

TU Dortmund

# V406, V502 - Elektronen im E- und B-Feld

Markus Stabrin  
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke  
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 23. Oktober 2012

Abgabedatum: 30. Oktober 2012

# 1 Einleitung

In diesem Versuch wurde die Ablenkung von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern untersucht. Die theoretischen Grundlagen sollten zunächst mit Messdaten überprüft werden. Schließlich wurden die Erkenntnisse genutzt, um ein einfaches Oszilloskop zu realisieren und die Feldstärke des Erdmagnetfeldes zu messen.

## 2 Funktionsweise und Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden aus den wirkenden Kräften die zu überprüfenden Zusammenhänge hergeleitet.

### 2.1 Elektrische Kraft

Im ersten Versuch betrachtet man ausschließlich die elektrische Kraft  $\vec{F}_{el}$ , die auf eine Ladung  $q$  im elektrischen Feld  $\vec{E}$  wirkt. In unserem Versuchsaufbau durchläuft ein Elektronenstrahl eine Anordnung aus Plattenkondensatoren, in denen das elektrische Feld überall näherungsweise senkrecht auf den Kondensatorplatten steht.

Die Platten haben die Länge  $p$  und seien im Abstand  $d$  angebracht. An ihnen liegt eine Spannung  $U_d$  an. Die Ladung der Elektronen beträgt  $e$ , ihre Masse  $m_e$ .

Die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  der Teilchen lässt sich in die Komponenten  $v_y$  und  $v_z$  zerlegen, die parallel bzw. orthogonal zum elektrischen Feld  $\vec{E}$  stehen.

Es kann damit eine Aussage über den Winkel  $\theta$  zwischen  $v_y$  und  $v_z$  getroffen werden:

$$\theta = \frac{e}{m_e} \frac{U_d}{d} \frac{p}{v_z^2} \quad (1)$$

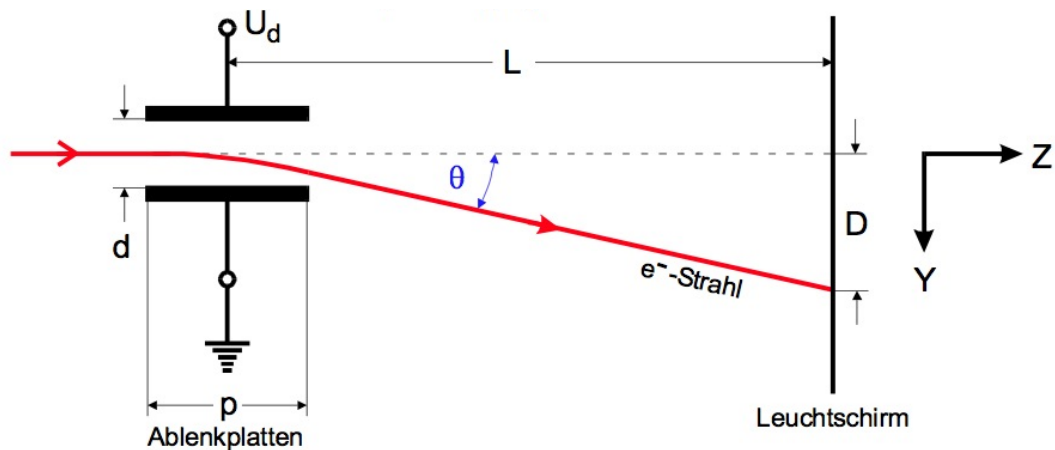


Abbildung 1: Strahlablenkung durch einen Plattenkondensator

Unter Berücksichtigung der Beschleunigungsspannung  $U_B$  (siehe 2.2.1) gilt für die Verschiebung  $D$  im Abstand  $L$  und parallel zu  $\vec{E}$ :

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

$D$  ist proportional zur Beschleunigungsspannung  $U_B$ , kann also zur Spannungsmessung genutzt werden.

## 2.2 Die Braunsche Röhre

Dieser Aufbau ist Teil der *Braunschen Röhre*. Dieses Gerät beinhaltet neben den Ablenk-kondensatoren, die oben behandelt wurden, einen *Wehnelt-Zylinder*, der einen Elektro-nenstrahl emittiert, eine Vorrichtung, um diesen Strahl zu fokkussieren und einen fluoris-zierenden Schirm, der den Aufpunkt des Elektronenstrahles visualisiert.

Die gesamte Röhre ist evakuiert, damit die Elektronen nicht mit Luftmolekülen zusam-menstoßen und gebremst werden.

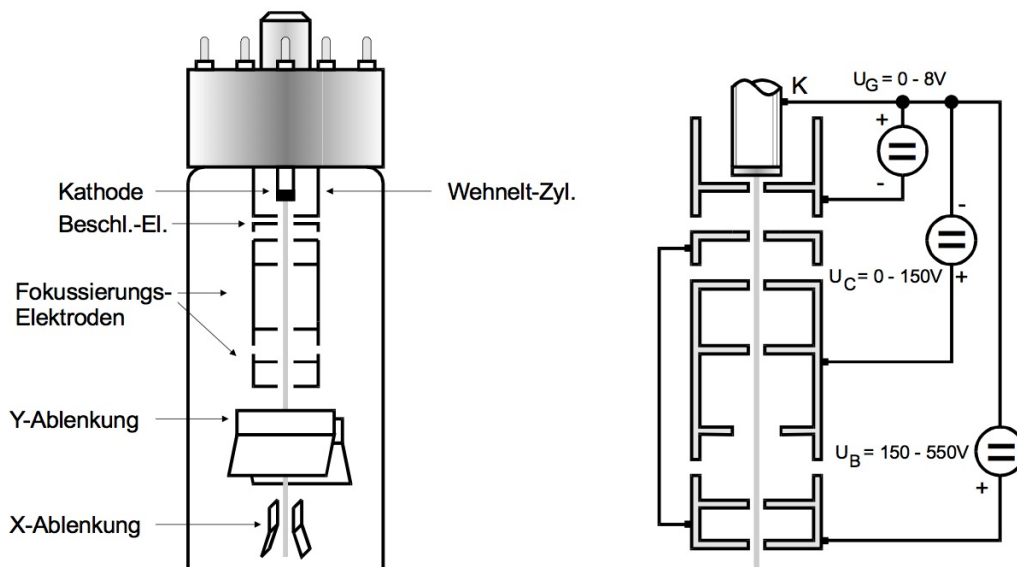


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Braunschen Röhre – der Leuchtschirm ist hier nicht sichtbar

### 2.2.1 Wehnelt-Zylinder

Zunächst wird ein Elektronenstrahl erzeugt. Hierfür heizt ein stromdurchflossener Draht einen Zylinder aus einem Material mit geringer Elektronenaustrittsarbeit auf. Durch Glühemission treten bei genügend großer Temperatur Elektronen aus. Der Zylinder ist

von dem größeren Wehnelt-Zylinder umgeben und es liegt eine Spannung an, sodass der innere Zylinder positiv und der äußere negativ geladen ist. Durch eine kleine Öffnung in der Stirnseite des Wehnelt-Zylinders treten gerade die Elektronen aus, die genügend kinetische Energie besitzen, um die Potentialbarriere zu überwinden.

Mit einem weiteren Zylinder, der positiv mit der Spannung  $U_B$  geladen ist, werden die Elektronen anschließend beschleunigt, wobei  $v \ll c$  ist und somit nicht relativistisch gerechnet werden muss. Das Durchlaufen dieser Spannung stellt näherungsweise die gesamte kinetische Energie für die Elektronen bereit.

### 2.2.2 Fokkusiervorrichtung

Die darauffolgende Anordnung aus positiv geladenen Zylindern dient der Fokussierung des Strahls. Das elektrische Feld in diesem Bereich wirkt ähnlich wie Linsen in der Optik. Durch Variation der Spannung  $U_C$  kann der Fokus des Strahls geändert werden, sodass dieser auf dem Leuchtschirm scharf ist.

### 2.2.3 Ablenkplatten

Vor dem Leuchtschirm befinden sich zwei Kondensatoren, deren Platten senkrecht zueinander stehen. Hierdurch kann der Strahl in die Richtungen x und y abgelenkt werden. Der Winkel  $\theta$ , in dem der Kondensator verlassen wird, wird durch Gleichung 1 beschrieben.

Indem an eine Achse eine Sägezahnspannung mit variabler Frequenz  $\omega_{\text{takt}}$  angelegt wird, kann hiermit ein einfaches Oszilloskop realisiert werden. Das Eingangssignal mit fester Frequenz  $\omega_{\text{sig}}$  muss dann an die andere Achse angelegt werden. Durch Anpassen der beiden Frequenz  $\omega_{\text{takt}}$  an  $\omega_{\text{sig}}$  lässt sich ein stehendes Bild des Eingangssignales erzeugen.

### 2.2.4 Leuchtschirm

Der Elektronenstrahl trifft schließlich auf einen Schirm mit fluoreszierender Beschichtung. Die Elektronen wechselwirken mit denen des Schirms und Photonen werden emittiert. Dadurch können wir den Aufpunkt des Strahls sehen.

## 2.3 Magnetische Kraft (Lorentzkraft)

Die magnetische Kraft  $\vec{F}_L$  wirkt nur auf, zum Magnetfeld  $\vec{B}$  senkrecht bewegte Ladungen  $q$ :

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

Tritt ein Elektron also in ein homogenes Magnetfeld begibt es sich auf eine Kreisbahn. Die Lorentzkraft  $\vec{F}_L$  wirkt dann als Zentripetalkraft.

Ist die Stärke  $B$  des Magnetfeldes und die Geschwindigkeit  $v_0$  des Elektrons bekannt, lässt sich der Radius  $r$  seiner Kreisbahn messen und es gilt:

$$r = \frac{m_e}{e} \frac{v_0}{B} \quad (4)$$

Damit kann man also die spezifische Ladung  $e/m_e$  bestimmen.

Durch eine Helmholtz-Spule lässt sich ein nahezu homogenes Magnetfeld erzeugen. Setzt man nun eine Braunsche Röhre in dieses Magnetfeld lässt sich der folgende Aufbau gut realisieren.

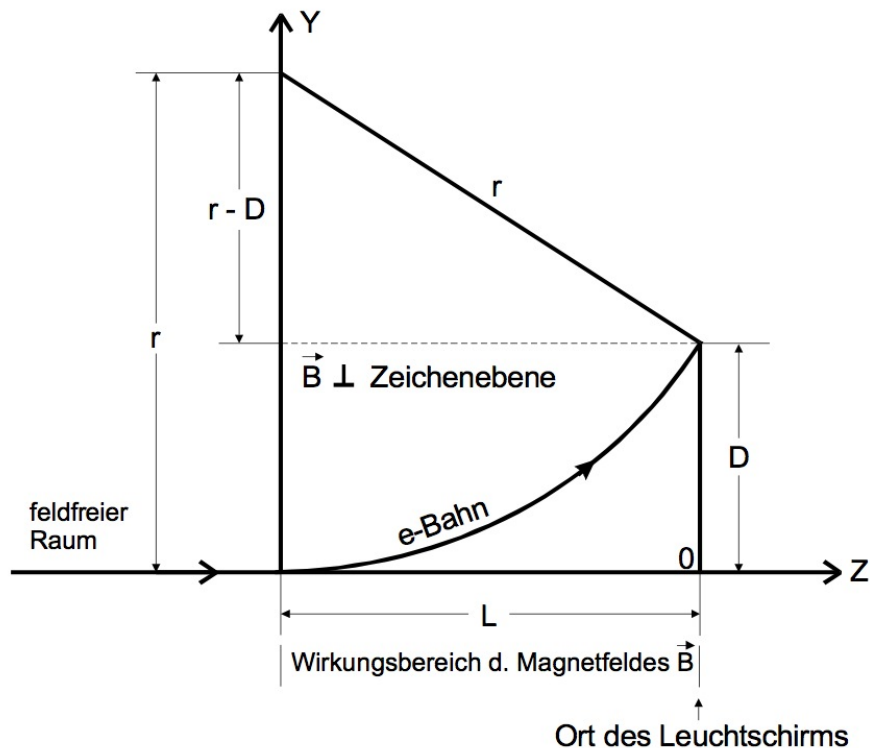


Abbildung 3: Strahlablenkung in einem Magnetfeld

Die Weglänge der Elektronen innerhalb der Ablenkkondensatoren der Braunschen Röhre kann dabei vernachlässigt werden. Die Strecke  $L$  ist somit der Weg zwischen Ablenkplatten und Leuchtschirm. Das Magnetfeld  $B$  ist proportional zum Strom  $I$  durch die Helmholtzspule. Es gilt dann:

$$\sqrt{\frac{e}{m_e}} = \frac{\sqrt{8U_B}}{B} \frac{D}{L^2 + D^2} \quad (5)$$

### 3 Durchführung

Bei den Versuchen war besonders darauf zu achten, dass je eine Platte der X- und Y- Ablenkung geerdet sein sollte. Anschließend musste die Stromversorgung etwa 1 min anheizen, bevor der Kippschalter von „Standby“ auf „On“ gestellt werden durfte. Nun ist die gewünschte Beschleunigungsspannung angelegt worden. Die nun auf dem Leuchtschirm erschienene Abbildung des Elektronesstrahls wurde nun mit Hilfe der Fokussierungsspannung so geregelt, dass ein möglichst kleiner Leuchtfleck zu sehen ist. Dabei ist darauf zu achten gewesen, dass der Elektronenstrahl nicht allzulange auf der selben Position des Schirms bleibt, da dieser ansonsten beschädigt wird.

#### 3.1 501

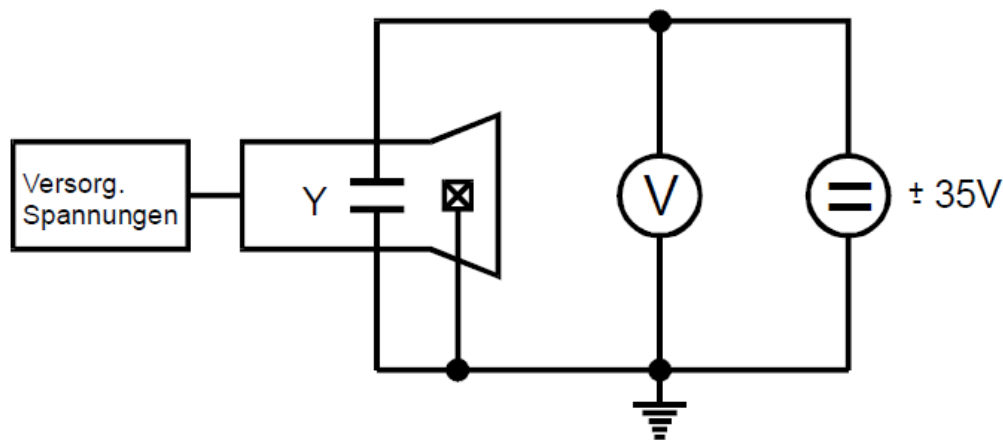


Abbildung 4: Schaltung zur Messung der Leuchtfleckbestimmung in Abhängigkeit von der Ablenkspannung

Der Versuch wurde gemäß Abbildung 4 aufgebaut, um die Proportionalität zwischen der Leuchtfleckverschiebung  $D$  und der Ablenkspannung  $U_d$  für 5 verschiedenen Beschleunigungsspannungen  $U_B$  zu überprüfen. Dazu sollte  $U_d$  bei jeder Messreihe so eingestellt werden, dass der Leuchtfleck auf die 9 äquidistanten Linien des Koordinatennetzes trifft.  $U_d$  wurde bei jeder Messung auf dem Voltmeter abgelesen.

Im 2. Versuchsteil sollte ein einfacher Kathodenstrahl-Oszillograph nach Abbildung 5 gebaut werden. Nun wurde versucht durch Veränderung der Sägezahnfrequenz  $\nu_{sä}$  stehende Bilder der Sinusspannung auf dem Leuchtschirm zu erzeugen. Dazu muss die Sägezahn- und die Sinusfrequenz ein rationales Verhältnis bilden. In diesem Fall sollten die Situationen für  $(n\nu_{sä} = \nu_{si}; n = \frac{1}{2}, 1, 2, 3)$  eingestellt werden und die Sägezahnfrequenz  $\nu_{sä}$  am Frequenzzähler ablesen werden.  $U_B$  wurde konstant gehalten und die Maximale Strahlauslenkung in Y-Richtung gemessen.

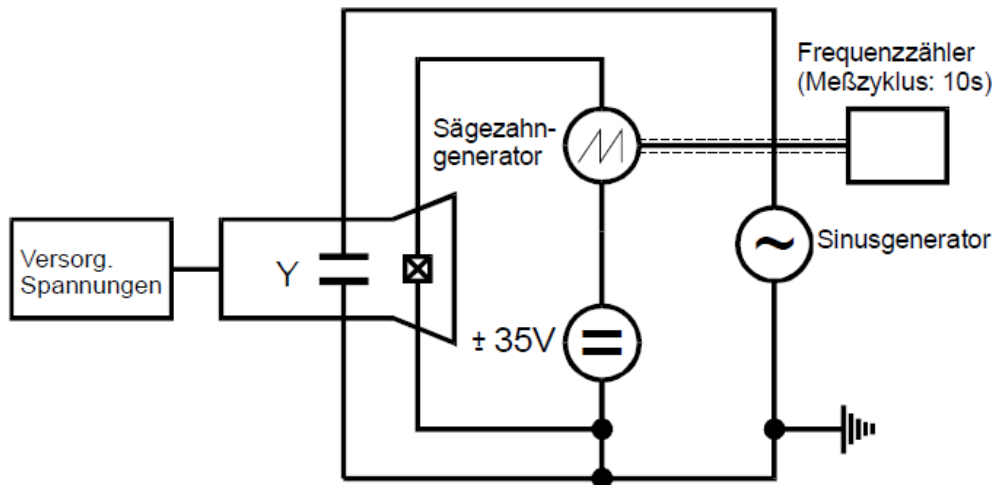


Abbildung 5: Prinzipschaltung eines Kathodenstrahl Oszilloskopes

### 3.2 502

Bei diesem Versuch wurde zusätzlich ein homogenes Magnetfeld erzeugt, dessen Richtung senkrecht zum Elektronenstrahl der Elektronenstrahlröhre steht. Dies war mit Hilfe einer Helmholtz-Spule möglich, dessen Helmholtz-Feld  $B_{HF}$  im Mittelpunkt gegeben ist durch

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{N * I}{R}$$

( $N$  = Windungszahl,  $I$  = Spulenstrom,  $R$  = Spulenradius,  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ )

Im ersten Versuchsteil musste die Elektronenstrahlröhre vor Beginn in Richtung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes ausgerichtet werden, welche mithilfe des Deklinatorium-Inklinatoriums auffindbar war. Nun wurde bei zwei konstanten Beschleunigungsspannungen Messungen der Strahlverschiebung  $D$  in Abhängigkeit von  $B_{HF}$  durchgeführt. Dazu wurde der Leuchtfleck bei  $B_{HF} = 0$  auf die oberste oder unterste Linie des Koordinatennetzes mit einem elektrischen Feld verschoben.

Im nächsten Versuchsteil wurde der Versuchsaufbau in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet und der Leuchtfleck bei möglichst niedriger Beschleunigungsspannung in den Nullpunkt des XY-Koordinatennetzes gelegt. Nun wurde der Versuchsaufbau in Ost-West Richtung ausgerichtet und die Auslenkung durch das Erdmagnetfeld mit Hilfe des Helmholtz-Feldes kompensiert. Wenn der Leuchtfleck nach dem Einstellen eines geeigneten Spulenstroms  $I_{hor}$  wieder im Ursprung liegt gilt  $B_{HF} = -B_{hor}$  des Erdmagnetfeldes.

Abschließend wurde der Inklinationwinkel  $\varphi$  zur Bestimmung der Totalintensität  $B_{total}$  gemessen. Dazu wurde das Inklinatorium um die vertikale Achse gedreht, sodass die

Magnetnadel parallel zur horizontalen Drehachse des Gerätes liegt. Anschließend schwenkt man den Teilkreis um  $90^\circ$ . Nun zeigt die Magnetnadel genau in Feldrichtung und  $\varphi$  kann abgelesen werden.