geschwindigkeit ergibt sich aus

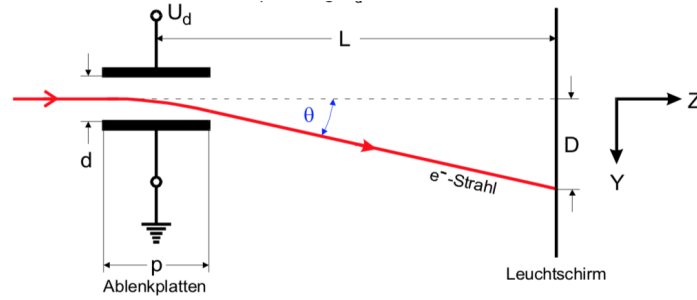
$$\frac{m_0 v_z^2}{2} = e_0 U_B. \quad (1)$$

$U_B$  ist hierbei die Beschleunigungsspannung. Die Elektroden fungieren dabei als Sammellinse für den Elektronenstrahl. Ihre Brechkraft kann mithilfe der Spannung  $U_C$  angepasst

werden. Der Elektronenstrahl trifft dann auf den Leuchtschirm, welcher den Auftreffpunkt durch Lichtemission sichtbar macht.

### 2.1.2 Ablenkung im E-Feld

Im ersten Versuchsteil wird der Elektronenstrahl durch ein E-Feld abgelenkt. Dieses wird mithilfe von zwei Plattenpaaren erzeugt (siehe 1). Durch anlegen einer Spannung entsteht ein elektrisches Feld, welches die Elektronen ablenkt und ihre Bahn zum Leuchtschirm verändert, wie in Abbildung 2



**Abbildung 2:** Ablenkung des Elektronenstrahls durch ein E-Feld [1].

Bei kleinem Plattenabstand  $d$  gegen die Plattenlänge  $p$  kann ein homogenes E-Feld mit

$$E = \frac{U_d}{d} \quad (2)$$

angenommen werden. Auf das Elektron wirkt die Kraft

$$|\vec{F}| = |e_0 \vec{E}| = e_0 \frac{U_d}{d} \quad (3)$$

solange es sich in dem E-Feld befindet. Diese Ablenkung ist aufgrund der konstanten Kraft gleichmäßig in  $y$ -Richtung. Diese Geschwindigkeit  $v_y$  kann beschrieben werden durch

$$v_y = \frac{F}{m_0} \Delta t \quad (4)$$

oder mit 3 durch

$$v_y = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z}. \quad (5)$$

Der Winkel der Richtungsänderung innerhalb des E-Feldes beträgt nun

$$\theta = \frac{e_0}{m_0} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2}. \quad (6)$$

Die Verschiebung  $D$  des Auftreffpunkts auf dem Leuchtschirm ergibt sich dann mit Hilfe von 1:

$$D = \frac{p}{2d} L \frac{U_d}{U_B} \quad (7)$$

Für eine hohe Ablenkempfindlichkeit werden lange Platten (p groß) benötigt, der Strahlweg L muss lang und die Beschleunigungsspannung niedrig sein. Die Zeit  $\Delta t$  der Elektronen bis zum Leuchtschirm muss immer klein gegen die PERiodendauer von  $U_d$  sein. Daher kann mit einem solchen Aufbau nur niederfrequente Wechselspannungen untersucht werden.

### 2.1.3 Kathodenstrahl-Oszillograph

Mithilfe einen Kathodenstrahl-Oszillographen kann die Zeitabhängigkeit von Wechselspannungen dargestellt werden. Hierzu muss lediglich an das Plattenpaar, welches den Strahl in x-Richtung ablenkt, eine linear wachsende Spannung angelegt werden. Nach dem Durchlaufen des Maximalwertes springt diese zurück zum Anfang, also eine Sägezahnspannung. Bei richtigem Verhältnis von Sägezahn- zu Wechselspannung kann der zeitliche Verlauf der Wechselspannung abgelesen werden. Dazu müssen die Synchronisationsbedingungen gelten:

$$nv_{sä} = mv_{We}, n = 1, 2, 3, \dots; m = 1, 2, 3, \dots$$

## 2.2 Ablenkung im B-Feld

Magnetostatische Felder können im Gegensatz zu elektrostatischen Feldern Kräfte nur auf Ladungen ausüben, die sich relativ zum Feld bewegen. Dann wirkt die sogenannte Lorentz-Kraft mit

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (8)$$

Dringt der Elektronenstrahl nun in z-Richtung in das B-Feld ein, dessen Feldlinien in x-Richtung verlaufen, so wirkt die Kraft auf die Elektronen in y-Richtung mit

$$F_{L,y} = e_0 v_0 B.$$

Dabei ändert sich jedoch nicht die potentielle Energie des Elektrons, weshalb auch die kinetische Energie konstant sein muss. Somit gilt überall

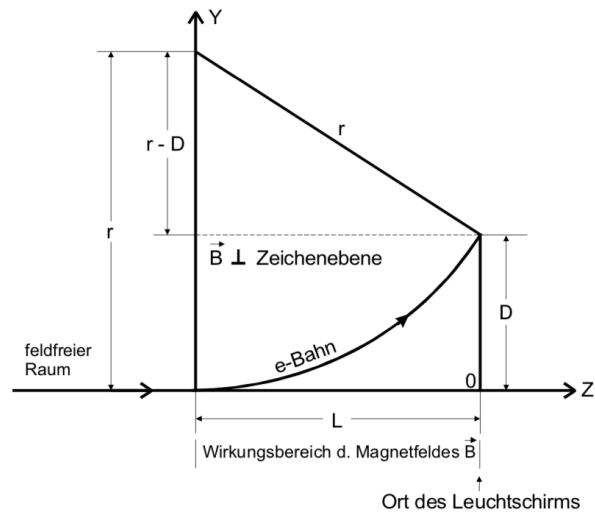
$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} M_0 v^2$$

Das sich das Elektronen in einem gleichmäßigen Bahnradius bewegt, gilt das Gleichgewicht von Lorentz- und Zentrifugalkraft:

$$e_0 v_0 B = \frac{m_0 |\vec{v}|^2}{r}$$

Daraus folgt für den Bahnradius

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



**Abbildung 3:** Ablenkung des Elektronenstrahls durch ein B-Feld [2].

Zur Bestimmung der Ablenkung von Elektronen in einem B-Feld kann erneut die Kathodenstrahlröhre (siehe 1) verwendet werden, jedoch wird nun nach dem elektrischen Feld zwischen Kathode und Beschleunigungselektrode ein B-Feld angelegt.

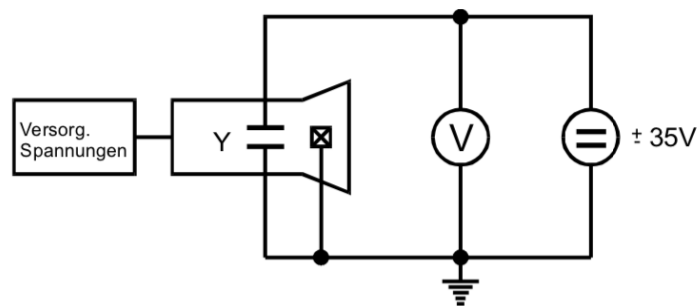
Es ergeben sich durch geometrische Zusammenhänge für die Ablenkung

$$\frac{D}{L^2 + D^2} = \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} B. \quad (10)$$

### 3 Aufbau und Durchführung

#### 3.1 Ablenkung im E-Feld

Der Aufbau der Kathodenstrahlröhre wurde in 2 bereits behandelt. Zur Messung der Ablenkung im E-Feld wird nun die Schaltung aus Abbildung 4 aufgebaut. Es wird die

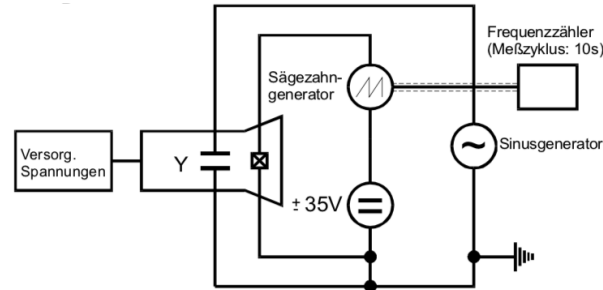


**Abbildung 4:** Schaltung zur Messung der Ablenkung durch ein E-Feld [1].

Proportionalität zwischen Verschiebung und Ablenkspannung  $U_d$  für 5 verschiedene

Beschleunigungsspannungen  $U_B$  gemessen.  $U_B$  liegt dabei zwischen 180 und 500V.  $U_d$  wird jedes Mal so eingestellt, dass der Leuchtpunkt auf den 9 äquidistanten Linien des Koordinatenetzes liegt.  $U_d$  wird am Voltmeter abgelesen.

Nun wird der Kathodenstrahl-Oszilloscograph nach Abbildung 5 aufgebaut. Durch Variation



**Abbildung 5:** Schaltung des Kathodenstrahl-Oszilloscographen [1].

der Sägezahnspannung wird versucht ein stehendes Bild der Sinusspannung zu erreichen. Hierzu werden die Verhältnisse  $nv_{sä} = v_{si}$  mit  $n = 0,5, 1, 2, 3$ . Dabei wird die maximale Strahlauslenkung durch die Sinusspannung in y-Richtung ausgemessen.

### 3.2 Ablenkung im B-Feld

Mithilfe einer Helmholtzspule wird ein homogenes Magnetfeld erzeugt. Die Richtung des Magnetfeldes ist senkrecht zum Elektronenstrahl der Kathodenstrahlröhre.

Vor Beginn der Messung wird die Achse des Kathodenstrahlrohres parallel zur Horizontal-komponente des Erdmagnetfeldes gerichtet. Hierbei hilft ein Deklinatorium-Inklinatorium. Nun wird bei konstantem  $U_B = 250$  und  $500V$  die Verschiebung  $D$  in Abhängigkeit von  $B$  gemessen.

Dann wird mit niedriger Beschleunigungsspannung ( $U_B = 150 - 200 V$ ) experimentiert. Die Achse der Röhre wird in Nord-Süd-Richtung gedreht. Daraufhin wird sie in Ost-West-Richtung gedreht. Auf die bewegten Elektronen wirkt nun eine Kraft und sie werden in Y-Richtung abgelenkt. Um diese Kraft auszugleichen wird das Helmholtz-Feld mit einem Spulenstrom  $I_{hor}$  eingeschaltet, sodass keine Ablenkung mehr erkennbar ist. Um die Totalintensität  $B_{total}$  nun zu bestimmen wird zudem der Inklinationwinkel  $\varphi$ , der Winkel zwischen Horizontalebene und Richtung des Erdfeldes, aufgenommen. Hierzu wird das Inklinatorium um seine vertikale Achse gedreht bis die Magnetnadel parallel zur horizontalen Drehachse des Gerätes liegt. Daraufhin wird der Teilkreis um  $90^\circ$  geschwenkt, woraufhin die Drehachse der Magnetnadel horizontal ist. Die Nadel zeigt nun in Feldrichtung und  $\varphi$  kann abgelesen werden.

### Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Experiment V501 - Ablenkung eines Elektronenstrahls durch ein elektrisches Feld*. 2019.

- [2] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Experiment V502 - Ablenkung eines Elektronenstrahls im transversalen Magnetfeld*. 2019.