

Versuch 703-Geiger-Müller-Zählrohr

TU Dortmund, Fakultät Physik

Anfänger-Praktikum

Tobias Buescher

tobias.buescher@tu-dortmund.de

Fabian Lehmann

fabian.lehmann@tu-dortmund.de

15. November 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau und Wirkungsweise	3
2.2	Vorteile und Nachteile des Geiger-Müller-Zählrohrs	5
2.3	Charakteristik des Zählrohrs	5
2.4	Ansprechvermögen des Zählrohrs	6
3	Durchführung	6
3.1	Charakteristik des Zählrohres	6
3.2	Sichtbarmachung von Nachentladungen	6
3.3	Messung Totzeit	7
3.4	Messung pro Teilchen freigesetzte Ladung	7
4	Auswertung	8
4.1	Zählrohr-Charakteristik	8
4.2	Totzeitbestimmung nach der Zwei-Quellen-Methode	11
4.3	Pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge im Zählrohr	11
5	Diskussion	14

1 Einleitung

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Instrument um die Intensität ionisierender Strahlung zu messen. Seine Funktionsweise basiert darauf, dass wenn α -, β - und γ -Strahlung in seinem Innern absorbiert wird ein elektrischer Impuls erzeugt wird. Es wird auch heute noch aufgrund seiner einfachen Funktionsweise häufig genutzt.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Wirkungsweise

Ein Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzylinder mit Radius r_k . In diesem verläuft axial ein Anodendraht mit Radius r_a . Der Innenraum ist mit einem Gasgemisch gefüllt (Beispiel: 100 mbar Argon und 10 mbar Ethanol). Wird eine Spannung zwischen Kathode und Anode angelegt, entsteht ein radialsymmetrisches Feld mit dem Wert :

$$E(r) = \frac{U}{r \ln(r_k/r_a)} \quad (1)$$

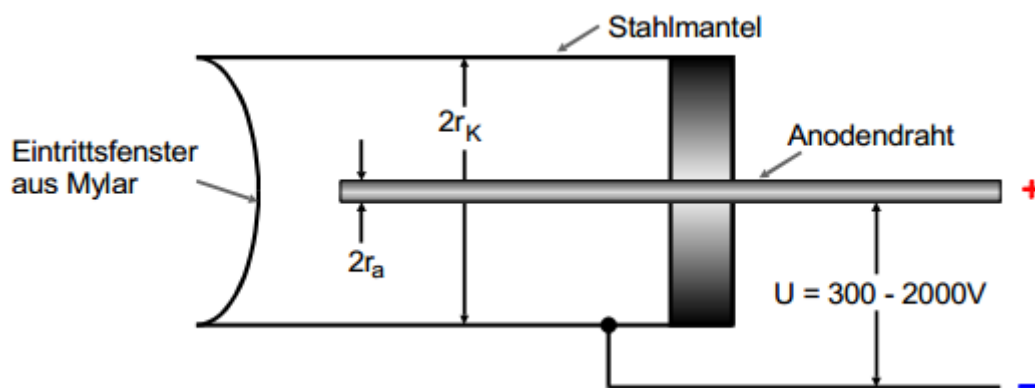


Abbildung 1: Querschnitt durch ein Endfenster-Zählrohr [1]

Eine Kopfseite des Zylinders besteht aus einer dünnen Schicht Material wie Mylar, durch welches die Teilchen eintreten können.

Tritt nun ein Teilchen in den Zylinder ein, wandert es durch den Raum und ionisiert die Gasmoleküle, bis seine Energie aufgebraucht ist. Die Anzahl der Ionisationen ist dabei proportional zur Energie des Teilchens. Die anschließenden Vorgänge hängen von der angelegten Spannung ab.

Bei sehr niedrigen Spannungen gelangen kaum Elektronen zum Draht, da diese sich meist vorher rekombinieren (Bereich I in Abb. (2)). Im nächsten Abschnitt erreichen quasi alle

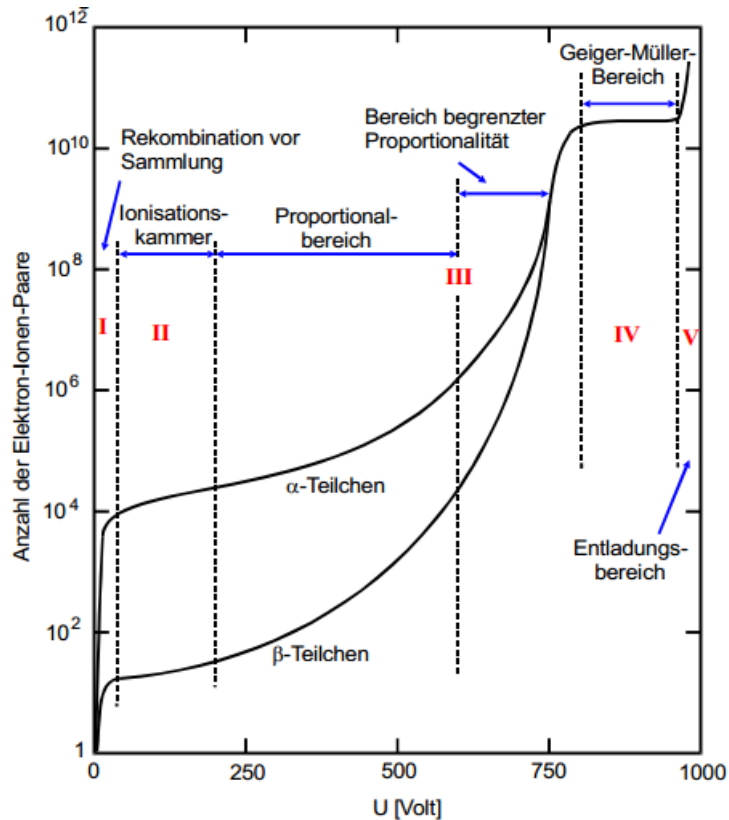


Abbildung 2: Anzahl der Elektron-Ion-Paare in Abhängigkeit der angelegten Spannung U [1]

Elektronen den Draht. Hier ist der Ionisationsstrom proportional zur Energie und Intensität der einfallenden Teilchen. Ein solcher Detektor wird Ionisationskammer genannt. Hier kann nur bei hohen Strahlungsintensitäten gemessen werden (Bereich II in Abb. (2)).

Bei weiterer Spannungserhöhung können die ausgelösten Elektronen ihrerseits ionisieren. Dies wird Stoßionisation genannt. Dies erzeugt eine Townsend-Lawine, da auch die so erzeugten Elektronen ionisieren können. Die Proportionalität zur Energie bleibt erhalten. Man bezeichnet das Zählrohr in diesem Bereich als Proportionalitätszählrohr (Bereich III in Abb. (2)).

An diesen Bereich schließt sich der Auslösebereich an. Hier arbeitet der Geiger-Müller-Zähler. Durch entstehende UV-Photonen bei Anregung der Argon-Teilchen, welche sich aufgrund ihrer Ladungsneutralität im ganzen Zählrohr ausbreiten können, entstehen Elektronenlawinen im ganzen Zählrohr. Die am Draht gesammelte Ladung hängt nur noch von der Geometrie des Zählrohres ab. So lässt sich nur noch die Intensität messen (Bereich IV in Abb. (2)).

2.2 Vorteile und Nachteile des Geiger-Müller-Zählrohrs

Der größte Vorteil ist seine breite Einsatzmöglichkeit aufgrund seiner einfachen Handhabbarkeit, da man nur wenige weitere elektrische Geräte benötigt und es sehr kompakt ist. Es kann so auch im Freien eingesetzt werden. Auch sein hohes Ansprechvermögen für α - und β -Strahlung, zudem im selben Arbeitsbereich, zeichnet es gegenüber anderen Detektoren aus. Der 1. Nachteil des Geiger-Müller-Zählrohrs ist die Totzeit. Diese hat zur Folge, dass während dieser Zeit eintretende Teilchen nicht registriert werden können. Die Totzeit entsteht, da die positiven Ionen wesentlich langsamer zum Draht wandern aufgrund ihrer deutlich höheren Masse. Diese erzeugen eine radialsymmetrische, positive Raumladung. Die Feldstärke in Drahtnähe fällt dadurch so stark ab, dass keine Stoßionisation möglich ist. An die Totzeit schließt sich die Erholungszeit an, in welcher zwar Ladungsimpulse registriert werden, allerdings nicht in der vorherigen Größe. Diese wird erst wieder erreicht, wenn die Ionen neutralisiert sind. Den Verlauf von Tot- und Erholungszeit sieht man in Abb. (3)

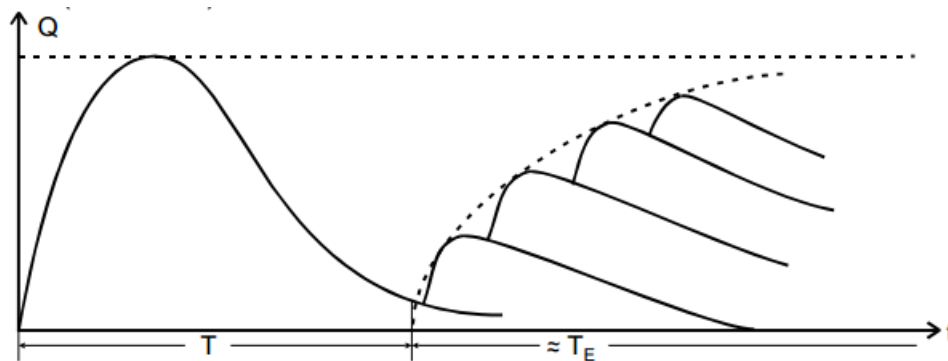


Abbildung 3: Verlauf von Tot- und Erholungszeit [1]

Ein weiterer Nachteil ist der Effekt der Nachentladungen. Diese entstehen durch Sekundärelektronen, welche beim Auftreffen der Ionen auf die Zählrohrwand von diesen aus der Metalloberfläche gelöst werden. Da dieser Vorgang länger dauert als die Totzeit, werden die Sekundärelektronen als weiterer Impuls gezählt. Dies ist höchst unerwünscht. Der Effekt lässt sich minimieren durch den Zusatz von Alkoholdämpfen ins Zählrohr. Die Edelgasionen ionisieren die Alkoholmoleküle auf ihrem Weg zur Kathodenwand. Die Alkoholionen wandern nun zur Wand, an welcher sie neutralisiert werden. Dabei wird allerdings kein weiteres Elektron ausgelöst, da die Energie zur Anregung von Schwingungen des Moleküls verbraucht wird.

2.3 Charakteristik des Zählrohrs

Als Charakteristik des Zählrohrs bezeichnet man die Kurve, die entsteht, wenn bei konstanter Strahlungsintensität die Zahl der registrierten Teilchen N gegen die ans Zählrohr angelegte Spannung U aufgetragen wird. Wie in Abb. (4) zu sehen ist, setzt bei U_E der

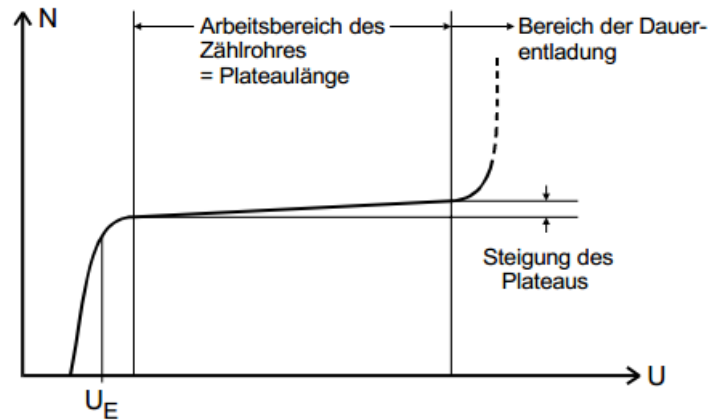


Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik [1]

Auslösebereich ein. Der daran anschließende lineare Bereich wird Plateau genannt. In diesem ist N nahezu konstant. Der Plateauanstieg sollte bei einem guten Zählrohr möglichst klein sein über einen möglichst breiten Bereich. Der Anstieg entsteht durch vereinzelte Nachentladungen.

2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Als Ansprechvermögen eines Zählrohrs wird die Empfindlichkeit für bestimmte Teilchen und Quanten bezeichnet. So ist das Ansprechvermögen des Geiger-Müller-Zählrohrs für α - und β -Strahlung nahezu 100 % aufgrund ihres hohen Ionisationsvermögens. Da Photonen nur sehr gering wechselwirken, beträgt ihr Ansprechvermögen nur etwa 1%. Daher eignet sich ein Geiger-Müller-Zählrohr nur für hohe Intensitäten an γ -Strahlung.

3 Durchführung

Der Versuchsaufbau sieht wie in Abb. (5) dargestellt aus.

3.1 Charakteristik des Zählrohrs

Zur Aufnahme der Charakteristik des Zählrohrs wird eine β -Quelle vor das Zählrohrfenster in festem Abstand gestellt. Nun wird bis zum Erreichen des Plateaus in 3-V-Schritten die Zählrate gemessen, anschließend in 50 V-Schritten bis 650 V und anschließend wieder in 3 V-Schritten bis etwa 700 V.

3.2 Sichtbarmachung von Nachentladungen

In diesem qualitativen Experiment wird die Strahlungsintensität soweit abgesenkt, dass auf dem Oszilloskop praktisch kein weiterer Impuls eines weiteren β -Teilchens zu sehen ist.

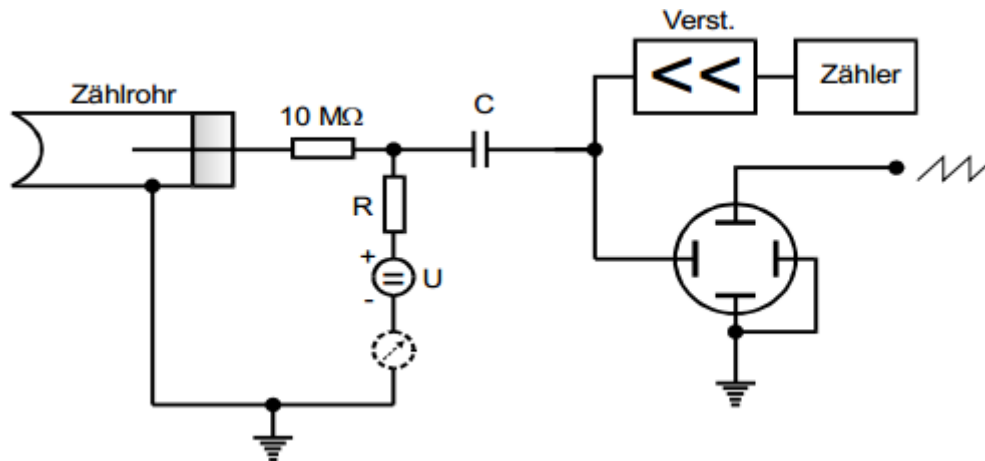


Abbildung 5: Skizze der Messapparatur [1]

Hier liegt die Zählrohrspannung bei etwa 350 V. Anschließend wird die Zählrohrspannung auf etwa 700 V erhöht. Nun lässt sich grafisch am Oszilloskop die Zeit zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls ablesen.

3.3 Messung Totzeit

Bei hoher Strahlungsintensität wird das Oszilloskop so eingestellt, dass sich etwa ein Bild wie in Abb. (3) einstellt. Nun lässt sich die Totzeit graphisch ablesen.

Die 2. Methode ist die 2-Quellenmethode. Hierbei wird zunächst die Zählrate der 1. Quelle bestimmt, anschließend die Zählrate beider Quellen zusammen und zuletzt die der 2. Quelle allein. Dann lässt sich die Totzeit nach folgender Formel berechnen:

$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (2)$$

3.4 Messung pro Teilchen freigesetzte Ladung

Mit einem Strommessgerät wird bei der Aufnahme der Charakteristik des Zählrohres auch jeweils der Zählrohrstrom gemessen. Die freigesetzte Ladungsmenge lässt sich berechnen nach:

$$\Delta Q = \frac{I \Delta t}{Z} \quad (3)$$

ΔQ hängt von U , wird also in Abhängigkeit davon untersucht.

4 Auswertung

4.1 Zählrohr-Charakteristik

Die Zählrohr-Charakteristik ist in Abbildung 6, welche die Messdaten aus Tabelle 4.1 verwendet, abgebildet.

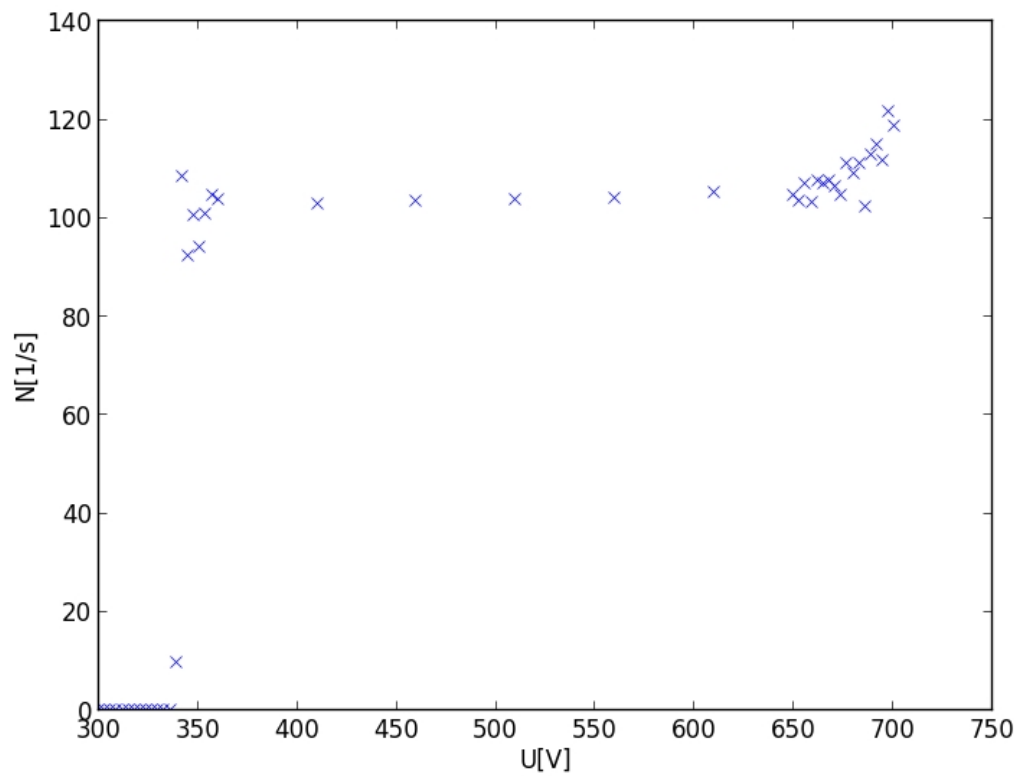


Abbildung 6: Grafisches Auftragen der Messwerte zur Zählrohr-Charakteristik

U[V]	N[1/s]	I[nA]
300	0,00	0,0
303	0,00	0,0
306	0,00	0,0
309	0,00	0,0
312	0,00	0,0
315	0,00	0,0
318	0,00	0,0
321	0,00	0,0
324	0,00	0,0
327	0,00	0,0
330	0,00	0,0
333	0,00	0,0
336	0,00	0,0
339	9,80	0,1
342	108,50	0,2
345	92,20	0,2
348	100,60	0,2
351	94,20	0,2
354	100,70	0,2
357	104,70	0,2
360	103,90	0,2
410	103,02	0,3
460	103,59	0,4
510	103,69	0,5
560	104,10	0,6
610	105,13	0,7
650	104,60	0,8
653	103,40	0,8
656	107,00	0,8
659	103,30	0,8
662	107,70	0,8
665	107,10	0,9
668	107,60	0,9
671	106,40	0,9
674	104,50	0,9
677	111,10	0,9
680	108,90	0,9
683	111,00	0,9
686	102,30	0,9
689	112,80	0,9
692	114,90	0,9
695	111,70	0,9
698	121,70	0,9
701	118,60	1,0

Tabelle 4.1: Zählrohr-Charakteristik

Die Länge des Plateau-Bereiches lässt sich darauf aufbauend auf ungefähr 290 Volt, von 360 Volt bis 650 Volt, abschätzen. Dieser Bereich ist in Abbildung 7 mit einem Messfehler von unter 1% ([1], Seite 226) noch einmal dargestellt, wobei in diesem Bereich (vgl. 4.1) eine lineare Ausgleichsrechnung [2] (Gl. 5) programmiert in Python durchgeführt wurde:

$$y = a * x + b \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow N = 0,0050 \frac{1}{s \cdot V} * U + 101,4606 \frac{1}{s} \quad (5)$$

$$a = 0,0050 \frac{1}{s \cdot V} \quad (6)$$

$$\Delta a = 38,0\% \quad (7)$$

$$b = 101,4606 \frac{1}{s} \quad (8)$$

$$\Delta b = 0,9\% \quad (9)$$

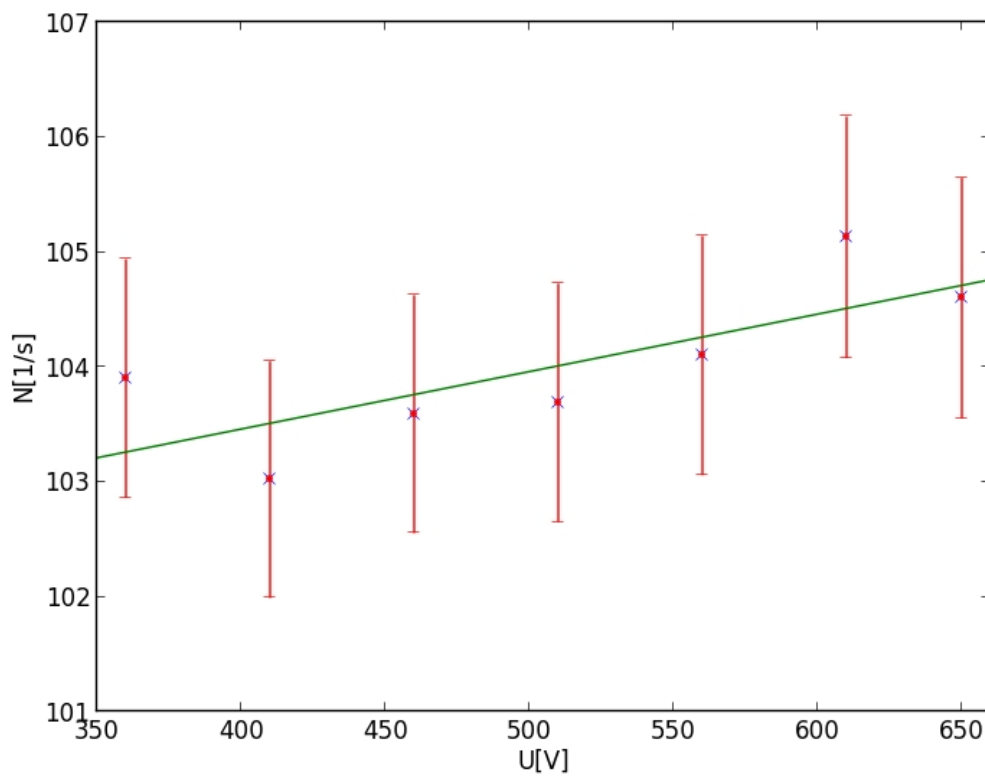


Abbildung 7: Plateau-Bereich der Zählrohr-Charakteristik

Aus der Linearen Regression lässt sich dann die Plateau-Steigung von 0,5% pro 100 Volt (Gl. 6) ablesen.

4.2 Totzeitbestimmung nach der Zwei-Quellen-Methode

$N_1[1/s]$	$N_2[1/s]$	$N_{1+2}[1/s]$
234,26	12,74	245,60

Tabelle 4.2: Zwei-Quellen-Methode

Die Totzeit lässt sich nach Gleichung 2 aus der Zwei-Quellen-Methode mit Tabelle 4.2 berechnen, der Fehler ergibt sich aus Gleichung 10.

$$\frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} = \frac{N_1}{1 - TN_1} + \frac{N_2}{1 - TN_2} \quad (10)$$

$$T = 234,5 \mu s \quad (11)$$

$$\Delta T = 0,017\% \quad (12)$$

4.3 Pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge im Zählrohr

Die pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge im Zählrohr lässt sich nach Gleichung 3 berechnen. Daraus ergeben sich die Ladungsmengen in Tabelle 4.3 beziehungsweise Abbildung 8. In dem linearen Bereich, abgeschätzt von $U = 360V$ bis $U = 650V$, wurde eine lineare Ausgleichsrechnung [2] (Gl. 14) programmiert in Python durchgeführt:

$$y = a * x + b \quad (13)$$

$$\Leftrightarrow Q/e = (1,2093 * 10^8) \frac{1}{V} * U + (-3,1548 * 10^{10}) \quad (14)$$

$$a = (1,2093 * 10^8) \frac{1}{V} \quad (15)$$

$$\Delta a = 1,3\% \quad (16)$$

$$b = -3,1548 * 10^{10} \quad (17)$$

$$\Delta b = 2,8\% \quad (18)$$

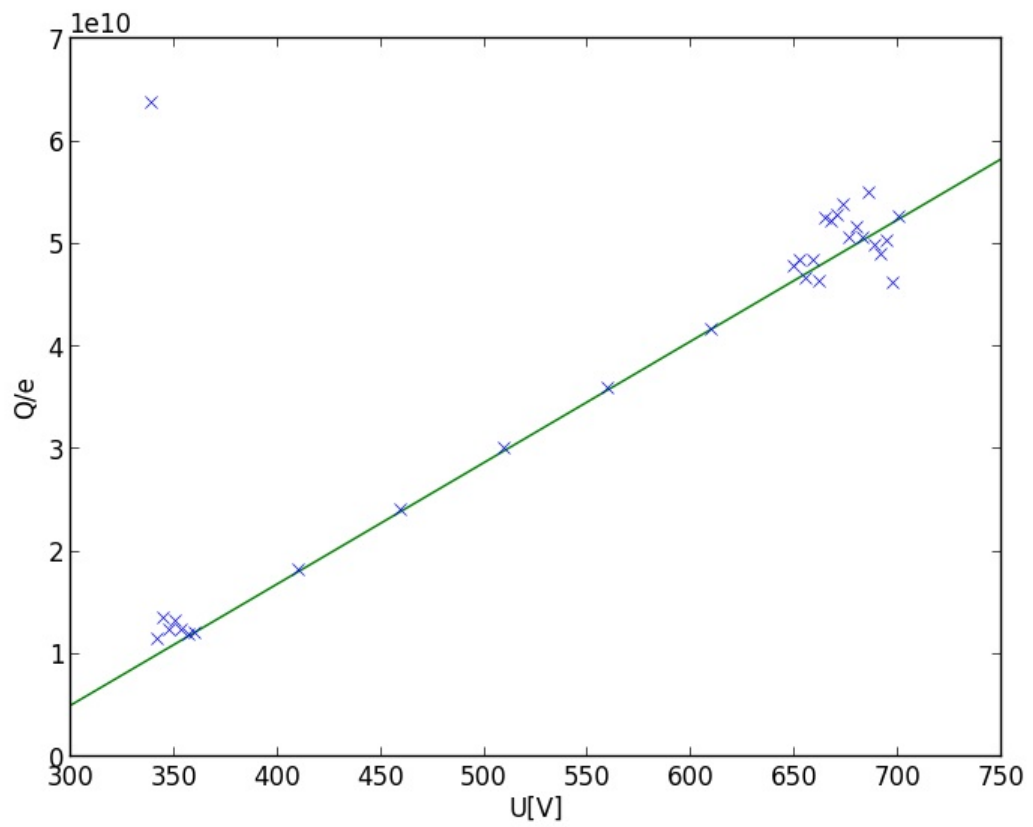


Abbildung 8: freigesetzte Ladungsmenge im Zählrohr

U[V]	$\Delta Q[\frac{C}{e}] * 10^9$
339	63,68
342	11,50
345	13,53
348	12,40
351	13,25
354	12,39
357	11,92
360	12,01
410	18,17
460	24,10
510	30,09
560	35,97
610	41,55
650	47,73
653	48,29
656	46,66
659	48,33
662	46,36
665	52,44
668	52,20
671	52,79
674	53,75
677	50,56
680	51,58
683	50,60
686	54,91
689	49,79
692	48,88
695	50,28
698	46,15
701	52,62

Tabelle 4.3: freigesetzte Ladungsmenge im Zählrohr

5 Diskussion

Aus Gleichung 6 ergibt sich eine Plateau-Steigung von $a = 0,5\%$ pro 100 Volt mit einem Fehler von $\Delta a = 38,0\%$, für einen 290 Volt langen Plateau-Bereich von 360 Volt bis 650 Volt. Die Messwerte außerhalb des Plateau-Bereichs streuen relativ stark in Gegensatz zu dem Plateau-Bereich selbst (vgl. 6), in welchem sie aber immer noch um 38% von der Linearisierung abweichen.

Ein Ablesen des Oszilloskops ergibt für den geschätzten zeitlichen Abstand zwischen Primär- und Nachladungsimpulsen einen Wert von $55 \mu\text{s}$. Die Methode des Ablesens selbst war recht ungenau und somit schlecht als Messwert brauchbar.

Ebenfalls ablesen lässt sich die Totzeit $T_{\text{Oszilloskop}} = 40 \mu\text{s}$. Das Ableseverfahren am Oszilloskop ist allredings ziemlich ungenau, was auch die Differenz zu der errechneten Totzeit erklärt.

Die Totzeit nach der Zwei-Quellen-Methode ergibt sich nach Gleichung 11: $T_{2\text{-Quellen}} = 234,5 \mu\text{s}$ mit $\Delta T_{2\text{-Quellen}} = 0,017\%$. Der Unterschied zwischen $T_{\text{Oszilloskop}}$ und $T_{2\text{-Quellen}}$ von 83% zeigt die Problematik der Ablese-Messmethode auf.

Die im Zählrohr freigesetzte Ladung (Tab. 4.3) folgt aus Gleichung 3. Die Messwerte außerhalb des linearen Bereichs weichen recht groß ab im Gegensatz zu dem linearen Bereich selbst (vgl. 8), in welchem sie nur noch um $\Delta a = 1,3\%$ von der Linearisierung abweichen, also recht zutreffend sind.

Literatur

- [1] Versuch Nr.703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr. http://129.217.224.2/HOMEPAGE/Anleitung_AP.html (21. November 2012).
- [2] John R. Taylor. *An introduction to error analysis*. University Science Books, 2 edition, 1997.

Geiger-Müller-Zählrohr

a)	V	Zählrate	\int in NA
70 s Messzeit	300	0	0
	303	0	0
	306	0	0,1
	309	0	0
	312	0	0
	315	0	0
	318	0	0
	321	0	0
	324	0	0
	327	0	0
	330	0	0
	333	0	0
	336	0	0
	339	98	0,1
	342	7025	0,2
	345	922	0,2
	348	7066	0,2
	351	942	0,2
	354	7007	0,2
	357	7042	0,2
	360	7039	0,2
100 s	470	70302	0,3
	460	70359	0,4
	570	70369	0,5
	560	70470	0,6

15.11.12

H.

V	Zählrate	Stromstärke I
670	70573	0,7
650	7046	0,8
653	7034	0,8
656	7070	0,8
659	7033	0,8
662	7077	0,8
665	7077	0,9
668	7076	0,9
677	7064	0,9
674	7045	0,9
677	7977	0,9
680	7089	0,9
683	7770	0,9
686	7023	0,9
689	7728	0,9
692	7769	0,9
695	7777	0,9
698	7277	0,9
707	7786	7

15.11.12

H.K.

b) ~~1,1 cm~~ ~~50/5~~ ~~cm~~

c) Totzeit ~~Erholungszeit~~

4 cm ~~70/5~~ ~~cm~~ 6 cm ~~70/5~~ ~~cm~~

b) $1,1 \text{ cm} \quad \frac{50 \text{ Ns}}{\text{cm}}$

(1. d)

Totzeit

Erholungszeit:

$4 \text{ cm} \quad \frac{70 \text{ Ns}}{\text{cm}}$

$6 \text{ cm} \quad \frac{70 \text{ Ns}}{\text{cm}}$

(2. d)

1. Quelle: 100 s: 23426

1+2. Quelle: 60 s: 14736

2. Quelle: 700 s: 1274

15.11.12

H. ~~W.~~