

# Versuch E3

## Elektronen im elektrischen und magnetischen Feld

Frederik Strothmann, Henrik Jürgens

26. August 2014

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>2</b>
3.1	Praktische Durchführung . . . . .	2
3.2	Theoretische Durchführung . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>7</b>
4.1	elektrisches Feld . . . . .	8
4.1.1	X-Achsenauslenkung . . . . .	8
4.1.2	Y-Achsenauslenkung . . . . .	9
4.2	magnetisches Feld . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>12</b>
5.1	elektrisches Feld . . . . .	12
5.2	magnetisches Feld . . . . .	18
5.3	Erdmagnetfeld . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>

# 1 Einleitung

Mit Hilfe einer Oszillographenröhre soll die Bewegung von Elektronen unter dem Einfluß äußerer Felder untersucht werden. Dazu beschäftigen wir uns zunächst mit dem Grundprinzip eines Oszillographen, der Ablenkung von Elektronenstrahlen durch elektrische Felder. Ebenso können Elektronenstrahlen durch magnetische Felder abgelenkt werden, hierzu verwenden wir das Magnetfeld eines Helmholtz-Spulenpaares. Zum Schluß versuchen wir, mit diesem Effekt Richtung und Größe des Erdmagnetfeldes zu bestimmen.

## 2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Oszillographenröhre, einem Steuerkasten, einer Helmholtz-Spule und einem Auffangschirm. Der Steuerkasten wird an die Oszillographenröhre angeschlossen, um verschiedene Spannungen zu kontrollieren. Dahinter befindet sich die Helmholtz-Spule um im zweiten Aufbau ein Magnetfeld zu erzeugen. Am Ende des Aufbaus befindet sich der Auffangschirm, an welchem die Elektronen detektiert werden.



Abbildung 1: Foto der Hauptbestandteile des Versuchs<sup>1</sup>

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Praktische Durchführung

- $l_{12}$ : Länge der ersten Ablenkplatten
- $L_{12}$ : Abstand zwischen dem Ende der Ablenkplatten bis zum Auffangschirm
- $d_{12}$ : Abstand zwischen den ersten Ablenkplatten
- $l_{34}$ : Länge der zweiten Ablenkplatten
- $L_{34}$ : Abstand zwischen dem Ende der Ablenkplatten bis zum Auffangschirm

---

<sup>1</sup>Graphik wurde am 22.08.2014 von der Seite: <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/kind/apjpg/ap1e3a.JPG> entnommen

- $d_{34}$ : Abstand zwischen den zweiten Ablenkplatten

(a) Ablenkung im transversalen elektrischen Feld

1. Messen Sie mit einem Lineal an einer Musterröhre die Abstände  $L_{12}$ ,  $l_{12}$  und  $d_{12}$  sowie  $L_{34}$ ,  $l_{34}$  und  $d_{34}$  für die beiden Ablenkplattenpaare. Als Richtwerte können Sie annehmen:  $l_{12} = l_{34} = 35 \pm 2 \text{ mm}$ . Es steht eine geöffnete Röhre zur Verfügung, an der Sie  $L_{12}$  und  $L_{34}$  abschätzen können. Da die Ablenkplatten teilweise gebogen sind (siehe Abbildung der Röhre im Anhang), müssen Sie für den Meßwert des Plattenabstands  $d_{12}$  und  $d_{34}$  eine vernünftige Abschätzung machen. Ein Wert zwischen 2 und 5 mm sollte sinnvoll sein.

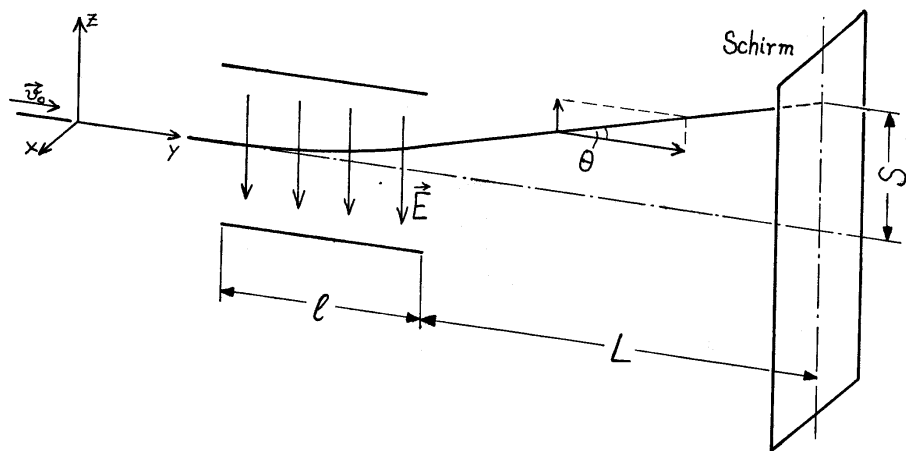


Abbildung 2: Skizze für die Ablenkung der Elektronen durch das E-Feld<sup>2</sup>

2. Setzen Sie die Oszillographenröhre mit Hilfe des Schaltplans in

<sup>2</sup>Abbildung entnommen von <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/kind/E3.pdf> Seite 3 am 22.08.2014

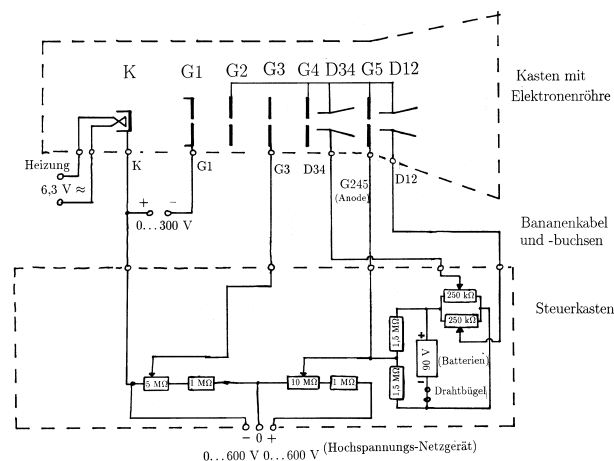


Abbildung 3: Schaltskizze der Oszillographenröhre und den Schaltkasten<sup>3</sup>

Betrieb und stellen Sie einen scharfen Leuchtfleck ein ( $U_{D12} = U_{D34} = 0$ , d.h. verbinden Sie die Anschlüsse D12 und D34 mit G245).

3. Messen Sie für eine feste Beschleunigungsspannung  $U_B$  die Ablenkung  $S_{12}$  als Funktion der Ablenkspannung  $U_{D12}$ . Tragen Sie  $S_{12}$  als Funktion von  $U_{D12}$  in einem Diagramm auf.
4. Wiederholen Sie diese Messung und die graphische Darstellung mit den Ablenkplatten D34.
5. Ändern Sie die Beschleunigungsspannung  $U_B$ , optimieren Sie die Fokussierung und wiederholen Sie die Messungen 3 und 4 für zwei weitere Werte von  $U_B$ . Stellen Sie auch diese vier Messungen graphisch dar.
6. Als graphische Darstellung dieser 6 Messungen aus 3, 4 und 5 erwarten Sie Ursprungsgeraden, z.B.  $S_{12} = k_{12} \cdot U_{D12}$  (warum? Welche Ursache könnte es haben, wenn sich keine exakte Ursprungsgerade ergibt?) Bestimmen Sie die drei Steigungen  $k_{12}$  und die drei Steigungen  $k_{34}$ . Berechnen Sie für alle 6 Steigungen das Produkt  $U_B \cdot k$  mit der entsprechenden Beschleunigungsspannung. Die drei Produkte  $U_B \cdot k_{12}$  sollten etwa gleich sein (warum?), ebenso die drei Produkte  $U_B \cdot k_{34}$ .
7. Berechnen Sie den Mittelwert der drei Produkte  $U_B \cdot k_{12}$ . Aus diesem Mittelwert können Sie mit den gemessenen  $L_{12}$  und  $l_{12}$  den Plattenabstand  $d_{12}$  bestimmen (nach welcher Formel?). Vergleichen Sie den so erhaltenen Wert mit dem der direkten Messung von  $d_{12}$  an der Röhre.
8. Bestimmen Sie ebenso aus dem Mittelwert der drei Produkte  $U_B \cdot k_{34}$  und den

<sup>3</sup>Abbildung entnommen von <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/kind/E3.pdf> Seite 10 am 22.08.2014

gemessenen  $L_{34}$  und  $l_{34}$  den Plattenabstand  $d_{34}$ . Vergleichen Sie auch diesen Wert mit dem der direkten Messung von  $d_{34}$ .

9. Diskutieren Sie die Fehler, mit denen Ihre Messungen behaftet sind.

(b) Ablenkung im transversalen Magnetfeld

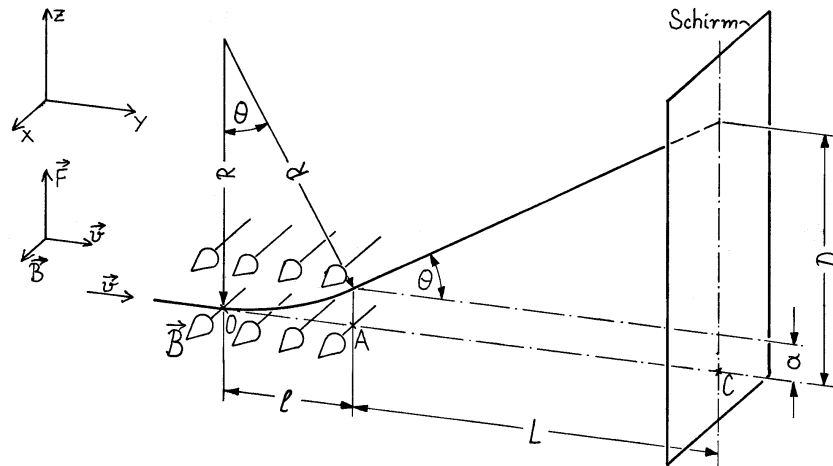


Abbildung 4: Skizze für die Ablenkung der Elektronen durch das B-Feld<sup>4</sup>

Im Folgenden wird anstatt  $D$  auch  $S_S$  verwendet

10. Die Röhre wird betrieben wie in (a). Die Ablenkplatten werden nicht benutzt, werden aber an die Anode (G245) angeschlossen. So wird eine statische Aufladung der Platten verhindert, die eine ungewollte Ablenkung zur Folge haben kann. Da Sie im weiteren Verlauf des Versuchs keine Ablenkspannungen  $U_{12}$  und  $U_{34}$  mehr benötigen, schalten Sie bitte den 90-V-Batterieblock ab (entfernen sie den Drahtbügel an der Seite des Steuerkastens.) Die beiden Spulen sind in Serie geschaltet, so daß sich die beiden Magnetfelder addieren. Gemessen wird die an den Spulen angelegte Spannung  $U_S$ . Sie ist proportional zum Strom, der durch die Spulen fließt, und damit proportional zum Magnetfeld.
11. Messen Sie die Strahlablenkung  $S_S$  als Funktion der Spulenspannung  $U_S$  für feste Beschleunigungsspannung  $U_B$  und stellen Sie die Messung graphisch dar.
12. Wiederholen Sie die Messung und graphische Darstellung für zwei andere Beschleunigungsspannungen.
13. Sie erwarten Ursprungsgeraden  $S_S = k_S \cdot U_S$  (wieso?). Bestimmen Sie die drei Steigungen  $k_S$ . Berechnen Sie für jedes  $k_S$  das entsprechende Produkt  $k_S \cdot \sqrt{U_B}$ . Vergleichen Sie diese drei Produkte miteinander. Was erwarten Sie (warum?) .

<sup>4</sup>Abbildung entnommen von <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/kind/E3.pdf> Seite 5 am 22.08.2014

(c) Erdmagnetfeld

14. In (a) und (b) haben Sie beobachtet, daß bei Abwesenheit von ablenkenden Feldern die Lage des Punktes sich ändert, wenn die Beschleunigungsspannung geändert wird. Ein Grund für diesen Effekt ist das Erdmagnetfeld. Versuchen Sie, durch Markierung mit einem Fettstift auf dem Schirm eine Orientierung der Röhre zu finden, für die keine Ablenkung auftritt. Wie ist in dieser Lage die Beziehung zwischen Achsenrichtung (Elektronenstrahl) und Richtung des Magnetfeldes der Erde?
15. Versuchen Sie jetzt, eine Orientierung zu finden, für die die Ablenkung ein Maximum hat. Bestimmen Sie die Richtung und Stärke des Magnetfeldes. Beachten Sie, daß in diesem Fall  $l$  die gesamte Länge zwischen Anode und dem Schirm ist und  $L = 0$ . Die Elektroden der jetzt verwendeten Röhren sind teilweise aus unmagnetischem Material. Für  $l$  sollten Sie daher die Strecke mindestens von G4 zum Schirm ansetzen (bei ferromagnetischen Ablenkplatten würde der Strahl magnetisch abgeschirmt und für  $l$  wäre der Abstand von G5 zum Schirm anzusetzen). Vergleichen Sie Ihre Bestimmung von Größe und Richtung des Erdmagnetfeldes mit Literaturwerten.

### 3.2 Theoretische Durchführung

6. Der Fehler von  $U \cdot k$  ist:

$$\sigma_U = \sqrt{(U\sigma_k)^2 + (k\sigma_U)^2} \quad (1)$$

7. Der Mittelwert ist:

$$M = \frac{(U_B k)_1 + (U_B k)_2 + (U_B k)_3}{3} \quad (2)$$

Der Fehler auf den Mittelwert ist:

$$\sigma_M = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{(U_B k)_1}}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(U_B k)_2}}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(U_B k)_3}}{3}\right)^2} \quad (3)$$

Der Plattenabstand  $d$  berechnet sich nach der Formel:

$$d = \frac{Ll}{2U_B k} \quad (4)$$

(wobei  $\tan(\theta) \simeq \frac{S}{L}$  nur für  $L \gg S$  gilt.)

Mit dem Fehler:

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{l}{2U_B k}\sigma_L\right)^2 + \left(\frac{L}{2U_B k}\sigma_l\right)^2 + \left(\frac{Ll}{2(U_B k)^2}\sigma_{U_B k}\right)^2} \quad (5)$$

8. Berechnung der Werte analog zu 7.
13. Da die magnetische Flussdichte proportional zur Spulenspannung  $U_S$  und  $k$  die Steigung der Geraden vom Plot von  $U_S$  gegen  $S_S$  ist, erwarten wir, dass das Produkt  $k \cdot \sqrt{U_B}$  nach folgender Formel konstant ist:

$$S_S = \frac{leB}{\sqrt{2emU_B}} \left( L + \frac{1}{2}l \right) \quad (6)$$

Diese Formel gilt jedoch nur für kleine Auslenkwinkel  $\theta$ . Der Fehler von  $\sqrt{U_B} \cdot k$  ist:

$$\sigma_{\sqrt{U_B}k} = \sqrt{\left( \frac{k}{2\sqrt{U_B}} \sigma_{U_B} \right)^2 + \left( \sqrt{U_B} \sigma_k \right)^2} \quad (7)$$

15. Die Formel zur Berechnung des B-Feldes ist:

$$B = \frac{2S_S \sqrt{2m_e U_B}}{l^2 \sqrt{e}} \quad (8)$$

Mit einem Fehler von:

$$\sigma_B = \sqrt{\left( \frac{2\sqrt{2m_e U_B}}{l^2 \sqrt{e}} \sigma_{S_S} \right)^2 + \left( \frac{S_S \sqrt{2m_e}}{l^2 \sqrt{e U_B}} \sigma_{U_B} \right)^2 + \left( \frac{4S_S \sqrt{2m_e U_B}}{l^3 \sqrt{e}} \sigma_l \right)^2} \quad (9)$$

## 4 Messergebnisse

Tabelle 1: Abstände der einzelnen Komponenten

Bezeichnung	Längen/mm	Fehler/mm	Bezeichnung	Längen/mm	Fehler/mm
L_12	75	3	L_34	113	3
l_12	35	2	l_34	35	2
d_12	3,5	1,5	d_34	3,5	1,5

## 4.1 elektrisches Feld

### 4.1.1 X-Achsenauslenkung

Tabelle 2: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1130V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-5,8	0,2	-20	0,06
-3,6	0,2	-12	0,06
-2,4	0,2	-8	0,06
-1,2	0,2	-4	0,06
0	0,2	0	0,06
1,4	0,2	5	0,06
3	0,2	10	0,06
4,3	0,2	15	0,06
5,7	0,2	20	0,06

Tabelle 3: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1350V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-4,9	0,2	-20	0,06
-2,5	0,2	-10	0,06
0	0,2	0	0,06
2,5	0,2	10	0,06
4,9	0,2	20	0,06



Tabelle 4: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 475V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-14,8	0,2	-20	0,06
-7,6	0,2	-10	0,06
0	0,2	0	0,06
7	0,2	10	0,06
14,3	0,2	20	0,06

#### 4.1.2 Y-Achsenauslenkung

Tabelle 5: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1130V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-14,8	0,2	-20	0,06
-11,3	0,2	-15	0,06
-7,5	0,2	-10	0,06
-3,85	0,2	-5	0,06
0	0,2	0	0,06
3,8	0,2	5	0,06
7,7	0,2	10	0,06
11,6	0,2	15	0,06
15	0,2	20	0,06

Tabelle 6: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1150V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-15,1	0,2	-20	0,06
-11,1	0,2	-15	0,06
-7,5	0,2	-10	0,06
-3,9	0,2	-5	0,06
0	0,2	0	0,06
3,9	0,2	5	0,06
7,9	0,2	10	0,06
12,2	0,2	15	0,06
16	0,2	20	0,06

Tabelle 7: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1325V

S_12/mm	Fehler/mm	U_D_12/V	Fehler/V
-12,9	0,2	-20	0,06
-9,8	0,2	-15	0,06
-6,45	0,2	-10	0,06
-2,8	0,2	-5	0,06
0	0,2	0	0,06
3	0,2	5	0,06
6,5	0,2	10	0,06
10,1	0,2	15	0,06
13,6	0,2	20	0,06

## 4.2 magnetisches Feld

Tabelle 8: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1100V

S_12/mm	Fehler/mm	U_S/V	Fehler/V
0	0,4	0	0,006
3,5	0,4	0,5	0,006
6	0,4	1	0,006
9,7	0,4	1,5	0,006
13,1	0,4	2	0,006

Tabelle 9: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 1180V

S_12/mm	Fehler/mm	U_S/V	Fehler/V
0	0,4	0	0,006
6,1	0,4	1	0,006
8,5	0,4	1,5	0,006
12,2	0,4	2	0,006
16,9	0,4	3	0,006

Tabelle 10: Daten der Messung für eine Beschleunigungsspannung von 350V

S_12/mm	Fehler/mm	U_S/V	Fehler/V
0	0,4	0	0,006
3,8	0,4	0,3	0,006
7	0,4	0,5	0,006
9,4	0,4	0,7	0,006
12,4	0,4	1	0,006

## 5 Auswertung

### 5.1 elektrisches Feld

Für die Ablenkung der Kathodenstrahlen entlang der X-Achse ergaben sich die folgenden Plots:

Für eine Beschleunigungsspannung von 1130V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,290(\pm 0,002)x - 0,038(\pm 0,02)$ , mit einem  $\chi^2$  von 0,122845.

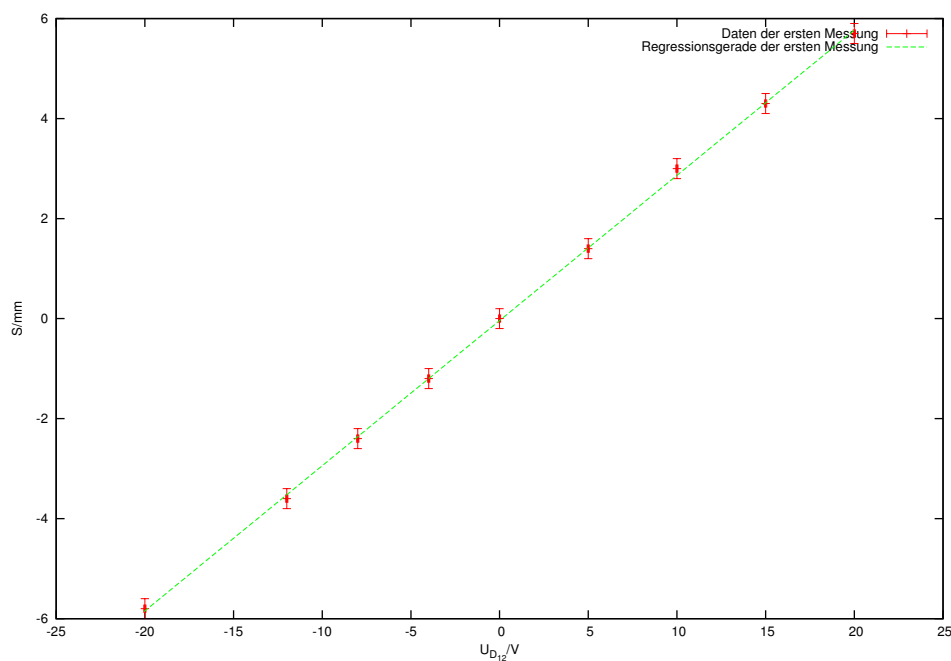


Abbildung 5: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 1130V Beschleunigungsspannung

Für eine Beschleunigungsspannung von 1350V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,246(\pm 0,001)x + 2,13E-013(\pm 0,01)$ , mit einem  $\chi^2$  von  $0,0\bar{3}$ .

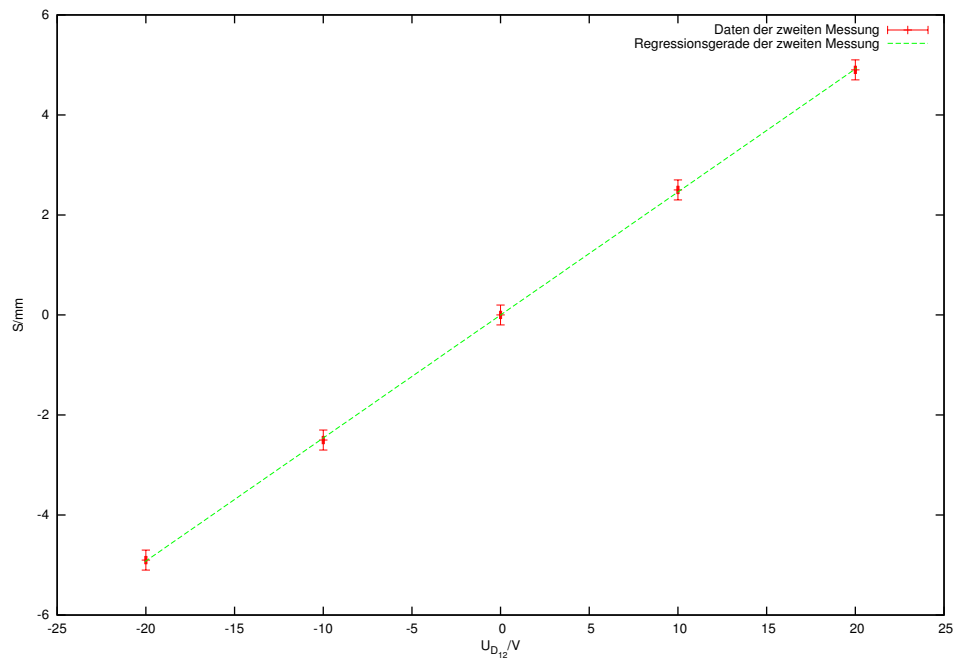


Abbildung 6: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 1350V Beschleunigungsspannung

Für eine Beschleunigungsspannung von 475V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,728(\pm 0,005)x - 0,22(\pm 0,07)$ , mit einem  $\chi^2$  von  $0,5\bar{3}$ .

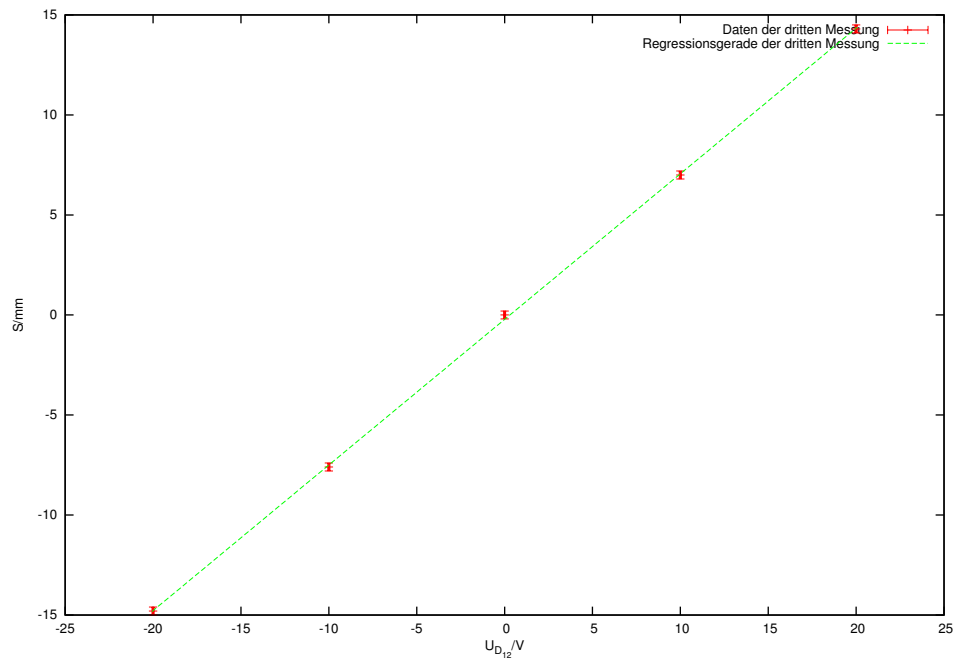


Abbildung 7: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 475V Beschleunigungsspannung

Für die Auslenkung in Y-Achsenrichtung ergaben sich die folgenden Plots:

Für eine Beschleunigungsspannung von 1130V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,753(\pm 0,004)x + 0,07(\pm 0,05)$ , mit einem  $\chi^2$  von 0,555407.

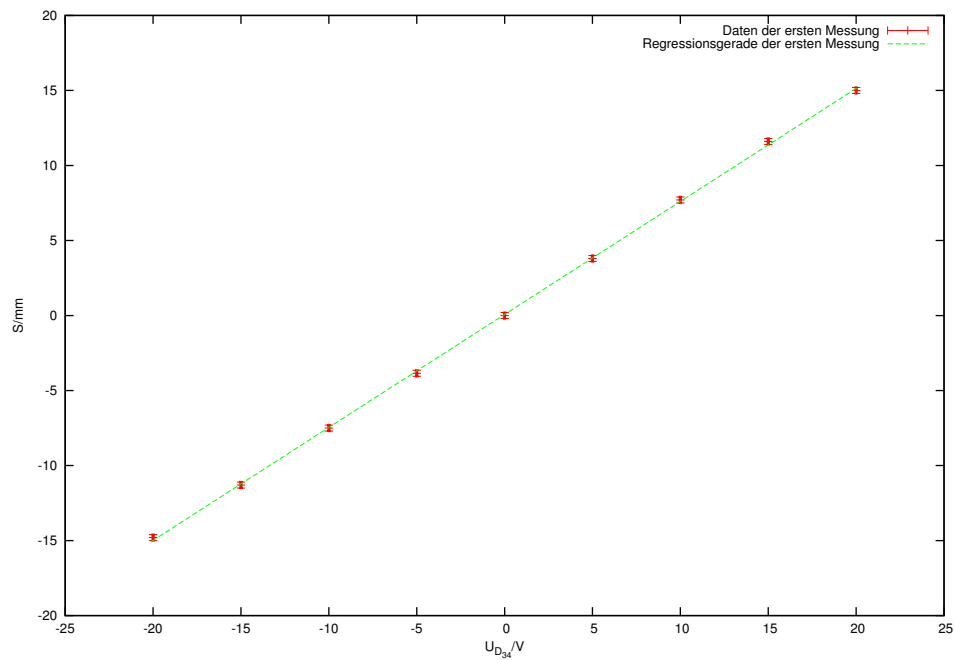


Abbildung 8: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 1130V Beschleunigungsspannung

Für eine Beschleunigungsspannung von 1150V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,776(\pm 0,007)x + 0,27(\pm 0,09)$ , mit einem  $\chi^2$  von 1,64226.

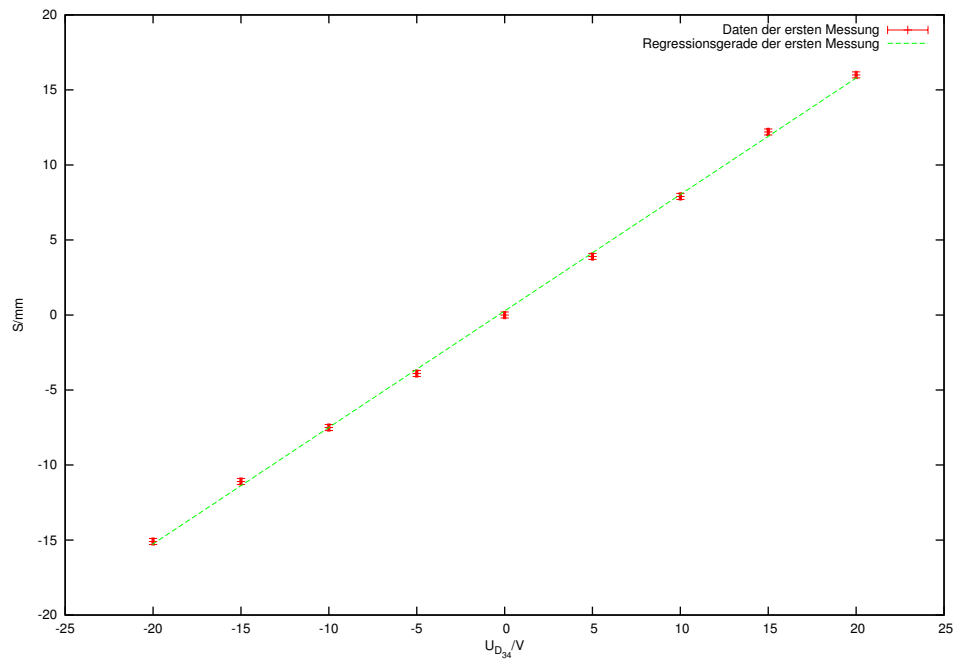


Abbildung 9: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 1150V Beschleunigungsspannung



Für eine Beschleunigungsspannung von 1325V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=0,658(\pm 0,007)x + 0,14(\pm 0,09)$ , mit einem  $\chi^2$  von 1.76032.

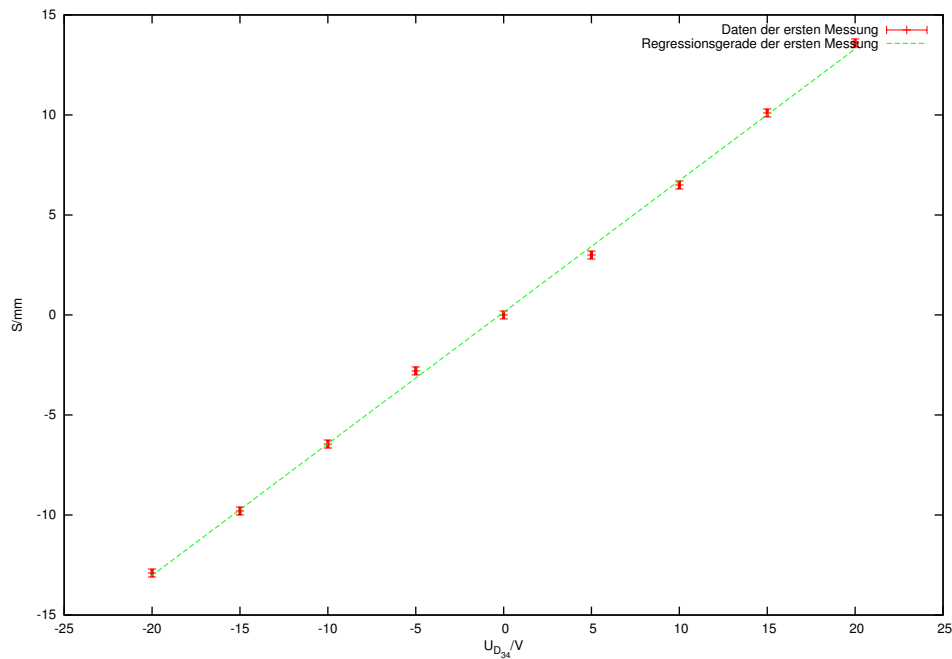


Abbildung 10: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Ablenkungsspannung, bei 1325V Beschleunigungsspannung

Für  $U_B \cdot k$  ergab sich der Mittelwert 335 ( $\pm 11$ ) mm für die X-Achsenauslenkung und ein Wert von 872 ( $\pm 21$ ) mm Y-Achsenauslenkung (siehe Gleichung 2 und Gleichung 3 für den Fehler). Daraus ergeben sich mit Gleichung 4 und Gleichung 5 für den Fehler die Abstände der Platten jeweils mit 3,9 ( $\pm 0,3$ ) mm und 2,3 ( $\pm 0,2$ ), der gemessene Wert liegt zwischen 2-5 mm, aufgrund der Biegung der Plättchen.

Die Messung wurde durch mehrere Faktoren beeinflusst. Dazu gehören das Erdmagnetfeld, unsere eigenen EM-Felder, die EM-Felder, die von den Geräten (Computer, Netzgeräte,...) ausgesendet wurden, als auch statische Aufladungen.

## 5.2 magnetisches Feld

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit zwischen der Auslenkung und der Stärke des Magnetfeldes (hier ist das Magnetfeld abhängig von der Spulenspannung  $U_S$ ) ergaben sich die folgenden Plots.

Für eine Beschleunigungsspannung von 1100V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x) = 6,5(\pm 0,2)x - 0,02(\pm 0,25)$ , mit einem  $\chi^2$  von 0,65833.

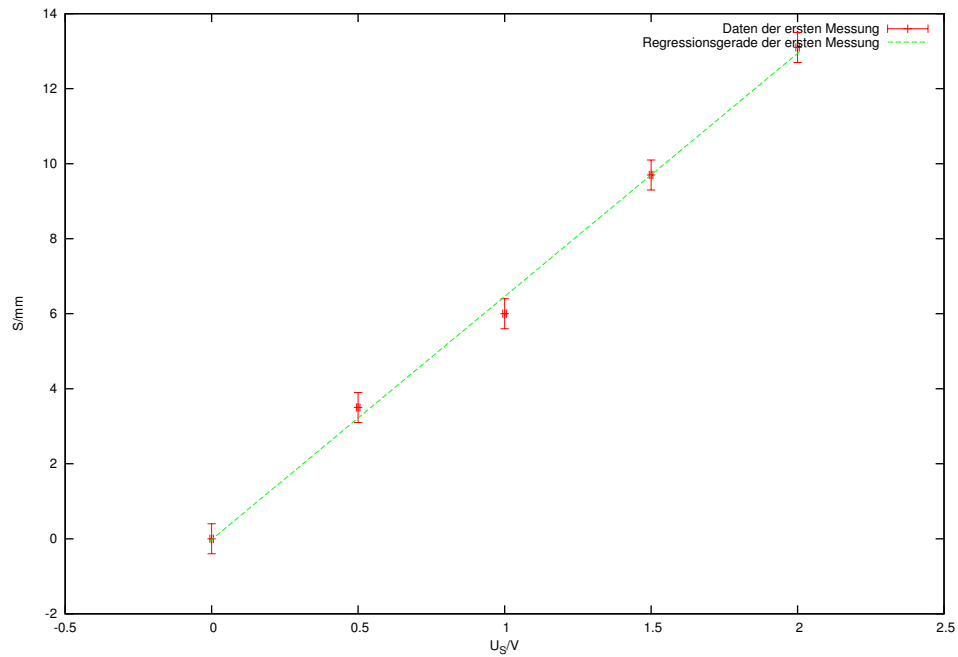


Abbildung 11: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Spulenspannung, bei 1100V Beschleunigungsspannung

Für eine Beschleunigungsspannung von 1180V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=5,5(\pm 0,2)x - 0,2(\pm 0,4)$ , mit einem  $\chi^2$  von 1,375.

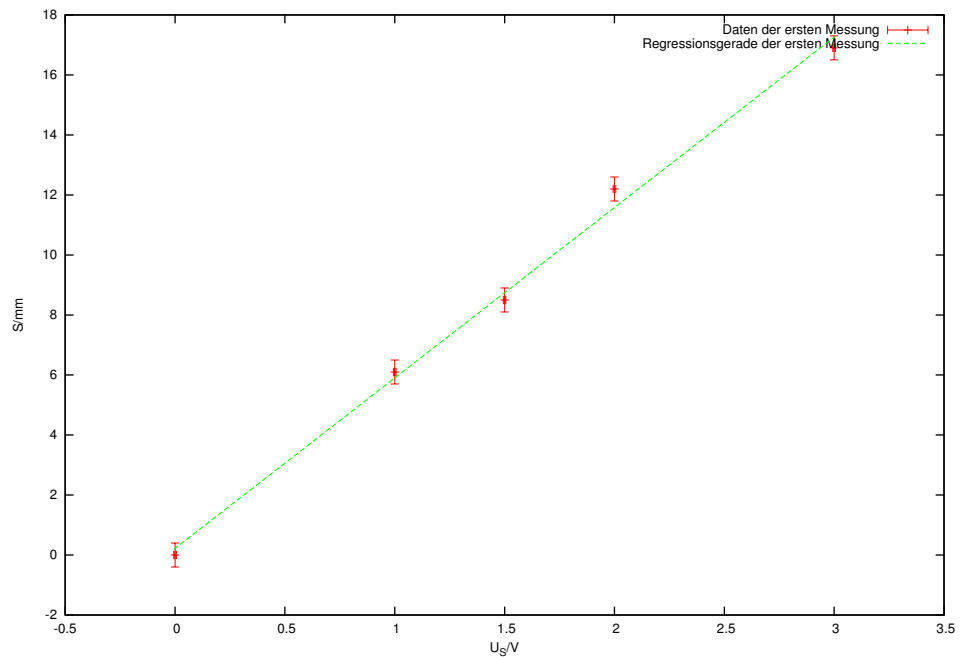


Abbildung 12: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Spulenspannung, bei 1180V Beschleunigungsspannung

Für eine Beschleunigungsspannung von 350V ergab sich die Regressionsgerade mit  $f(x)=12,6(\pm 0,6)x - 0,2(\pm 0,4)$ , mit einem  $\chi^2$  von 1.30115.

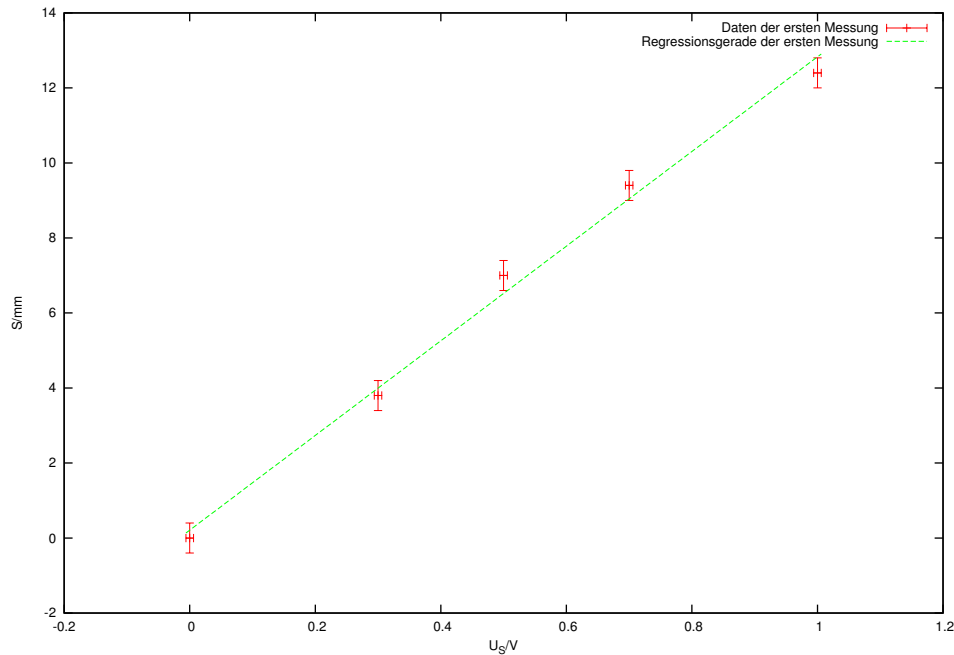


Abbildung 13: Plot der Auslenkung in Abhängigkeit der Spulenspannung, bei 350V Beschleunigungsspannung

Für  $k_s \cdot \sqrt{U_B}$  (vgl. Gleichung 6 und Gleichung 7 für den Fehler) ergab sich bei einer Spannung von 1100V ein Wert von  $223 (\pm 6) \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{V}}}$ , bei 1180V ein Wert von  $189 (\pm 7) \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{V}}}$  und ein Wert von  $236 (\pm 12) \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{V}}}$  für eine Spannung von 350V. Der erste und der letzte Wert liegen innerhalb des Sigma zwei Intervalls der zweite Wert jedoch liegt sehr weit weg von den anderen beiden. Erwartet wurde, dass die drei Werte im Idealfall gleich sind. Die Messung wurde durch mehrere Faktoren beeinflusst. Dazu gehören das Erdmagnetfeld, unsere eigenen EM-Felder, die EM-Felder, die von den Geräten (Computer, Netzgeräte,...) ausgesendet wurden, als auch statische Aufladungen.

### 5.3 Erdmagnetfeld

Bei der Bestimmung des Erdmagnetfeldes nach Gleichung 8 und der Fehler nach Gleichung 9 ergab sich ein Wert von  $7,4\text{E-}005 (\pm 1\text{E} - 005) \text{ T}$ , der Literaturwert liegt bei  $4,8\text{E-}005 \text{ T}$ .

## 6 Diskussion

Im der ersten Aufgabe des Versuchsteils (a) war es schwierig die Abstände der Ablenkplatten 1 und 2 sowie der Ablenkplatten 3 und 4 ( $d_{12}$  und  $d_{34}$ ) zu bestimmen, da der zu vermessende Bereich durch lackiertes Glas verdeckt war.

Während der 6 Messungen mit verschiedenen Ablenkspannungen gab es keine Probleme, wobei auffiel, dass die linearen Fits bei zu großen als auch bei sehr kleinen Beschleunigungsspannungen schlechter wurden. Dies liegt einerseits daran, dass die gemessene Auslenkung bei großer Beschleunigungsspannung insgesamt kleiner war, sodass die Messfehler einen größeren Anteil an den Messwerten hatten, und andererseits an dem linearen Zusammenhang zwischen Auslenkung und Ablenkspannung, der nur für kleine Winkel  $\theta$  gilt ( $L \gg S$ ). Ebenso fällt auf, dass die Messungen in X-Achsenrichtung im Vergleich zu den Messungen in Y-Achsenrichtung besser zu dem Fit einer Geraden passen. Der Unterschied begründet sich einerseits durch die Ausrichtung des Erdmagnetfeldes, als auch dadurch, dass wir bei diesen Messungen mehrmals das Millimeterpapier berührt haben, und sich der Leuchtpunkt leicht verschoben hat. An Formel 4 sieht man leicht, dass das Produkt  $U_B \cdot k$  konstant sein sollte, was sich auch aus den Messungen ergab. Für den Plattenabstand nach Formel 4 ergab sich in X-Richtung ein größerer Wert als in Y-Richtung, wobei beide Werte innerhalb der in der Versuchsbeschreibung angegebenen 2-5 mm lagen.

Für den Aufgabenteil (b) mussten wir die Spulenspannung variieren und sie gegen die Auslenkung auftragen und linear fitten. Während des Versuches fiel uns auf, dass der Leuchtpunkt sich während der Messungen etwas verschob, wenn man das Millimeterpapier berührte. Der Elektronenstrahl konnte bei dieser Messung auch nur in eine Richtung ausgelenkt werden, sodass sich der Leuchtpunkt auf dem Schirm mit dem Abstand zur Mitte verformte. Deshalb haben wir doppelte Ablesefehler angenommen. Es ergaben sich wie erwartet (Formel 6) näherungsweise Ursprungsgeraden. Für  $k_s \cdot \sqrt{U_B}$  erwarten wir nach Formel 6 eine Konstante. Unsere gemessenen Werte für 1100 und 350 V Beschleunigungsspannung liegen im Vergleich zum dritten Wert noch innerhalb des Sigma zwei Intervalls, wobei der Wert für 1180 V deutlich von den anderen abweicht. Dies unterstreicht die im Vergleich zu Aufgabenteil (a) angesprochenen Schwierigkeiten bei der Messung, sowie zusätzliche Probleme bei der Fokussierung des Lichtpunktes auf dem Schirm. Wie auch bei den Messungen in Aufgabenteil (a) kommt hinzu, dass äußere Felder Einfluß auf unsere Messungen hatten. Insgesamt waren die Abstände in Aufgabenteil (b) schwieriger zu bestimmen als in (a).

Im letzten Aufgabenteil sollten wir das Erdmagnetfeld ausmessen. Obwohl der Punkt, an dem die Auslenkung verschwand, sowie der Punkt der Maximalen Auslenkung schnell gefunden war, ist mit größeren Messfehlern zu rechnen, da die Oszillographenröhre manuell gekippt werden musste und das Anzeichnen der Auslenkung dadurch schwieriger verlief (im Fall minimaler Auslenkung ist das Magnetfeld der Erde Parallel zum Elektronenstrahl). Wir mussten deshalb bei der Messung unsere Fehler größer wählen als in den Aufgaben davor. Trotzdem ist der Literaturwert von unserer Messung mehr als zwei Sigma entfernt. Das liegt daran, dass unsere Messwerte nicht nur bei der Vermessung der Auslenkung, sondern auch bei der Messung des Abstandes vom Schirm zur Anode,

welcher an einer anderen Oszillographenröhre abgeschätzt werden musste, sehr ungenau waren. Der Abstand vom Schirm zur Anode geht zu Ungunsten der Messgenauigkeit sogar quadratisch in die Berechnung des B-Feldes ein. Die letzte Messung wurde, da die Strecke, auf der der Elektronenstrahl abgelenkt wurde, länger war als in den Aufgaben davor, stärker durch äußere Einflüsse verfälscht.

Zusammenfassend wurde in den meisten Fällen der erwartete Zusammenhang bestätigt. Genaue Messwerte konnten meistens bedingt durch Komplikationen bei den Messungen nicht erreicht werden.