

# Versuch E12 - 624568

Date: 2023-06-05

Tags: E12

Created by: Samuel Brinkmann

## Versuch E12

	Matrikelnummer
Person 1:	624568
Person 2:	626758

**Beachten Sie:** Das Formelzeichen  $k$  wird für zwei verschiedene Größen genutzt.

- Koeffizient  $k$  für  $B(l) = k \cdot I$
- Kantenlänge des Quadrats auf dem Leuchtschirm

**Beachten Sie:** Das Formelzeichen  $e$  wird für zwei verschiedene Größen genutzt.

- Elementarladung
- Auslenkung des Elektronenstrahls auf dem Leuchtschirm

Beachten Sie weiterhin: Der Übersichtlichkeit halber gibt es keine separaten Felder für die Unsicherheiten. Diese müssen aber für alle gemessenen und berechneten Werte angegeben werden.

## 0. Rohdaten und Auswertung

Aufgabe 2 - Koeffizient  $k$  für  $B(l) = k \cdot I$

Tabelle 1 Geräte Spezifikationen

physikalische Größe mit Einheit	Werte
$\mu_0$ in $N \cdot A^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Windungszahl $N$ der Helmholtz-Spule (Anleitung)	320
Durchmesser $D$ der Helmholtz-Spule in mm (Anleitung)	136
$k$ in $mT \cdot A^{-1}$ (berechnet mit Formel (10) der Anleitung)	2.1157089072310897
$k$ in $mT \cdot A^{-1}$ (aus Datenblatt)	$2.19 \pm 0.01$

#### Aufgabe 4 - versuchsrelevante Größen

### Tabelle 2 weitere versuchsrelevante Größen

physikalische Größe mit Einheit	Werte
Verschiebung 3kV/4kV/5kV der 0mm in mm	1
Kantenlänge des Quadrats \$k\$ in mm (Anleitung)	$80.0 \pm 0.5$
.....	.....
.....	.....
.....	.....

### Aufgabe 5 - Vermessen des Magnetfeldes der Helmholtz-Spule

Tabelle 3 [nicht relevant]

[illegible]

.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

### Aufgabe 6 - Messungen der Elektronenkreisbahn der Thomson-Röhre

Tabelle 4 Messergebnisse für die Berechnung der Elektronenkreisbahn der Thomson-Röhre

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Auslenkung $e$ des Strahls auf dem Leuchtschirm in mm	Auslenkung $e_{\text{korr}}$ des Strahls auf dem Leuchtschirm in mm (Null-Verschiebung rausgerechnet)	Radius $r$ des Elektronenstrahls in m	Stromstärke $I$ mit dem das Magnetfeld der Spulen betrieben wird in A	magnetische Flussdichte $B$ der Helmholtz-Spule im T
3000	30	29	0,1003953	0,760	0,0016644
3000	28	27	0,09511253	0,792	0,00173448
3000	26	25	0,09031682	0,840	0,0018396
3000	24	23	0,08595689	0,886	0,00194034
3000	22	21	0,08198843	0,933	0,00204327
3000	20	19	0,07837293	0,979	0,00214401
3000	18	17	0,07507678	1,021	0,00223599
3000	16	15	0,0720705	1,058	0,00231702
3000	14	13	0,06932813	1,113	0,00243747
3000	12	11	0,06682671	1,166	0,00255354
3000	10	9	0,0645459	1,219	0,00266961
4000	30	29	0,1003953	0,873	0,00191187
4000	28	27	0,09511253	0,921	0,00201699
4000	26	25	0,09031682	0,973	0,00213087
4000	24	23	0,08595689	1,024	0,00224256
4000	22	21	0,08198843	1,078	0,00236082
4000	20	19	0,07837293	1,133	0,00248127
4000	18	17	0,07507678	1,187	0,00259953
4000	16	15	0,0720705	1,232	0,00269808
4000	14	13	0,06932813	1,291	0,00282729
4000	12	11	0,06682671	1,342	0,00293898
4000	10	9	0,0645459	1,401	0,00306819

5000	30	29	0,1003953	0,988	0,00216372
5000	28	27	0,09511253	1,055	0,00231045
5000	26	25	0,09031682	1,111	0,00243309
5000	24	23	0,08595689	1,165	0,00255135
5000	22	21	0,08198843	1,228	0,00268932
5000	20	19	0,07837293	1,281	0,00280539
5000	18	17	0,07507678	1,349	0,00295431
5000	16	15	0,0720705	1,404	0,00307476
5000	14	13	0,06932813	1,475	0,00323025
5000	12	11	0,06682671	1,528	0,00334632
5000	10	9	0,0645459	1,594	0,00349086

korrigierter Auslenkungsstrahl  $e_{\text{kor}} = e - 1\text{mm}$  (siehe Tabelle 2)

Radius  $r$  berechnet mit Formel (7) des Protokolls mit den korrigierten Werten  $e_{\text{kor}}$

magnetische Flussdichte  $B = k \cdot I$  mit  $k$  aus dem Datenblatt (siehe Tabelle 1)

Unsicherheit Auslenkungsstrahl  $u_e = u_{e_{\text{kor}}} = 1\text{mm} + 0.5\text{mm}$  (Anzeigegenauigkeit + Strahldicke)

Unsicherheit Beschleunigungsspannung  $u_{U_A} = 2.5\% \cdot U_A + 0.1\text{V}$  (Geräteklasse + Anzeigegenauigkeit)

Unsicherheit Stromstärke  $u_I = 1.5\% \cdot I + 0.0005\text{A}$  (Geräteinformationen)

Unsicherheit magnetische Flussdichte  $u_B = \sqrt{(I \cdot u_k)^2 + (k \cdot u_I)^2}$  (Gauß'sche Fehlerfortpflanzung mit  $k$  sowie  $u_k$  aus dem Datenblatt)

### Aufgabe 7 - Messungen nach der Kompensationsmethode

Tabelle 5 Messergebnisse der Kompensationsmethode

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Kompensationsspannung $U_k$ am Plattenkondensator in V	Stromstärke $I$ mit dem das Magnetfeld der Spulen betrieben wird in A	magnetische Flussdichte $B$ der Helmholtz- Spule im T
3000	89,01	0,145	0,00031755
3000	180,20	0,302	0,00066138
3000	254,75	0,445	0,00097455
3000	343,89	0,612	0,00134028
3000	409,2	0,750	0,0016425
3000	484,9	0,894	0,00195786
3000	517,5	0,954	0,00208926

3000	308,88	0,553	0,00121107
3000	221,12	0,383	0,00083877
3000	121,49	0,191	0,00041829
3000	49,95	0,075	0,00016425
4000	49,89	0,071	0,00015549
4000	90,11	0,123	0,00026937
4000	120,54	0,174	0,00038106
4000	180,58	0,247	0,00054093
4000	220,28	0,315	0,00068985
4000	256,25	0,375	0,00082125
4000	313,23	0,465	0,00101835
4000	345,47	0,534	0,00116946
4000	416,6	0,647	0,00141693
4000	486,8	0,765	0,00167535
4000	517,8	0,812	0,00177828
5000	517,8	0,691	0,00151329
5000	487,3	0,647	0,00141693
5000	419,3	0,549	0,00120231
5000	355,54	0,463	0,00101397
5000	310,74	0,400	0,000876
5000	263,06	0,326	0,00071394
5000	221,83	0,270	0,0005913
5000	180,47	0,208	0,00045552
5000	120,16	0,139	0,00030441
5000	90,17	0,105	0,00022995
5000	50,90	0,059	0,00012921

magnetische Flussdichte  $B = k \cdot I$  mit  $k$  aus dem Datenblatt (siehe Tabelle 1)

Unsicherheit Beschleunigungsspannung  $u_{U_A} = 2.5\% \cdot U_A + 0.1V$  (Gerätekategorie + Anzeigegenauigkeit)

Unsicherheit Stromstärke  $u_I = 1.5\% \cdot I + 0.0005A$  (Geräteinformationen)

Unsicherheit Kompensationsspannung  $u_{U_K} = 0,05\% \cdot U_K + 0.1V$  (Geräteinformationen)

Unsicherheit magnetische Flussdichte  $u_B = \sqrt{(I \cdot u_k)^2 + (k \cdot u_I)^2}$  (Gauß'sche Fehlerfortpflanzung mit  $k$  sowie  $u_k$  aus dem Datenblatt)

## Aufgabe 8 - Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektronen

Tabelle 6 Ergebnisse für die Geschwindigkeit der Elektronen (verwendete Messwerte aus Tabelle 5)

Beschleunigungsspannung $U_A$ der Elektronen in V	Geschwindigkeit $v$ der Elektronen nach durchlaufen der Beschleunigungsspannung in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Verhältnis der Geschwindigkeit $v$ der Elektronen zu Vakuumlichtgeschwindigkeit $c$ (einheitenlos)
3000	$33,000,000 \pm 2,300,000$	$0.110 \pm 0.008$
4000	$38,700,000 \pm 2,600,000$	$0.129 \pm 0.009$
5000	$45,800,000 \pm 3,000,000$	$0.153 \pm 0.011$

### 1. Theorie

Elektrische Ladungen werden in elektrischen und magnetischen Feldern Kräften ausgesetzt. Dabei wirkt auf eine elektrische Ladung im elektrischen Feld die Kraft

$$\vec{F}_C = -e \cdot \vec{E} \quad (1)$$

und auf eine bewegte Ladung im magnetischen Feld die Kraft Lorentz-Kraft

$$\vec{F}_L = -e \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (2).$$

Wird nun die Bewegung eines Elektrons im magnetischen Feld bzw. in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feld beobachtet, lässt sich die spezifische Ladung

$$\frac{e}{m}$$

des Elektrons bestimmen. Dabei ist  $e$  die Elementarladung und  $m$  die Masse des Elektrons.

Hier werden nun ein homogenes elektrisches Feld und ein homogenes magnetische Feld genutzt. Ein homogenes elektrisches Feld

$$\vec{E}$$

wird näherungsweise in einem Plattenkondensator erzeugt. Damit vereinfacht sich die in Gleichung (1) angegebene Kraft dem Betrage nach bei Benutzung der am Plattenkondensator angelegten Spannung  $U$  auf

$$E = \frac{U}{d} \quad (3).$$

Für ein homogenes Magnetfeld kann eine Helmholtz-Spule genutzt werden. Die magnetische Flussdichte

$$\vec{B}$$

ist in einem engen Bereich homogen und lässt sich aus der Stromstärke  $I$  berechnen zu

$$B(I) = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{2 \cdot R} \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4).$$

Werden Elektronen nach dem Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung  $U_A$  in ein homogenes Feld senkrecht

zu der Richtung der magnetischen Flussdichte mit Betrag  $B$  geleitet, werden diese durch die Lorentz-Kraft auf eine Kreisbahn mit dem Radius  $r$  abgelenkt. Der Radius ergibt sich zu

$$r(B) = \sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}} \cdot \frac{1}{B} \quad (5).$$

Dabei hängt die Geschwindigkeit wie folgt von der Beschleunigungsspannung ab:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A} \quad (6).$$

In dem hier verwendeten Aufbau wird nur ein Teil des Kreises der Elektronenbahn sichtbar. Daher wird der Radius über die Auslenkung des Elektronenstrahls  $e$  auf einen Leuchtschirm der Kantenlänge  $k$  (siehe Skizze in Abb. 1) bestimmt durch

$$r = \frac{k^2 + e^2}{\sqrt{2} \cdot (k - e)} \quad (7).$$

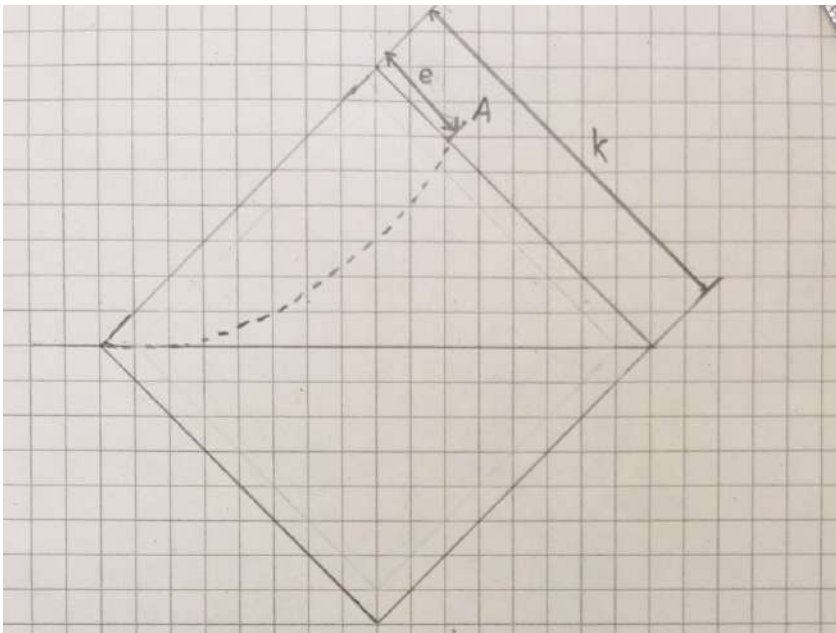


Abb.1: Skizze Leuchtschirm (Quadrat) mit Elektronenstrahl (gestrichelte Linie), Auslenkung  $e$ , Austrittspunkt  $A$  und Kantenlänge  $k$ .

Werden Elektronen nach dem Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung  $U_A$  nun in ein homogenes Feld senkrecht zu der Richtung der magnetischen Flussdichte mit Betrag  $B$  und einem elektrischen Feld eines Plattenkondensators mit senkrecht dazu gerichtetem elektrischen Feld geleitet, so wird die Auslenkung durch das Magnetfeld kompensiert und der Wert der Kompensationsspannung  $U_K$ , welche am Plattenkondensator anliegt, ist bestimmt durch

$$U_K(B) = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A} \cdot d \cdot B \quad (8).$$

## 2. Aufbau

Abbildung 2 zeigt ein Foto des Aufbaus, auf dem die Messplatznummer zu sehen ist und die einzelnen Teile beschriftet sind.

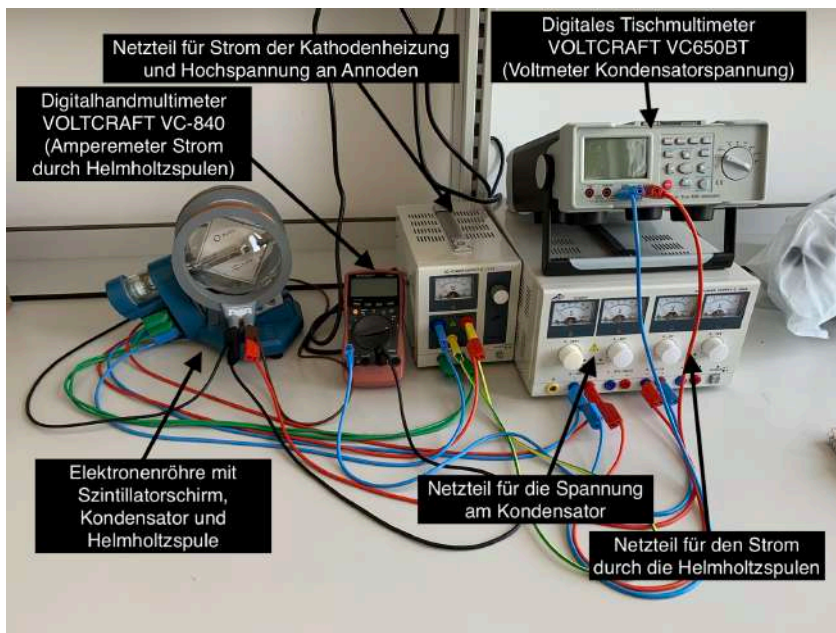


Abb.2: Versuchsaufbau mit Beschriftung der einzelnen Bestandteile

### 3. Auswertung

alle Plots wurden mit Hilfe des IMP-utils Bibliothek (<https://github.com/Priapos1004/IMP-utils>, version 1.4.2) in Python kreiert

#### Aufgabe 1

Der Kreisbahnradius wurde mit Formel (7) in Tabelle 4 aus den korrigierten Werten der Auslenkung des Elektronenstrahls berechnet, wobei sich nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung für die Unsicherheit die folgende Formel ergibt:

$$u_r = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}(k-e_{\text{kor}})}\left(2k - \frac{k^2+e_{\text{kor}}^2}{k-e_{\text{kor}}}\right)u_k\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}(k-e_{\text{kor}})}\left(2e_{\text{kor}} + \frac{k^2+e_{\text{kor}}^2}{k-e_{\text{kor}}}\right)u_{e_{\text{kor}}}\right)^2}.$$

Wenn man nun die relative Unsicherheit  $u_r/r$  betrachtet, bekommt man Werte zwischen 0.025 und 0.042 (also 2.5% bis 4.2%), was eine realistische Fehlerabschätzung ist.

#### Aufgabe 2

Nach Formel (10) aus der Versuchsanleitung gilt:

$$k = \mu_0 \cdot \frac{N}{2 \cdot R} \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}},$$

wobei wir die Windungszahl  $N = 320$  der Helmholtzspulen, den Radius  $R = D/2 = 136\text{mm}/2 = 78\text{mm}$  und  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{N} \cdot \text{A}^{-2}$  gegeben haben. Somit ergibt sich der Wert:

$$k \approx 2.1157089072310897 \text{mT} \cdot \text{A}^{-1}.$$

Da für  $N$ ,  $D$  und  $\mu_0$  keine Unsicherheiten angegeben wurden, kann auch keine für  $k$  bestimmt werden. Deswegen nehmen wir in allen Berechnungen in diesem Protokoll den Wert aus dem Datenblatt mit  $k = (2.19 \pm 0.01) \text{mT} \cdot \text{A}^{-1}$ .



## Aufgabe 5

Da die Messreihe aus Tabelle 3 nicht durchgeführt wurde, werden wir im folgenden den errechneten Wert aus Aufgabe 2 der Auswertung mit dem Wert von dem Referenzblatt vergleichen. Die Abweichung der Werte beträgt  $\sim 0.8 \text{ mTA}^{-1}$ , was deutlich größer (Faktor 8) als die Unsicherheit von dem Wert aus dem Referenzblatt ist. Dies kann mit der Vereinfachung des Modells durch die Betrachtung des Magnetfeldes als komplett homogen begründet werden. Zudem fehlt eine Unsicherheit bei dem errechneten Wert, wobei diese nicht groß genug wäre, damit sich die Unsicherheitsbereiche überschneiden würden.

## Aufgabe 6

In Abbildung 3 wird der Zusammenhang zwischen dem Bahnradius der Elektronen und dem reziproken Wert der Stromstärke bzw. der magnetischen Flussdichte für drei verschiedene Beschleunigungsspannungen zusammen mit einer Anpassung durch jeweils einer Ursprungsgeraden gezeigt.

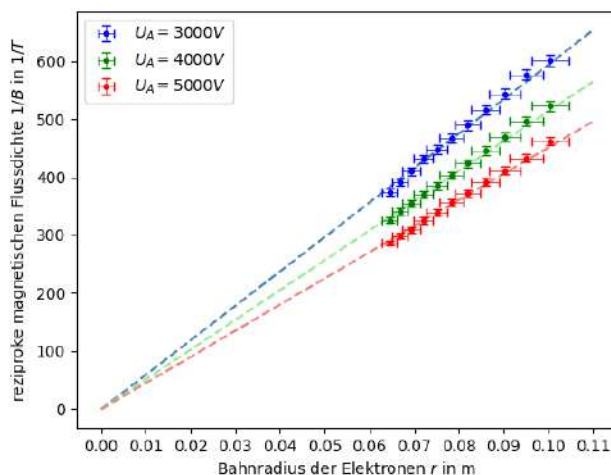


Abb.3: Messergebnisse aus Tabelle 4 als drei Graphen für die unterschiedlichen Spannungen mit Ursprungsgeraden als lineare Anpassung (gestrichelte Linien)

Die drei gewonnenen Ergebnisse sind anzugeben und auf innere Konsistenz zu prüfen und mit dem Referenzwert zu vergleichen.

Für die Berechnung der Unsicherheit von  $1/B$  wurde nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung die folgende Formel verwendet:

$$u_{1/B} = 1/B^2 \cdot u_B.$$

Steigungswerte  $m$  der linearen Anpassung  $g(r) = m \cdot r$  aus Abb.4:

$$m_{3000V} \approx 5934.454253113632 \text{ 1/Tm}$$

$$u_{m_{3000V}} \approx 64.90339089488998 \text{ 1/Tm}$$

$$m_{4000V} \approx 5130.482353486749 \text{ 1/Tm}$$

$$u_{m_{4000V}} \approx 56.071737158198026 \text{ 1/Tm}$$

$$m_{5000V} \approx 4506.95071801702 \text{ 1/Tm}$$

$$u_{m_{5000V}} \approx 49.22483776042616 \text{ 1/Tm}$$

Mit Formel (5) folgt der Zusammenhang:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}}} \cdot r,$$

was durch Koeffizientenvergleich mit der linearen Anpassung (Steigungswert  $m$  wird in  $m_S$  umbenannt, um Eindeutigkeit der Variablen zu gewähren) zu der folgenden Formel führt:

$$m_S = \frac{1}{\sqrt{\frac{2U_A}{\frac{e}{m}}}} \text{ bzw.}$$

$$\frac{e}{m} = 2U_A \cdot m_S^2.$$

Für die Unsicherheit gilt mit Gauß'scher Fehlerfortpflanzung:

$$u_{\frac{e}{m}} = \sqrt{(2m_S^2 \cdot u_{U_A})^2 + (4U_A m_S \cdot u_{m_S})^2}.$$

Als Ergebnisse erhalten wir

$$\frac{e}{m}_{3000V} = (211,000,000,000 \pm 8,000,000,000) C/kg,$$

$$\frac{e}{m}_{4000V} = (211,000,000,000 \pm 7,000,000,000) C/kg \text{ und}$$

$$\frac{e}{m}_{5000V} = (203,000,000,000 \pm 7,000,000,000) C/kg.$$

Der Referenzwert (<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>, Zugriff 11/06/23) von

$\frac{e}{m} = 175,882,001,076 C/kg$  liegt in keinem Unsicherheitsbereich für die unterschiedlichen Spannungen. Dies war zu erwarten, da in dieses Modell zum Einen die Vereinfachung eingeht, dass das Magnetfeld komplett homogen ist, was nur für einen bestimmten Teil des Feldes gilt (siehe Versuchsanleitung Formel (11)). Zum Anderen ist die Schuster-Methode (wie auch in der Versuchsanleitung beschrieben) nicht sehr genau, da wir einen Strahl mit einer Breite in mm auf einer Skala im mm-Bereich messen. Trotzdem sind die Wert in sich konsistent, da sie den wie zu erwartenden linearen Verlauf in Abb.3 und die Messwerte für die unterschiedlichen Spannungen einen gleichmäßigen Abstand haben. Für genauer Ergebnisse schauen wir uns nun im folgenden die Kompensationsmethode an.

## Aufgabe 7

In Abbildung 4 wird der Zusammenhang zwischen der Kompensationsspannung und dem Wert der Stromstärke bzw. der magnetischen Flussdichte für drei verschiedene Beschleunigungsspannungen zusammen mit einer Anpassung durch jeweils einer Ursprungsgeraden gezeigt.

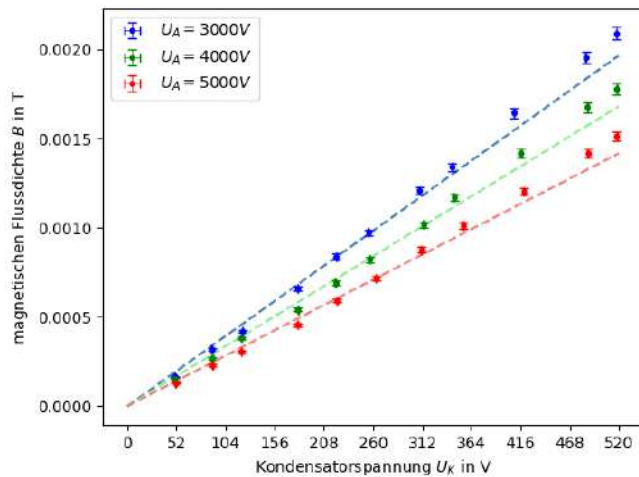


Abb.4: Messergebnis aus Tabelle 5 als drei Graphen für die unterschiedlichen Hochspannungen mit Ursprungsgeraden als lineare Anpassung (gestrichelte Linien)

Steigungswerte  $m$  der linearen Anpassung  $g(U_K) = m \cdot U_K$  aus Abb.4:

$$m_{3000V} \approx 0.000003780518233214606 \text{ T/V}$$

$$u_{m_{3000V}} \approx 0.000000019752074818992614 \text{ T/V}$$

$$m_{4000V} \approx 0.0000032315059076211642 \text{ T/V}$$

$$u_{m_{4000V}} \approx 0.000000017073750769563414 \text{ T/V}$$

$$m_{5000V} \approx 0.0000027252618412319337 \text{ T/V}$$

$$u_{m_{5000V}} \approx 0.000000014649199951356746 \text{ T/V}$$

Mit Formel (8) folgt der Zusammenhang:

$$B = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A \cdot d}} \cdot U_K,$$

was durch Koeffizientenvergleich mit der linearen Anpassung (Steigungswert  $m$  wird in  $m_S$  umbenannt, um Eindeutigkeit der Variablen zu gewähren) zu der folgenden Formel führt:

$$m_S = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A \cdot d}} \text{ bzw.}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A m_S^2 d^2}.$$

Mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung folgt die Unsicherheit

$$u_{\frac{e}{m}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2U_A^2 m_S^2 d^2} \cdot u_{U_A}\right)^2 + \left(\frac{1}{U_A m_S^3 d^2} \cdot u_{m_S}\right)^2 + \left(\frac{1}{U_A m_S^2 d^3} \cdot u_d\right)^2},$$

wobei  $d = (8.0 \pm 0.5) \text{ mm}$  von dem Informationen auf dem Gerät entnommen werden konnte.

Insgesamt bekommen wir raus

$$\frac{e}{m}_{3000V} = (182,000,000,000 \pm 24,000,000,000) \text{ C/kg},$$

$$\frac{e}{m}_{4000V} = (187,000,000,000 \pm 24,000,000,000) \text{ C/kg und}$$

$$\frac{e}{m} 5000V = (210,000,000,000 \pm 27,000,000,000) C/kg.$$

Der Referenzwert (<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>, Zugriff 11/06/23) von  $\frac{e}{m} = 175,882,001,076 C/kg$  liegt bei 3000V und 4000V im Rahmen der Unsicherheiten und nur für 5000V nicht. Die Abweichung bei 5000V kann damit begründet werden, dass wir eine Verschiebung der Omm haben, da der Elektronenstrahl eine Anfangsauslenkung besitzt. Diese wurde bei dieser Messreihe im Gegensatz zu Tabelle 4 nicht herausgerechnet bzw. bei den Messungen beachtet. Bei zukünftigen Durchführungen des Experimentes müsste dies beachtet werden, um zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten. Eine Möglichkeit die vorhandenen Messergebnisse zu verbessern, wäre eine lineare Anpassung mit einer Funktion  $g(U_K) = m \cdot U_K + n$ , da hierbei das  $n$  die Korrektur der systematischen Unsicherheit durch die Omm-Verschiebung vornimmt.

Die Ergebnisse für die unterschiedlichen Spannungen sind auch in sich konsistent, da man der Abb.4 entnehmen kann, dass der erwartete lineare Zusammenhang zutrifft sowie die gleichmäßige Verschiebung der Messwerte nach oben/unten bei den unterschiedlichen Spannungen.

## Aufgabe 8

Die Geschwindigkeit der Elektronen kann mit Hilfe von Formel (6) berechnet werden. Mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung ergibt sich die folgende Unsicherheit

$$u_v = \sqrt{(\sqrt{0.5 \cdot U_A} \cdot 1/\sqrt{e/m} \cdot u_{e/m})^2 + \sqrt{0.5 \cdot e/m} \cdot 1/\sqrt{U_A} \cdot u_{U_A})^2}.$$

Die Werte für  $v/c$  mit Lichtgeschwindigkeit  $c = 299,792,458 \text{ m/s}$

(<https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/26-2018/resolution-1>, Zugriff 11/06/23) besitzen die Unsicherheit  $u_{v/c} = u_v/c$  (Gauß'sche Fehlerfortpflanzung).

Die Ergebnisse in Tabelle 6 sehen in sich konsistent aus, da die die Geschwindigkeit mit zunehmenden Spannungen  $U_A$  zunimmt. Der Wert für 5000V ist nicht sehr zuverlässig, da die Geschwindigkeit mit  $\sim \sqrt{U_A}$  anwachsen sollte und dieser gegenüber 4000V stärker wächst, aber dies war zu erwarten, da der Wert für  $e/m$  aus Auswertung Aufgabe 7 auch schon zu groß war und nicht mehr im Rahmen des Referenzwertes. Für die anderen Werte scheint mir eine Geschwindigkeit von um die 10% der Lichtgeschwindigkeit realistisch, wobei, durch das bereits vorherige Vergleichen der  $e/m$  Werte mit einem Referenzwert, das Ergebnis für 3000V und 4000V als sehr zuverlässig angesehen werden kann.

## Aufgabe 9

Die Ergebnisse aus unseren beiden Versuchsreihen (Schustermethode und Kompensationsmethode) haben genau die vorangestellten Erwartungen bzgl. der Genauigkeit des Wertes für  $e/m$  erfüllt (siehe Versuchsanleitung). Es gab ansonsten keine Überraschungen in den Messwerten. Für die Zukunft müsste bei einer ähnlichen Versuchsdurchführung die Omm-Verschiebung der Auslenkung des Elektronenstrahl beachtet werden bei dem Messen bzw. eine andere Anpassung (z.Bsp. allg. Gerade) genutzt werden, um diesen systematischen Fehler später herauszurechnen.

## 4. Fazit

Die Kompensationsmethode ist bei der Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons zu bevorzugen, da sie (vgl. Diskussion Aufgabe 6 und 7 der Auswertung) eine bessere Genauigkeit gegenüber der Schustermethode besitzt. Zudem sollte man bei Messreihen schauen, dass man ein Modell nimmt, wo man bei der Messung die Werte genau und unkompliziert ablesen kann (Kompensationsmethode), da die Werte ansonsten fehleranfälliger werden (Schustermethode, vgl. Aufgabe 6 der Auswertung).

## Attached files

20230605144622-timestamped.zip (Timestamp archive by Grigory Kornilov)  
sha256: 45cda726ae9953f3a099c974a226aeb75644cfe0dbbd9600a4f0c93c268f1e26

20230605164130-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)  
sha256: ff238b4fb4eaf787722c18b64d57d47a962176c921f405b7e388b959d1e6d675

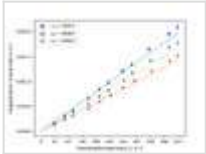
unknown.png  
sha256: 488fdf53306d7eb64b976d34af3d86e6f3f973e2c208334b8adb394a0a492c4e



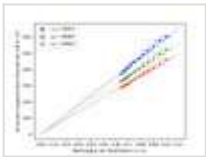
unknown.png  
sha256: e980238386a9c3d6e46e973261b3726403da4fd94d819c1ec737e377a585c549



unknown.png  
sha256: 86a76d3c02ed4ecd74eaeba31469d33cd664ad7051af53e9301996c5e5874308



unknown.png  
sha256: 8fe516da4d1df1b47d0790d9f47acc025772f20eb387c5edd973b2ccfcfc0b37



20230611175221-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)  
sha256: de0c36084c664d89bc4b4c3fdcecbdac71750de9554bd25c93a60d5fa1318b4b

20230611175647-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)  
sha256: 9dde0b686c091929f93fb2badd77580633822b8210068ae3553799dc12e58e1a



Unique eLabID: 20230605-43f90b6b9ecb8fe53a7f1136baac95f0bcb8919a  
Link: <https://elabftw.physik.hu-berlin.de/experiments.php?mode=view&id=1566>

**Changelog**