



PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM II

Versuchsprotokoll

P6 : E12 – Elektronen in Feldern

Versuchsort: Raum 316 - 2
Versuchsbetreuer: Leite, Rita

Name:

Drobniewski, Kai; Matr.Nr.:

Versuchspartner:

Kirsten, Stephan; Matr.Nr.:

03. November 2009

Inhaltsverzeichnis

1. Abstrakt	1
2. Versuchsaufbau und -durchführung	1
3. Messergebnisse und Auswertung	3
3.1 Bestimmung der effektiven Feldlängen.....	3
3.2 Bestimmung der spezifischen Ladung (Wien-Filter).....	5
3.3 Bestimmung der spezifischen Ladung (Thomsonsche Parabelmethode).....	7
3.4 Bestimmung der spezifischen Ladung (Methode nach Busch).....	10
3.5 Gewichtung.....	11
4. Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung	12
4.1 Auswertung der Ergebnisse	12
5. Anhang	15
5.1 Messdatenprotokoll	15

1. ABSTRAKT

In dem Versuch soll mithilfe der Methode des Wien-Filters, der Thomsonschen Parabelmethode und der Methode nach Busch die spezifische Ladung e/m des Elektrons bestimmt werden.

Diese benötigt man z.B. zur Bestimmung der Masse des Elektrons, wenn man die Ladung bereits im Milikan-Versuch ermittelt hat.

Die angewendete Methode wird in ähnlichen Formen heutzutage zur Untersuchung von Teilcheneigenschaften verwendet.

2. VERSUCHSAUFBAU UND -DURCHFÜHRUNG

Am Anfang des Versuchs wurde die Röhre so gedreht, dass sich das vorm Bildschirm befestigte Koordinatensystem mit der X-Achse parallel zum Elektronenstrahl (bei eingeschaltetem „Kipp“-Schalter) stellen ließ.

Nach dieser Justierung wurde die Position des Leuchtflecks gemessen, wenn zum Einen die Spannung U_x der x-Platten und zum Anderen die Spannung U_y der y-Platten geändert wurde, um daraus die effektiven Feldlängen l_x und l_y zu berechnen.

Danach widmeten wir uns der Bestimmung der spezifischen Ladung e/m mit dem Wien-Filter durch Messung der Spannung U_x (bei einer Beschleunigungsspannung $U_B = 1,2kV, 1,6kV, 2kV$), in Abhängigkeit zum Strom I , der durch die Spule für das Quermagnetfeld fließt. Dabei sollte der Leuchtfleck immer am Nullpunkt liegen.

Als Alternative dazu wurde nun 3-mal die Thomsonsche Parabelmethode verwendet, bei der wir bei festgelegtem Quermagnetfeld und festgelegter Spannung U_y die Positionen des Lichtflecks auf einer am Bildschirm befestigten Folie bei geänderter Beschleunigungsspannung U_B markiert haben.

Zum Schluss haben wir dann noch die Methode nach Busch verwendet, bei der wir die Röhre zuerst um $D = (26,35 \pm 1,2)mm$ vom Bildschirm weg verschoben haben.

Bei einer Beschleunigungsspannung von 1kV wurde nun durch den „Kipp“-Schalter eine positive Sägezahnspannung am Bedienteil gelegt und der Strom durch die Spule für das magnetische Längsfeld solange vergrößert, bis aus dem Elektronenstrahl annähernd ein Lichtfleck wurde.

Dies wurde für verschiedene Spannungen U_B gemacht, sodass immer wieder die gleiche dem Lichtfleck angenäherte Figur entstand.

Für detailliertere Informationen betrachte man das Script.

Benutzte Messmittel, bzw. angegebene Unsicherheiten:

MESSGRÖÙE/MESSINSTRUMENT	MESSUNSICHERHEIT
Spannung	5% vom MW + 1 Digit
Stromstärke	5% vom MW + 1 Digit
Koordinatensystem	0,5 mm

Für den Versuchsplatz war außerdem angegeben: $K = (2,01 \pm 0,08) \cdot 10^{-4} N \frac{Vs}{Am}$, $N = 2190$

Berechnungen erfolgten mit „Microsoft Excel“ und unter Verwendung von „QtiPlot“.

Folgende Formeln aus dem Script wurden verwendet:

$$x = \frac{U_x \cdot l_x \cdot L_x}{2 \cdot d_x \cdot U_B} \quad (1)$$

x – Auslenkung in x-Richtung

U_x – Ablenkspannung x-Richtung

l_x – Feldlänge

L_x – Abstand Feldmitte-Schirm

d_x – mittlerer Plattenabstand

U_B – Beschleunigungsspannung

$$y = \frac{U_y \cdot l_y \cdot L_y}{2 \cdot d_y \cdot U_B} \quad (2)$$

y – Auslenkung in y-Richtung

U_y – Ablenkspannung y-Richtung

l_y – Feldlänge

L_y – Abstand Feldmitte-Schirm

d_y – mittlerer Plattenabstand

$$U_x = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m} \cdot \frac{d_x}{l_x} \cdot K \cdot I} \quad (3)$$

e – Elementarladung

m – Masse des Elektrons

K – Apparatkonstante

I – Strom durch Spule

$$y = \frac{U_y \cdot l_y \cdot L_y}{d_y \cdot L_m^2} \cdot \frac{m}{e} \cdot \frac{1}{K^2 \cdot I^2} \cdot x^2 \quad (4)$$

L_m – gemessene Stromstärke

$$U_B = \frac{\mu_0^2}{8 \cdot \pi^2} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{L_x^2 \cdot N^2}{l^2} \cdot I^2 \quad (5)$$

μ_0 – magnetische Feldkonstante

N – Windungszahl

l – Länge der langen Spule

3. MESSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

3.1 Bestimmung der effektiven Feldlängen

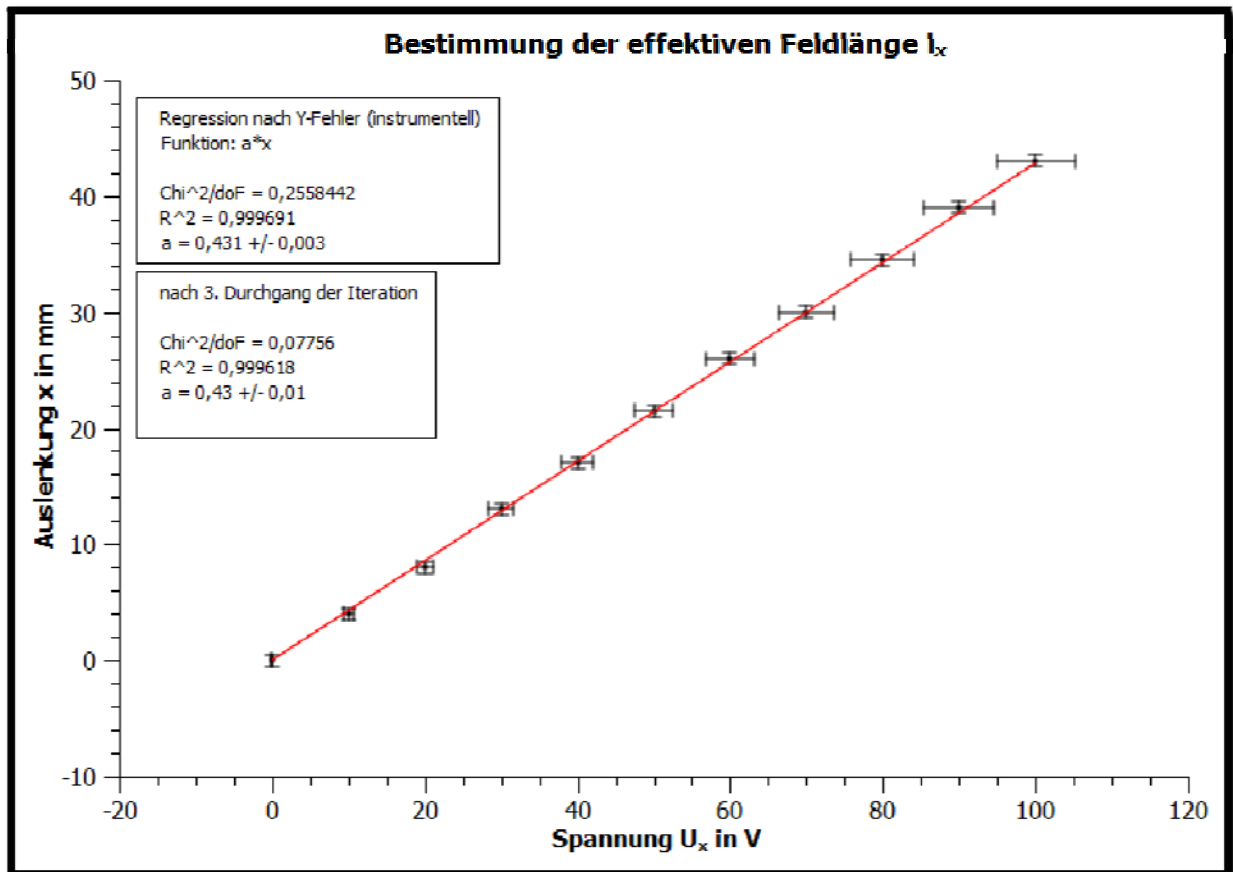
Zur Bestimmung der effektiven Feldlängen wurde zuerst der Nullpunkt $P_0 = (1,5|0)$ auf dem Bildschirm bei $U_x = 0$ und $U_y = 0$ für $U_B = (1800 \pm 90)V$ bestimmt.

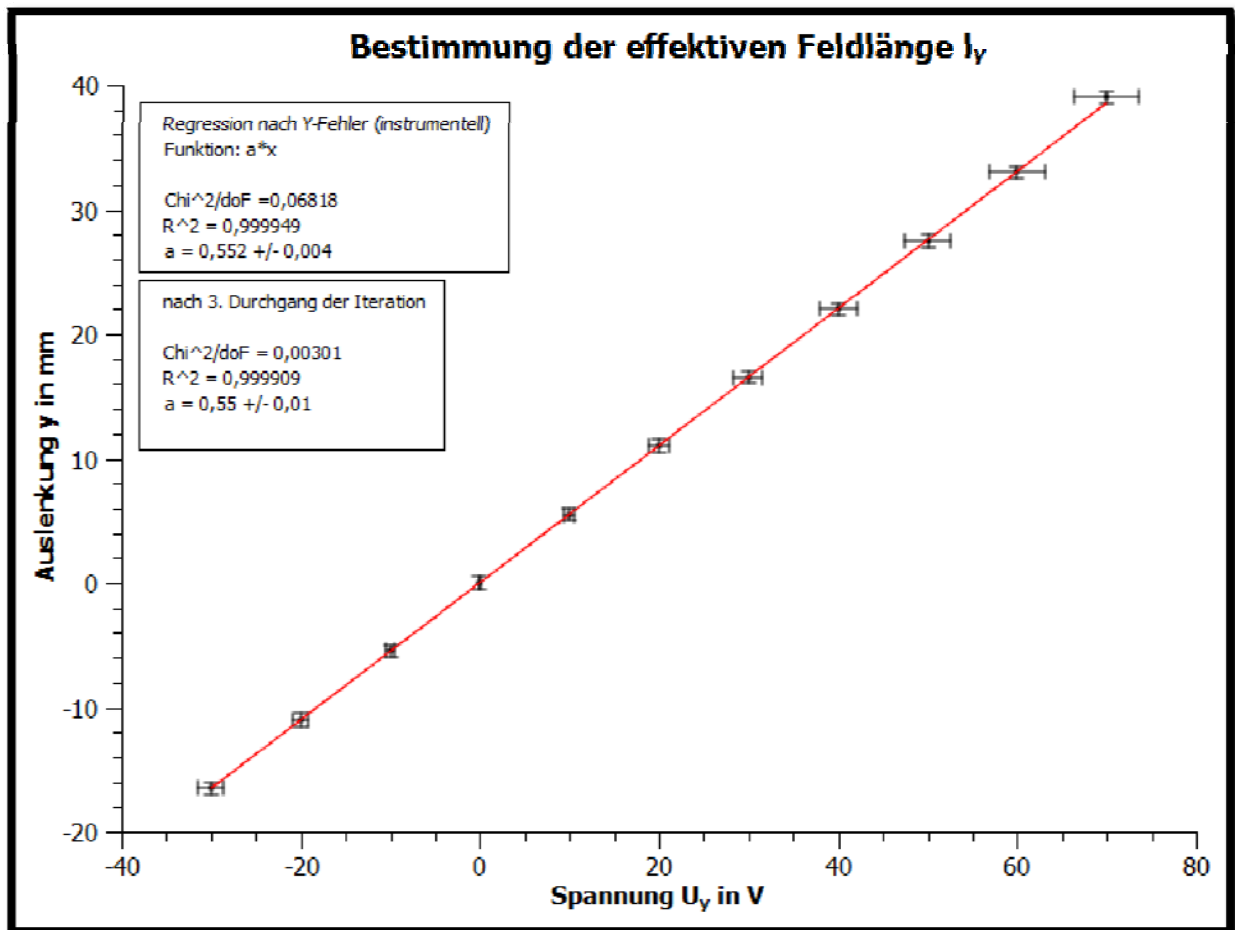
Für alle weiteren Berechnungen wurde das Koordinatensystem, auf das wir uns beziehen, so gelegt, dass dieser Punkt der Koordinatenursprung ist.

Wir erhalten also folgende Werte der Messung:

Messwerte zur Feldlängenbestimmung

U_x in V	u_{U_x} in V	x in mm	u_x in mm	U_y in V	u_{U_y} in V	y in mm	u_y in mm
0	0,1	0,0	0,5	-30	-1,4	-16,5	0,5
10	0,6	4,0	0,5	-20	-0,9	-11,0	0,5
20	1,1	8,0	0,5	-10	-0,4	-5,5	0,5
30	1,6	13,0	0,5	0	0,1	0	0,5
40	2,1	17,0	0,5	10	0,6	5,5	0,5
50	2,6	21,5	0,5	20	1,1	11,0	0,5
60	3,1	26,0	0,5	30	1,6	16,5	0,5
70	3,6	30,0	0,5	40	2,1	22,0	0,5
80	4,1	34,5	0,5	50	2,6	27,5	0,5
90	4,6	39,0	0,5	60	3,1	33,0	0,5
100	5,1	43	0,5	70	3,6	39,0	0,5





Die lineare Regression wurde mit der instrumentellen Gewichtung des Y-Fehlers durchgeführt und mit dem ausgerechneten Anstieg a , den Y-Fehlern und den X-Fehlern pythagoräisch eine effektive Gewichtung σ nach $\sigma^2 = u_y^2 + a^2 \cdot u_x^2$ berechnet.

Danach erfolgte eine weitere Regression mit dieser Gewichtung, woraus sich eine Berechnung des Anstiegs mittels iterativer Regression unter Berücksichtigung des Y- und des X-Fehler ergibt.

Betrachten wir Formel (1) und (2), so erhalten wir das Verhältnis l_x/d_x aus dem Anstieg der Funktion

$x = f(U_x)$ und für y analog. Die Unsicherheit ergibt sich dabei aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Größen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von L_x , U_B und a .

Es gilt:
$$\frac{l_x}{d_x} = \frac{2 \cdot U_B \cdot a}{L_x} \quad \text{und} \quad u_{\left(\frac{l_x}{d_x}\right)} = \sqrt{\left(u_{U_B} \frac{\partial f}{\partial U_B}\right)^2 + \left(u_a \frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 + \left(u_{L_x} \frac{\partial f}{\partial L_x}\right)^2}$$

und analog das Gleiche für y .

Wir erhalten somit:
$$\frac{l_x}{d_x} = \underline{\underline{(7,2 \pm 0,4)}} \quad \frac{l_y}{d_y} = \underline{\underline{(7,8 \pm 0,4)}}$$

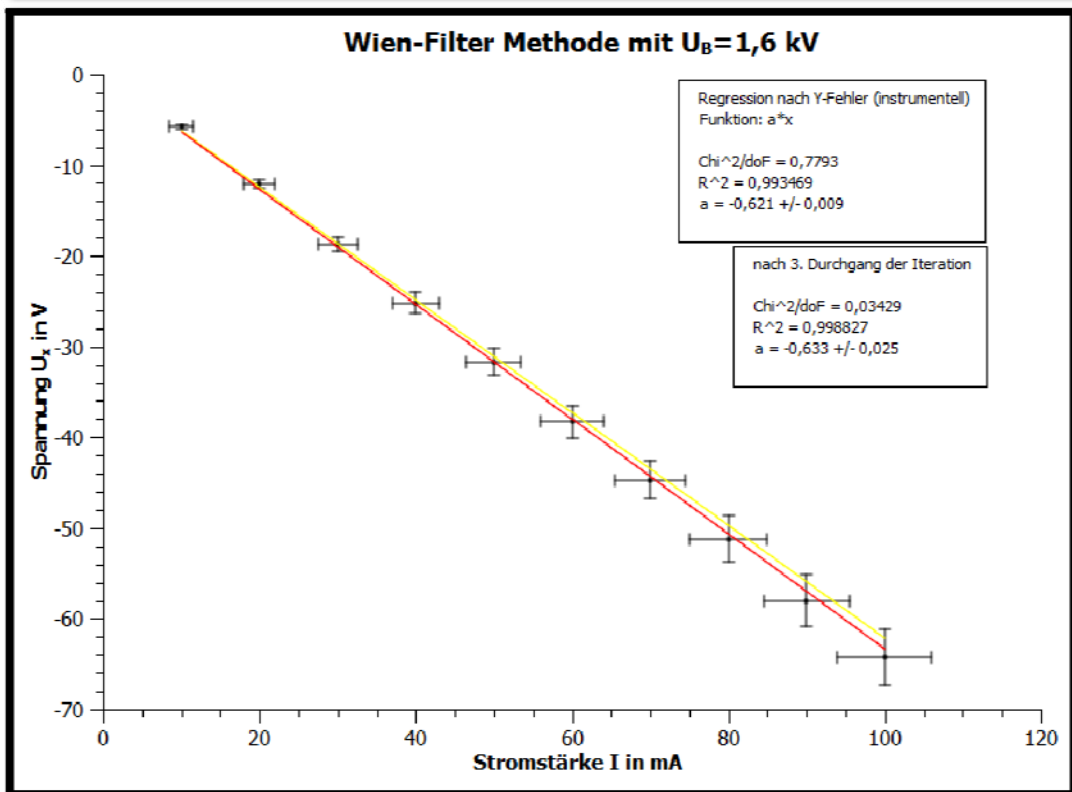
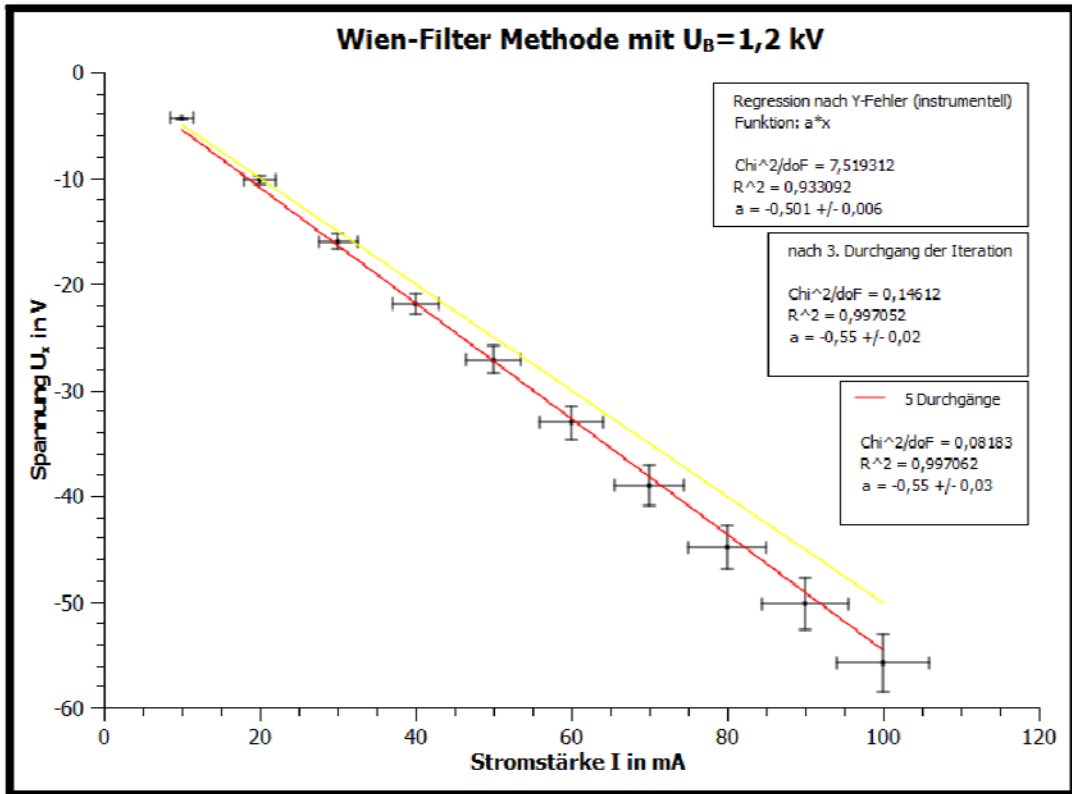
Multiplizieren wir die Ergebnisse mit den entsprechenden mittleren Plattenabständen und benutzen analog das Fehlerfortpflanzungsgesetz, so erhalten wir für die effektiven Feldlängen:

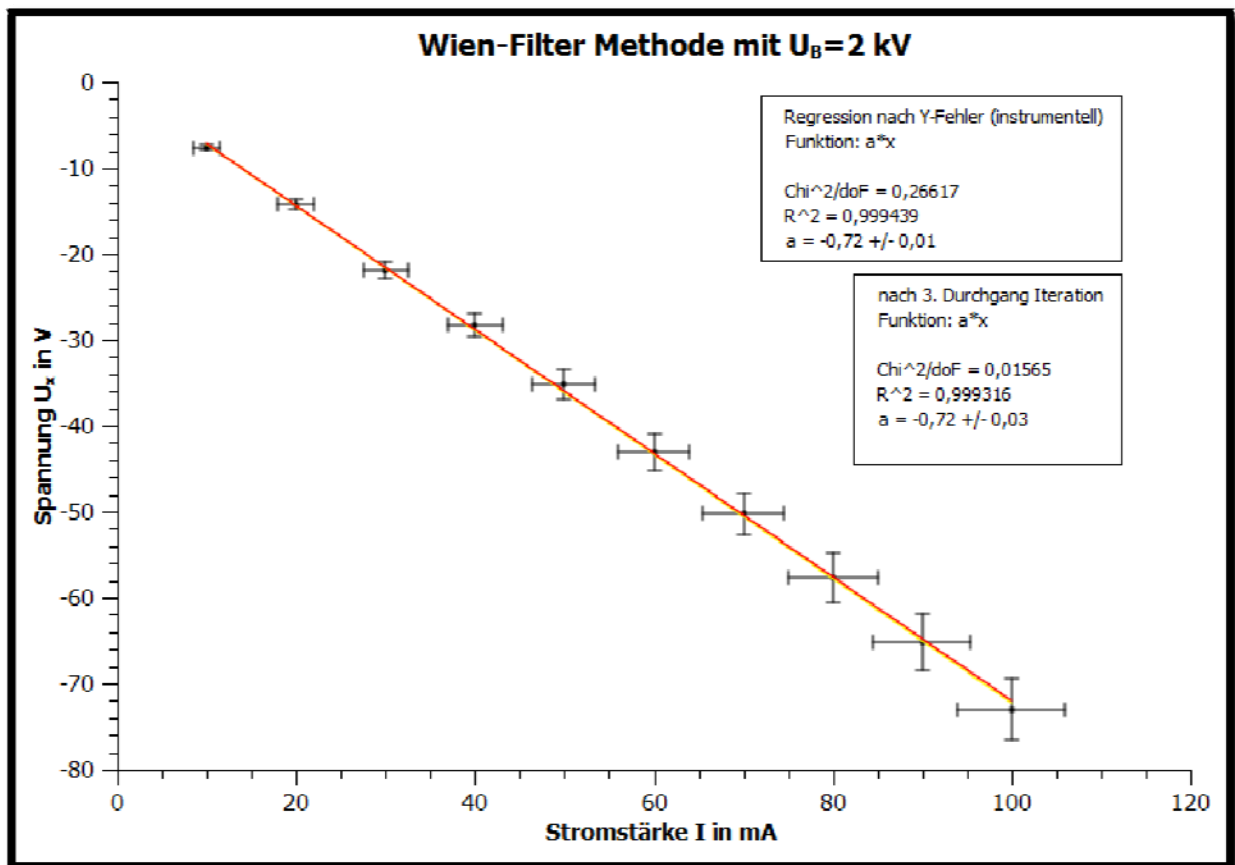
$$l_x = \underline{\underline{(28 \pm 2)mm}} \quad l_y = \underline{\underline{(27 \pm 2)mm}}$$

3.2 Bestimmung der spezifischen Ladung (Wien-Filter)

Um die spezifische Ladung mit der Methode des Wien-Filters zu bestimmen, wurde eine lineare Regression der im Anhang ersichtlichen Messwerte durchgeführt, analog zu 3.1.

Die gelbe (hellere) Gerade stellt dabei die Regressionsgerade ohne Berücksichtigung des X-Fehlers da und die rote (dunklere) unter Berücksichtigung des X-Fehlers mittels Iteration.





Man erkennt bereits anhand des χ^2 , dass die Regression ohne Betrachtung des X-Fehlers zu ungenügenden Ergebnissen führt. Das liegt offensichtlich daran dass der X-Fehler zum Teil gleich groß, zum Teil aber auch größer als der Y-Fehler ist.

Betrachten wir nun die Formel (3), so erkennen wir, dass sich die spezifische Ladung aus folgender Formel ergibt:

$$\frac{e}{m} = \frac{a^2}{2 \cdot U_B \cdot K^2} \cdot \left(\frac{l_x}{d_x} \right)^2$$

Die Unsicherheit berechnet sich dabei analog zu 3.1 mittels Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Größen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von a , U_B , K und l_x/d_x .

Wir erhalten für die spezifische Ladung mittels Methode des Wien-Filters für $U_B = (1200 \pm 61)V$:

$$\frac{e}{m_{W1}} = \frac{(1,60 \pm 0,29) \cdot 10^{11}}{\text{kg}} \frac{C}{\text{kg}}$$

für $U_B = (1600 \pm 81)V$:

$$\frac{e}{m_{W2}} = \frac{(1,59 \pm 0,26) \cdot 10^{11}}{\text{kg}} \frac{C}{\text{kg}}$$

und für $U_B = (2000 \pm 101)V$:

$$\frac{e}{m_{W3}} = \frac{(1,65 \pm 0,28) \cdot 10^{11}}{\text{kg}} \frac{C}{\text{kg}}$$

3.3 Bestimmung der spezifischen Ladung (Thomsonsche Parabelmethode)

Bei der Thomsonschen Parabelmethode haben wir den Verlauf des Lichtflecks bei sich ändernder Beschleunigungsspannung auf einer Folie markiert. Dabei wird der Ursprung des Koordinatensystems in den in 3.1 bestimmten Nullpunkt gelegt.

Somit erhalten wir für die Auslenkungen folgende Werte:

Auslenkungen bei $U_y = (18 \pm 1) V$ und $I = (90 \pm 6) mA$

y in mm	u_y in mm	x in mm	u_x in mm	x^2 in mm^2	u_{x^2} in mm^2
9,50	0,5	26,5	0,5	702,25	26,5
10,0	0,5	28,5	0,5	812,25	28,5
12,0	0,5	30,0	0,5	900,00	30,0
13,0	0,5	31,5	0,5	992,25	31,5
14,0	0,5	33,5	0,5	1122,25	33,5
16,0	0,5	35,5	0,5	1260,25	35,5
18,0	0,5	38,5	0,5	1482,25	38,5
20,0	0,5	40,5	0,5	1640,25	40,5

Auslenkungen bei $U_y = (25 \pm 1) V$ und $I = (75 \pm 5) mA$

y in mm	u_y in mm	x in mm	u_x in mm	x^2 in mm^2	u_{x^2} in mm^2
13,0	0,5	20,0	0,5	400,00	20,00
15,0	0,5	22,0	0,5	484,00	22,00
17,0	0,5	23,5	0,5	552,25	23,50
21,0	0,5	25,5	0,5	650,25	25,50
24,0	0,5	28,5	0,5	812,25	28,50
26,0	0,5	30,5	0,5	930,25	30,50
29,5	0,5	32,5	0,5	1056,25	32,50

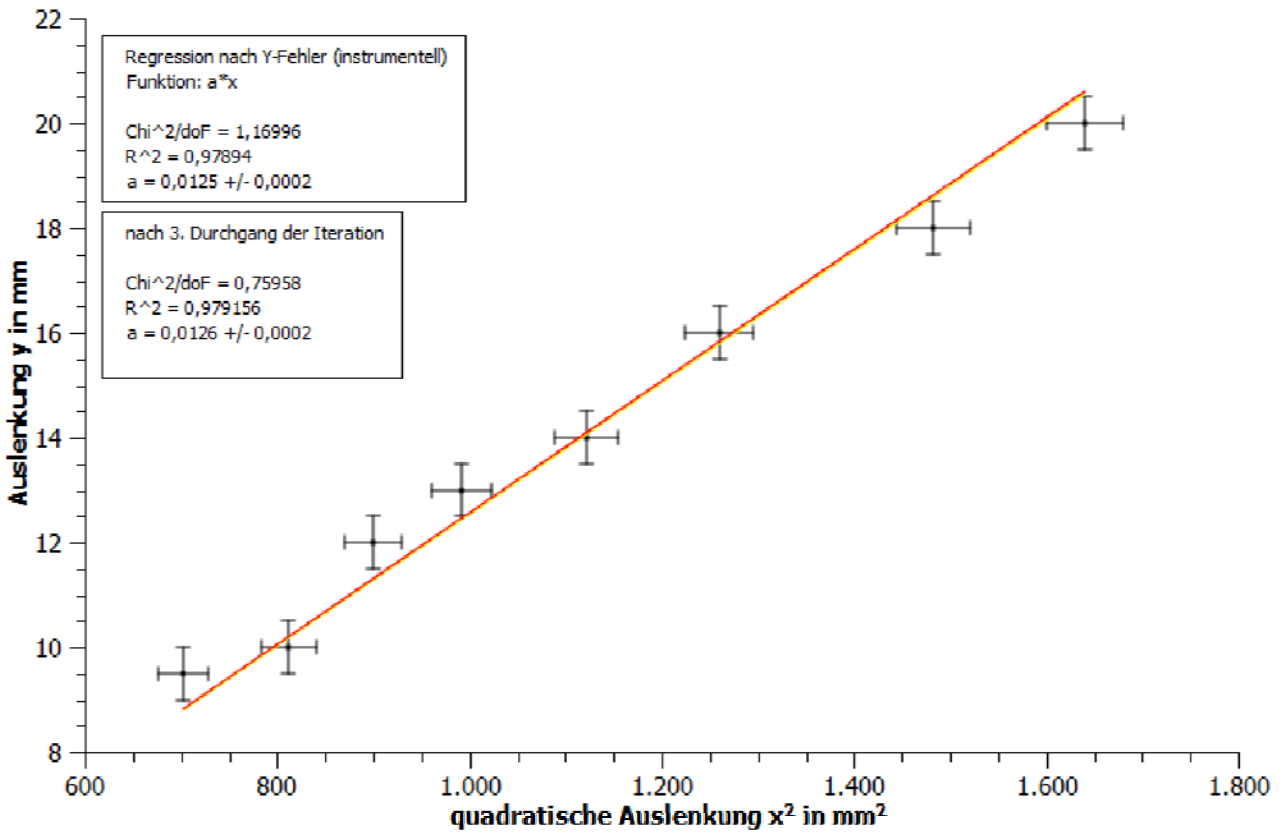
Auslenkungen bei $U_y = (35 \pm 2) V$ und $I = (60 \pm 4) mA$

y in mm	u_y in mm	x in mm	u_x in mm	x^2 in mm^2	u_{x^2} in mm^2
18,0	0,5	16,5	0,5	272,25	16,5
21,5	0,5	18,5	0,5	342,25	18,5
24,5	0,5	20,0	0,5	400,00	20,0
28,5	0,5	21,5	0,5	462,25	21,5
30,5	0,5	23,0	0,5	529,00	23,0
34,0	0,5	24,5	0,5	600,25	24,5
37,0	0,5	25,0	0,5	625,00	25,0
40,0	0,5	27,5	0,5	756,25	27,5
43,0	0,5	28,5	0,5	812,25	28,5

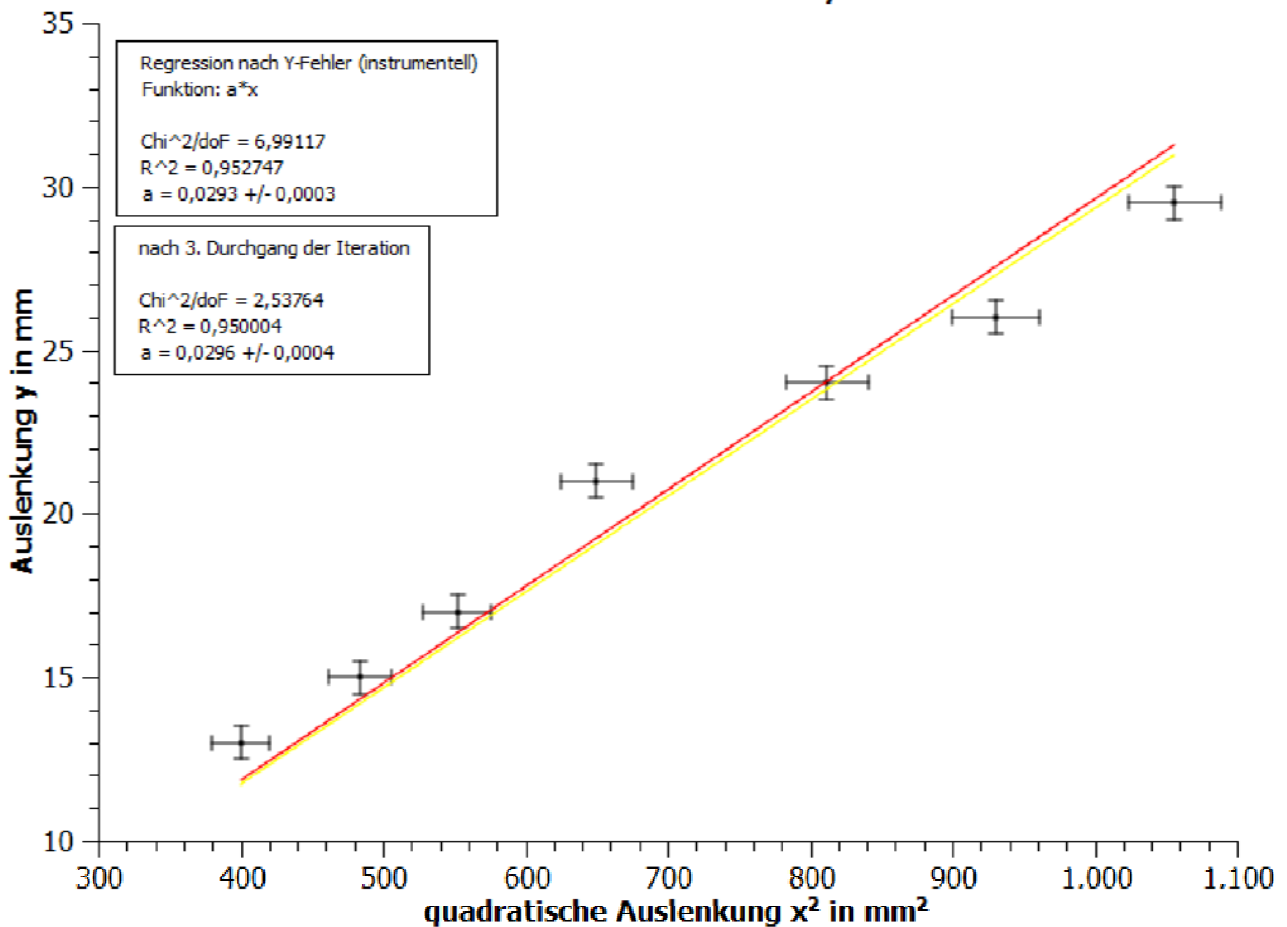
Die lineare Regression der Funktion $y = f(x^2)$ erfolgt analog zu 3.2.

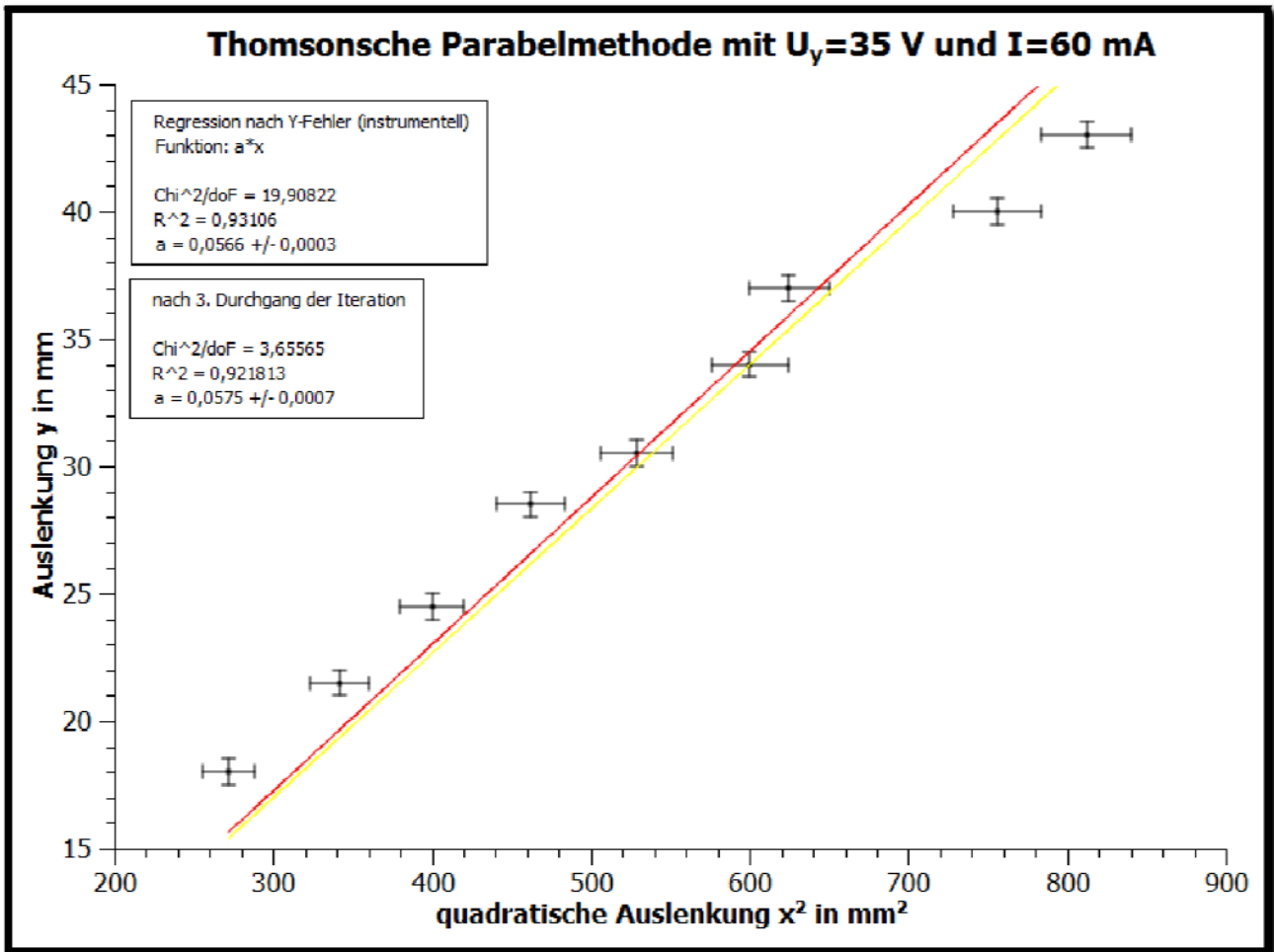
Wieder stellt die gelbe (hellere) Regressionsgerade die, ohne X-Fehler Betrachtung, und die rote (dunklere) die mit X-Fehler Betrachtung dar.

Thomsonsche Parabelmethode mit $U_y=18\text{ V}$ und $I=90\text{ mA}$



Thomsonsche Parabelmethode mit $U_y=25\text{ V}$ und $I=75\text{ mA}$





Schauen wir uns die Formel (4) an, so können wir wieder eine Berechnung der spezifischen Ladung aus dem Anstieg ableiten.

$$\frac{e}{m} = \frac{U_y \cdot L_y}{L_m^2 \cdot K^2 \cdot I^2 \cdot a} \cdot \frac{l_y}{d_y}$$

Die Unsicherheit ergibt sich analog zu 3.1 aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Größen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von U_y , L_y , L_m , K , I , a und l_y/d_y .

Wir erhalten für $U_y = (18 \pm 1)\text{ V}$ und $I = (90 \pm 6)\text{ mA}$: $\frac{e}{m_{T1}} = \underline{\underline{(1,85 \pm 0,31) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}}$

für $U_y = (25 \pm 1)\text{ V}$ und $I = (75 \pm 5)\text{ mA}$:

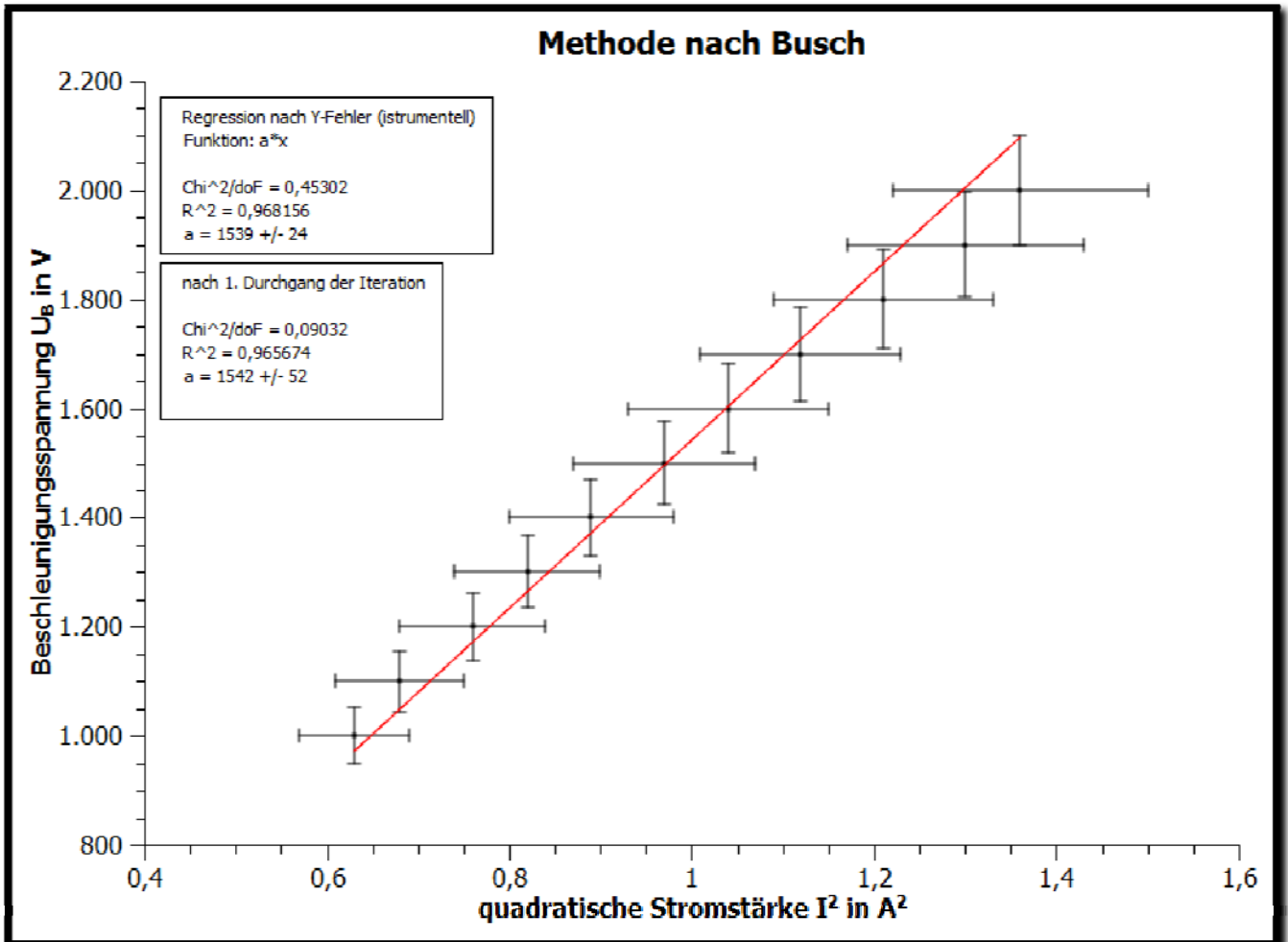
und für $U_y = (35 \pm 2)\text{ V}$ und $I = (60 \pm 4)\text{ mA}$:

$$\frac{e}{m_{T2}} = \underline{\underline{(1,58 \pm 0,27) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}}$$

$$\frac{e}{m_{T3}} = \underline{\underline{(1,78 \pm 0,31) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}}$$

3.4 Bestimmung der spezifischen Ladung (Methode nach Busch)

Die Methode nach Busch wurde bereits unter 2. erläutert. Die Regression erfolgte analog zu 3.1. Da in diesem Fall die Iteration sehr stark das χ^2 verkleinerte und die Unsicherheit von a bis über den eigenen Wert vergrößerte, beschränkten wir uns auf einen Durchgang.



Stellen wir die Formel (5) im linearen Zusammenhang nach der spezifischen Ladung um, so erhalten wir:

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot \pi^2}{\mu_0^2} \cdot \frac{a \cdot l^2}{L_x^2 \cdot N^2}$$

Die Unsicherheit ergibt sich wieder analog zu 3.1 aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz unter Berücksichtigung von a , l und L_x .

Von der Internetseite <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/> erhalten wir die magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 12,566370614 \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$.

Es ergibt sich für die spezifische Ladung:

$$\frac{e}{m_B} = \frac{(1,91 \pm 0,07) \cdot 10^{11}}{kg} \frac{C}{kg}$$

3.5 Gewichtung

Um das gewichtete Mittel bestimmen zu können, müssen sich die Intervalle der berechneten Ergebnisse überschneiden.

Diese Bedingung erfüllen alle berechneten Werte.

Wäre uns kein Vergleichswert gegeben, so müssten wir den Wert aus der Methode nach Busch bevorzugen, da dieser eine gegenüber den anderen Werten sehr geringe Unsicherheit hat.

Da wir aber den in 4.1 angegebenen Vergleichswert besitzen und dieser nicht im Intervall der spezifischen Ladung nach der Methode nach Busch liegt, vernachlässigen wir diesen in einer zweiten Gewichtungsrechnung.

Für die Gewichtung quadrieren wir die geringste Unsicherheit und dividieren diese jeweils durch das Quadrat der einzelnen Unsicherheiten, um somit eine Gewichtung der einzelnen Ergebnisse zu erhalten.

Für den gewichteten Mittelwert werden nun die damit gewichteten Ergebnisse aufsummiert und durch die Summe der Gewichtungen geteilt. Die Unsicherheit ergibt sich aus der Wurzel der aufsummierten quadratischen gewichteten Unsicherheiten, geteilt durch die Summe der Gewichtungen.

Somit erhalten wir:

$$\frac{e}{m_{GmB}} = \frac{(1,85 \pm 0,06) \cdot 10^{11}}{\underline{\hspace{2cm}}} \frac{C}{kg} \qquad \frac{e}{m_{GoB}} = \frac{(1,66 \pm 0,12) \cdot 10^{11}}{\underline{\hspace{2cm}}} \frac{C}{kg}$$

4. FEHLERANALYSE UND ERGEBNISEINSCHÄTZUNG

4.1 Auswertung der Ergebnisse

Als Vergleichswert für die spezifische Ladung des Elektrons liefert uns die in 3.2 genannte Seite

$$e/m = (1,758820150 \pm 0,000000044) \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Als Ergebnisse bei der Wien-Filter Methode erhielten wir:

$$\frac{e}{m_{W1}} = \frac{(1,60 \pm 0,29) \cdot 10^{11} C}{kg} \quad \frac{e}{m_{W2}} = \frac{(1,59 \pm 0,26) \cdot 10^{11} C}{kg} \quad \frac{e}{m_{W3}} = \frac{(1,65 \pm 0,28) \cdot 10^{11} C}{kg}$$

und bei der Thomsonschen Parabelmethode:

$$\frac{e}{m_{T1}} = \frac{(1,85 \pm 0,31) \cdot 10^{11} C}{kg} \quad \frac{e}{m_{T2}} = \frac{(1,58 \pm 0,27) \cdot 10^{11} C}{kg} \quad \frac{e}{m_{T3}} = \frac{(1,78 \pm 0,31) \cdot 10^{11} C}{kg}$$

sowie bei der Methode nach Busch:

$$\frac{e}{m_B} = \frac{(1,91 \pm 0,07) \cdot 10^{11} C}{kg}$$

Die gewichteten Mittel aus 3.5 betragen:

$$\frac{e}{m_{GmB}} = \frac{(1,85 \pm 0,06) \cdot 10^{11} C}{kg} \quad \frac{e}{m_{GoB}} = \frac{(1,66 \pm 0,12) \cdot 10^{11} C}{kg}$$

Vergleicht man die Werte, so erkennt man, dass der Vergleichswert in allen Ergebnisintervallen, außer dem aus der Methode nach Busch und dem gewichteten Mittel mit dem Ergebnis aus dieser Methode liegt.

Daraus können wir schlussfolgern, dass die Methode nach Busch ein irreführendes Ergebnis lieferte, dass eine zu geringe Unsicherheit besitzt.

Dies kann daran liegen, dass die Messwerte zu große Fehler besitzen und die Iteration deshalb zu einem zu starken Anwuchs der Unsicherheit des Anstiegs nach kurzen Durchgängen führt.

Das liegt daran, dass wir als Unsicherheit der elektrischen Messgeräte 5% vom MW + 1 Digit angenommen haben, statt der im Script vorgegebenen 1% + 1 Digit.

Dies ist auch der Grund für die hohen Unsicherheiten der anderen Werte. Sobald man die Iteration durchführt, wachsen die Unsicherheiten an, weshalb man die geringste mögliche Unsicherheit von Werten verwenden sollte.

Ansonsten fällt noch auf, dass die Wien-Filter Methode relativ nah beieinander liegende Ergebnisse geliefert hat, während sie bei der Thomsonschen Parabelmethode weiter verstreut sind.

Das liegt an verschiedenen Schwierigkeiten bei dieser Methode.

Zum einen gibt es Ableseschwierigkeiten durch Parallaxenfehler, die bei dem Koordinatensystem vor dem Bildschirm schnell auftreten können. Dies könnte z.B. durch den Anschluss eines Computers, der die Werte aufzeichnet und einen Graph ausdrückt, beseitigt werden.

Zum Anderen gestaltete sich das markieren der Punkte auf der Folie durch die Ausdehnung des Lichtflecks als schwierig, ebenso wie das nachträgliche Ablesen der Werte von der Folie durch den dicken Stift.

Auch dies könnte durch einen Computer beseitigt werden, oder aber man erhöht die Beschleunigungsspannung solange, dass der Leuchtfleck genau in der Mitte eines Kästchens liegt und markiert die Position dann durch Ausmalen dieses Kästchens. Das wäre eine eindeutige und leicht erkennliche Markierung.

Aber auch der grüne Stift auf dem grünen Hintergrund machte die Markierung der Position schwierig. Es würde sich empfehlen, eine andere Farbe, wie z.B. blau zu wählen, denn auch schwarz wäre wegen der schwarzen Gitterstruktur auf der Folie hinderlich (und weil der Leuchtfleck hinter einer Markierung schlecht zu sehen wäre), ebenso wie rot, da es einige Studenten mit Rot-Grün-Schwäche geben kann.

Bei der Methode nach Busch könnte man eine feste Markierung, bzw. Sperre, für die Verschiebung der Röhre nach hinten anbringen, um so die Genauigkeit bei der Verschiebung zu erhöhen, da der Zollstock durch die Positionierung eine gewisse Unsicherheit mit sich bringt.

Ansonsten waren schwankende Werte der elektrischen Größen ein Problem (U_B bis 6V, U_x bis 0,2V, U_y bis 0,7V und I von $B||$ bis 3mA). Die Stromstärke für das magnetische Querfeld konnte sogar nicht unter 0,2mA gestellt werden.

Außerdem wäre es für die Genauigkeit hilfreich, wenn man die Stromstärke für das magnetische Längsfeld feiner einstellen könnte.

Da in gut wie allen Rechnungen die effektiven Feldlängen und deren Verhältnis zum mittleren Plattenabstand, deren relative Messgenauigkeiten um 5,5% liegen, verwendet werden, sollte man sich primär darauf konzentrieren, diese Bestimmung exakter zu machen.

Dies würde sich schon durch die Beseitigung möglicher Parallaxenfehler beim Ablesen und die Verwendung der im Script vorgeschriebenen Unsicherheit bewerkstelligen lassen. Die Genauigkeiten der weiteren Rechnungen würden dazu zusätzlich noch an Genauigkeit der eigenen gemessenen Werte gewinnen.

Zum Anderen beeinflusst auch K die Rechnungen sehr stark, weshalb man die Feinheit Bestimmung der Apparatekonstante erhöhen sollte, wenn man genauer Ergebnisse erreichen will.

Bei der Methode nach Busch spielte hauptsächlich der ermittelte Anstieg a eine Rolle für die Berechnung der spezifischen Ladung. Diesen Wert kann man aber nur genauer bestimmen, wenn man die Regression verbessert, was durch die Iteration bereits geschieht. Das bedeutet, dass die Messwerte an sich genauer bestimmt werden müssen, wobei wir wieder bei den bereits besprochenen Punkten angekommen sind. Aber auch die subjektive und ungenaue Bestimmung des konstanten angenäherten Leuchtflecks macht die Ermittlung unsicher.

Da die dadurch berechnete spezifische Ladung trotzdem eine sehr geringe Unsicherheit bei einem gegenüber den anderen berechneten Werten nicht weniger abweichendem Ergebnis aufweist, ist diese Methode zu hinterfragen.

Auch beim gewichteten Mittel erhielten wir mit der Methode nach Busch einen ungenügenden Wert, was den Verdacht bestätigt, dass die Unsicherheit der berechneten spezifischen Ladung als viel zu gering ausfällt.

Ohne diese Methode erhalten wir durch das gewichtete Mittel ein dem Vergleichswert doch recht nahekommenes Ergebnis, dessen Genauigkeit zwar noch immer relativ groß ist, für einen Praktikumsversuch aber ausreichende Dimensionen besitzt.