

V703

DAS GEIGER-MÜLLERZÄHLROHR

Phuong Quynh Ngo
phuong-quynh.ngo@tu-dortmund.de

Durchführung: 20.05.2020

Abgabe: 25.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Das Geiger-Müller-Zählrohr	3
2.2	Erläuterung der Bereiche	4
2.3	Die Totzeit und die Nachentladung	5
2.4	Charakteristik des Zählrohrs	6
3	Durchführung	6
3.1	Messung der Charakteristik des Zählrohres	7
3.2	Die Nachentladungen	7
3.3	Die Totzeit und Erholungszeit	8
4	Auswertung	8
4.1	Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik	8
4.2	Bestimmung der Totzeit T	10
4.2.1	Zwei-Quellen-Methode	10
4.2.2	Oszilloskop	11
4.3	Bestimmung des Zählrohrstroms	12
5	Diskussion	14
5.1	Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik	14
5.2	Bestimmung der Totzeit T	14
5.3	Bestimmung des Zählrohrstroms	14
	Literatur	15

1 Einleitung

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Messinstrument, um die Intensität von ionisierter Strahlung zu messen. Das Zählrohr zählt dabei die Absorption von α - und β -Teilchen, sowie γ -Quanten. In dem Experiment sollen Daten bis zum Plateauanstieg, der Totzeit und der freigesetzten Ladungsmenge ermittelt werden.

2 Theorie

2.1 Das Geiger-Müller-Zählrohr

Das hier schematisch abgebildete Geiger-Müller-Zählrohr (Abbildung ??) setzt sich zusammen aus einem Kathodenzyylinder, der mit einem Gasgemisch gefüllt ist und einem Anodendraht.

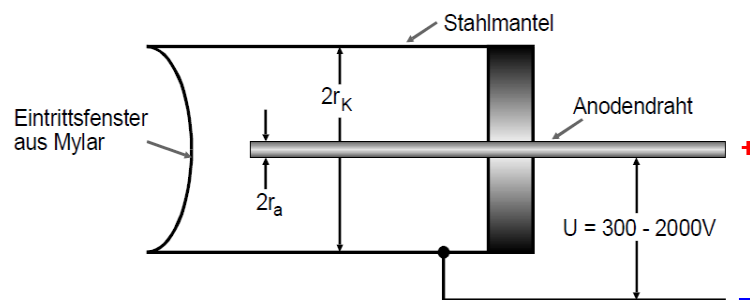


Abbildung 1: Der Querschnitt durch ein Endfenster-Zählrohr, welches mit einem Gasgemisch gefüllt ist. Der Anodendraht führt axial durch.[1]

Das Gasgemisch besteht aus 100 mbar des Edelgases Argon und 10 mbar Ethylalkohol. Mithilfe des Gases werden Elektronen freigesetzt, die durch die ionisierte Strahlung mit den Atomen des Edelgases zusammenstoßen. Innerhalb des elektrischen Feldes wandern die freigesetzten Elektronen zur Anode. Die Öffnung des Zählrohrs ist mit einer Mylar-Folie bedeckt. Die Folie ist so dünn, dass sie bereits von α -Teilchen durchdrungen werden kann. Der Unterdruck sorgt dafür, dass die Folie eine nach innen gerichtete Wölbung besitzt. Mit der Anlegung der äußeren Spannung von ungefähr 300-2000 Volt wird ein radialsymmetrisches elektrisches Feld zwischen Kathode und Anode erzeugt, welches beschrieben wird durch

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

Hier entspricht r dem Abstand der Quelle zur Zählrohrachse, U gibt die Spannung an, $r_{(k)}$ bezeichnet den Radius des Kathodenzyinders und $r_{(a)}$ den des Anodendrahtes. Das Verhältnis zwischen beiden Radien wird durch

$$r_a < r < r_k \quad (2)$$

bestimmt. Wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohr gelangt, bewegt es sich solange innerhalb des Gasraumes bis seine Energie durch Ionisationsprozesse aufgebraucht ist. Die Beschleunigung der eingetretenen Teilchen verhält sich proportional zu $\frac{1}{r}$. Wenn die Zählrohrspannung variiert wird, können fünf unterschiedliche Bereiche des Ablaufs unterschieden werden. Die Verteilung wird in Abbildung 2 dargestellt.

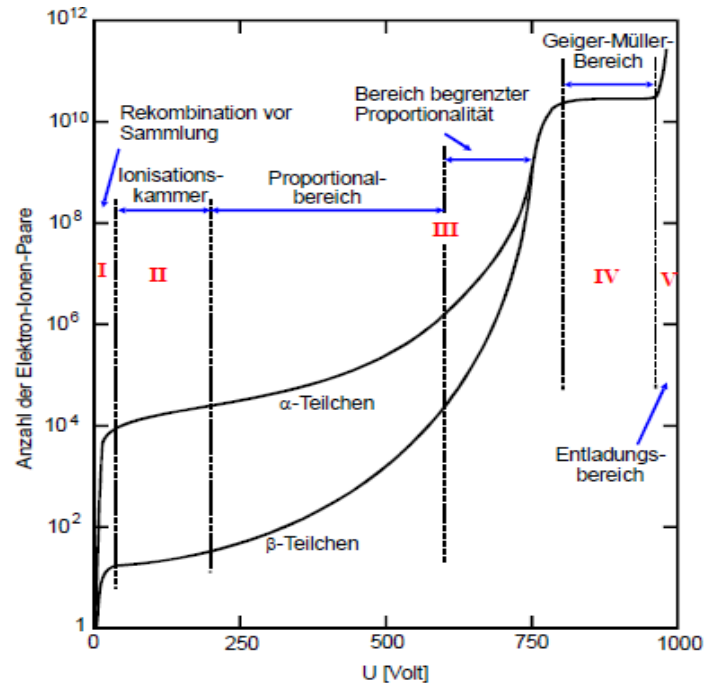


Abbildung 2: Die Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare als Funktion der Spannung U bei einem Proportionalzählrohr.[1]

2.2 Erläuterung der Bereiche

- i Rekombination Im ersten Bereich, der Rekombination, werden nur geringe Ionisationsprodukte an der Anode gemessen. Bei niedriger Zählrohrspannung rekombinieren die Teilchen häufig wieder.
- ii Ionisationskammer Den zweiten Bereich bildet die Ionisationskammer. In diesem Bereich steigt die Feldstärke, die Rekombination sinkt und viele Elektronen erreichen die Anode. Der Ionisationsstrom stellt sich proportional ein.
- iii Proportionalitätsbereich Bei Erhöhung der Spannung bildet sich der Proportionalitätsbereich. Die freigesetzten Elektronen verfügen über die Potenz Ionisationsvorgänge auszulösen. Es entsteht die sogenannte Townsend-Lawine bei der Elektronen,

aufgrund der Zusammenstöße andere Elektronen zur Ionisation anregen.

- iv Geiger-Müller-Bereich Im vierten Abschnitt, dem Geiger-Müller-Bereich, entstehen bei hohen Energien Elektronen und auch hochenergetische UV-Photonen. Gleichfalls entstehen Sekundärelektronen, die aus der metallischen Oberfläche des GMZ stammen. Es kommt zur Entstehung von Elektronenlawinen, was zum Verlust der Proportionalität zwischen der Ladung und der Teilchenenergie führt. Im Bereich vier wird ausschließlich die Intensitätsmessung der Strahlung durchgeführt.
- v Entladungsbereich Als letzter Bereich gilt der Entladungsbereich. Hier wird die Spannung erhöht (in der Theorie 960 V - 100 V). Die Zahl der Nachentladungen steigt schlagartig.

2.3 Die Totzeit und die Nachentladung

Die Totzeit T und Erholungszeit T_E werden in Abbildung 3 dargestellt.

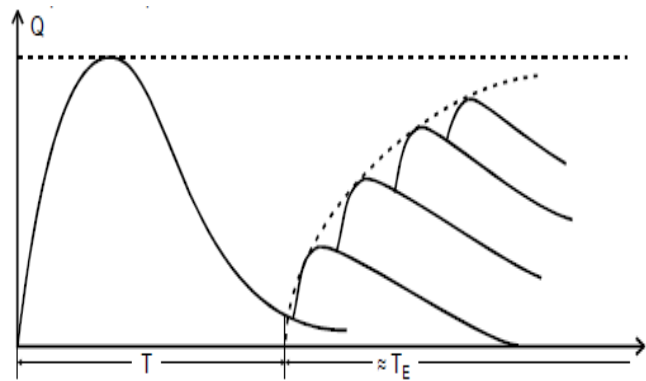


Abbildung 3: Totzeit T und Erholungszeit T_E mit Nachentladungen.[1]

Unter Totzeit T wird die Zeit verstanden, in der die einfallenden Teilchen die Kathode nicht erreichen. Die trägen positiven Ionen halten sich im Gasgemisch auf und bilden einen radialsymmetrischen Ionenschlauch. Dadurch wird die elektrische Feldstärke an der Kathode in Nähe des Drahtes gemindert. Die Elektronen fließen beim Entladevorgang schnell ab.

Die Erholungszeit T_E beschreibt die Zeit, die benötigt wird, um alle Ionen zu neutralisieren ,bzw. bis alle Ionen abgewandelt sind, und einen raumladungsfreien Zustand herzustellen. Die Ladungsimpulse nehmen ihre Ausgangsamplitude an.

Zusätzliche elektrische Impulse werden in der Nachentladung neutralisiert. Die Sekundärelektronen erzeugen den negativen Effekt der Nachentladung. In dem Gasgemisch wird die Nachentladung unterdrückt. Die Ionisationsenergien sind zu gering um Moleküle zu ionisieren. Durch das Hinzufügen von Ethylalkohol in das Zählrohr wird eine Kollision der

Edelgasionen mit den Alkoholkationen provoziert. Eine Kollision mit dem Mantelmaterial findet weniger bis gar nicht mehr statt. So werden keine Elektronen aus dem Mantel gelöst. Die Ethylalkoholionen werden durch die Energieaufnahme in Schwingung versetzt, sodass keine Nachentladung stattfinden kann.

2.4 Charakteristik des Zählrohrs

Zunächst wird die Charakteristik des Zählrohrs in einer Kurve bei konstanter Intensität in Abbildung 4 dargestellt.

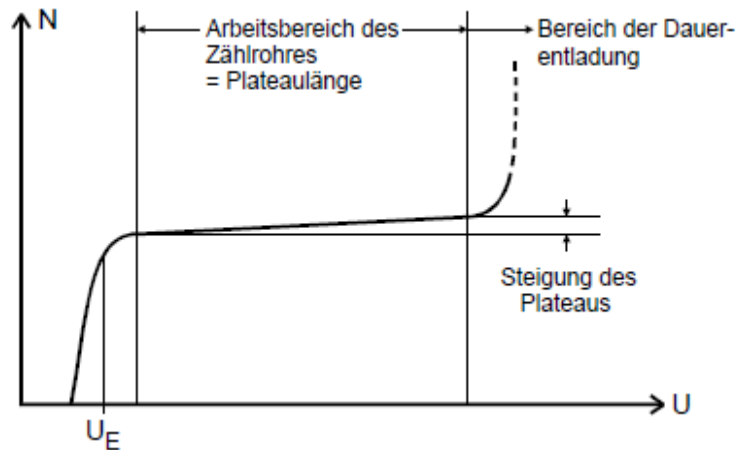


Abbildung 4: Charakteristik des GMZs bei konstanter Intensität.[1]

Die Pulsrate N wird dabei als Funktion der Spannung U beschrieben. Bei U_E beginnt der Auslösebereich. Im Anschluss zeigt sich ein linearer Bereich, der den Plateaubereich kennzeichnet. Im Idealfall besitzt das Zählrohr eine Steigung des Plateaus von Null. In der Praxis ergibt sich jedoch eine geringe Steigung, Grund dafür sind die Nachentladungen. Die Qualität des Zählrohrs und die Abbildung des Plateaubereiches charakterisieren die Güte des Experiments. Der Zusammenhang bildet sich je kleiner die Steigung und je länger der Plateaubereich ist, desto hochwertiger ist das Zählrohr. Nach dem Plateau tritt der Bereich der Dauerentladung ein und die Nachentladung steigt stark an.

3 Durchführung

Zunächst wird in Abbildung 5 der Aufbau der Versuchsanordnung gezeigt.

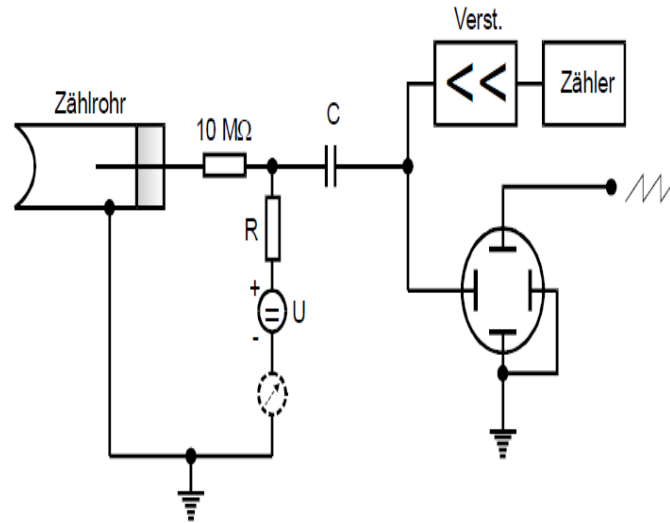


Abbildung 5: Schaltskizze des Versuchsaufbaus.[1]

Auf dem Zählrohr wird die Ladung Q gesammelt und fließt über den Widerstand R ab. Dabei wird ein Spannungsimpuls erzeugt, der am Kondensator C aufgenommen wird und im Impulszähler registriert wird. Mithilfe eines Oszillographen werden diese Impulse sichtbar dargestellt.

3.1 Messung der Charakteristik des Zählrohrs

Für die Messung wird eine β -Quelle vor dem Endfensterzählrohr platziert. Mit diesem Aufbau wird der Zusammenhang der Zählrate von der Spannung (300 V-700 V) und dem mittleren Zählrohrstrom \bar{I} ermittelt. Die freigesetzte Ladungsmenge wird durch den mittleren Zählrohrstrom bestimmt. Es gilt

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

Dabei ist Δt die Messzeit und Z die Zählrate. Es werden 40 Messungen in einem Intervall von 60 s durchgeführt.



3.2 Die Nachentladungen

Der Abstand zwischen β -Quelle und Zählrohr bleibt unverändert und der Ladungsimpuls für 350 V und 700 V werden auf dem Oszilloskop betrachtet. Die Kurve aus Abbildung 3 entsteht auf dem Display.

3.3 Die Totzeit und Erholungszeit

Die Totzeit wird über 2 Methoden ermittelt, die oszillosgraphische Darstellung und die Zwei-Quell-Methode. Für die erste Methode werden drei Messungen mit 450 V, 550 V und 650 V aufgenommen. Es wird, wie in Abschnitt 3.2 "Die Nachentladung" beschrieben, vorgegangen. Die Totzeit und die Erholungszeit werden ermittelt.

Für die zweite Methode werden ebenfalls drei Messungen vorgenommen. Bei gleichbleibender Betriebsspannung von 450 V wird zunächst die Impulsrate von N_1 untersucht. Dann wird eine zweite, schwächere β -Quelle hinzugefügt und die Impulsraten beider Quellen gemessen. Im letzten Schritt wird lediglich die Impulsrate N_2 der zweiten Quelle gemessen. Um die Richtigkeit zu überprüfen, muss folgende Bedingung

$$N_{1+2} < N_1 + N_2 \quad (4)$$

gelten. Aus den ermittelten Daten errechnet sich die gesuchte Totzeit näherungsweise durch

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}. \quad (5)$$



4 Auswertung

4.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

In diesem Teil des Versuches wird die Anzahl der Zerfälle in Schritten von $\Delta U = 10 \text{ V}$ gemessen (Integrationszeit $\Delta t = 60 \text{ s}$). Die Spannungen sind von 320 bis 700V eingestellt. Die Intensitäten werden durch die Formel

$$N = \frac{N_{60}}{60} \quad (6)$$

und deren Fehler werden durch die Formel

$$\Delta N = \sqrt{N} \quad (7)$$

bestimmt. Diese Messwerte und berechneten Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Die Messdaten zur Geiger-Müller Kennlinie.

U/V	N_{60}/Imp	$N/(\text{Imp/s})$	$\Delta N/(\text{Imp/s})$
320	9672	161,200	12,696
330	9689	161,483	12,708
340	9580	159,667	12,636
350	9837	163,950	12,804
360	9886	164,767	12,836
370	10041	167,350	12,936
380	9996	166,600	12,907
390	9943	165,717	12,873
400	9995	166,583	12,907
410	9980	166,333	12,897
420	9986	166,433	12,901
430	9960	166,000	12,884
440	10219	170,317	13,051
450	10264	171,067	13,079
460	10174	169,567	13,022
470	10035	167,250	12,933
480	10350	172,500	13,134
490	10290	171,500	13,096
500	10151	169,183	13,007
510	10110	168,500	12,981
520	10255	170,917	13,074
530	10151	169,183	13,007
540	10351	172,517	13,135
550	10184	169,733	13,028
560	10137	168,950	12,998
570	10186	169,767	13,029
580	10171	169,517	13,020
590	10171	169,517	13,020
600	10253	170,883	13,072
610	10368	172,800	13,145
620	10365	172,750	13,143
630	10224	170,400	13,054
640	10338	172,300	13,126
650	10493	174,883	13,224
660	10467	174,450	13,208
670	10640	177,333	13,317
680	10939	182,317	13,502
690	11159	185,983	13,638
700	11547	192,450	13,873

Die Kennlinie zur Bestimmung der Charakteristik des Zählrohrs wird in Abbildung 6 veranschaulicht, indem die Zählrate gegen die Spannung aufgetragen werden.

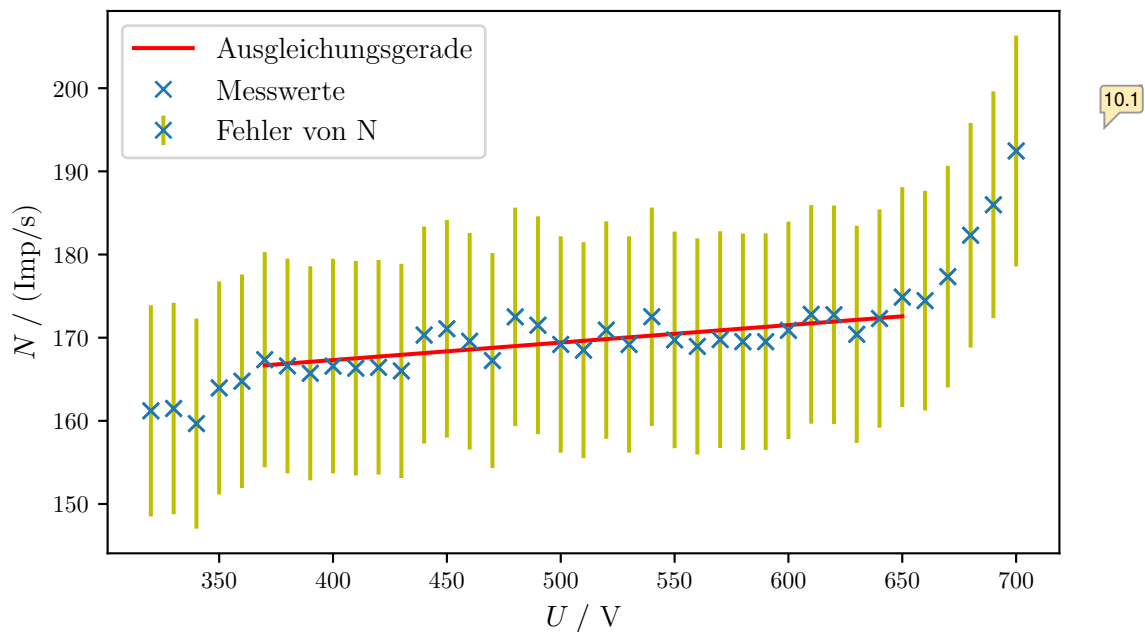


Abbildung 6: Die Kennlinie zur Bestimmung der Charakteristik des Zählrohrs.

In das Geiger-Plateau (Der Bereich wird von 370V bis 650V betrachtet) wird eine lineare Regression hinzugeführt. Die Ausgleichsgerade besitzt die Form:

$$y = a \cdot t + b \quad (8)$$

mit $y = N$, $t = U$.

Die Parameter ergeben sich zu

$$a = (0,02104 \pm 0,00369) \frac{\text{Imp}}{\text{sV}}$$

$$b = (158,89246 \pm 1,87570) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}.$$

Der Plateauanstieg des Geiger-Müller Zählrohrs beträgt also 2,104%



4.2 Bestimmung der Totzeit T

4.2.1 Zwei-Quellen-Methode

Als nächstes wird die Totzeit mithilfe der zwei Quellen Methode bestimmt, indem die ^{204}Tl -Quelle näher an das Geiger-Müller Zählrohr gerückt wird, um eine Totzeitkorrektur

zu erhalten. Die Impulsraten der Quellen werden in dem Zeitintervall $\Delta t = 120$ s gemessen und lauten:

$$\begin{aligned}N_{1_{120}} &= 96041 \text{ Imp} \\N_{1+2_{120}} &= 158479 \text{ Imp} \\N_{2_{120}} &= 76518 \text{ Imp.}\end{aligned}$$

Die Intensitäten werden durch die Formel (6) und deren Fehler werden durch die Formel (7) bestimmt und ergeben sich zu

$$\begin{aligned}N_1 &= (800,342 \pm 28,290) \text{ Imp/s} \\N_{1+2} &= (1320 \pm 36,341) \text{ Imp/s} \\N_2 &= (637,650 \pm 25,252) \text{ Imp/s.}\end{aligned}$$

Die Totzeit wird durch die Formel (5) ermittelt. Der Fehler für die Totzeit T wird dabei über die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial y_i}\right)^2 (\Delta y_i)^2} \quad (9)$$

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{N_{1+2} - N_2}{2N_1^2 N_2} \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{N_{1+2} - N_1}{2N_1 N_2^2} \Delta N_2\right)^2 + \left(\frac{-1}{2N_1 N_2} \Delta N_{1+2}\right)^2}$$

berechnet. Somit ergibt der Wert von der Totzeit T zu

$$T = (114,957 \pm 47,273) \mu\text{s.}$$

4.2.2 Oszilloskop

Die Totzeit T wird in diesem Versuchteil auch mit dem Oszilloskop zu bestimmen. Die Momentaufnahme für die Bestimmung der Totzeit T ist in Abbildung 7 zu sehen. Die Totzeit T lässt sich aus dem Bild sehr ungenau ablesen und beträgt daher $T = 100 \mu\text{s}$. Die Erholungszeit kann aus diesem Bild nicht bestimmt werden.

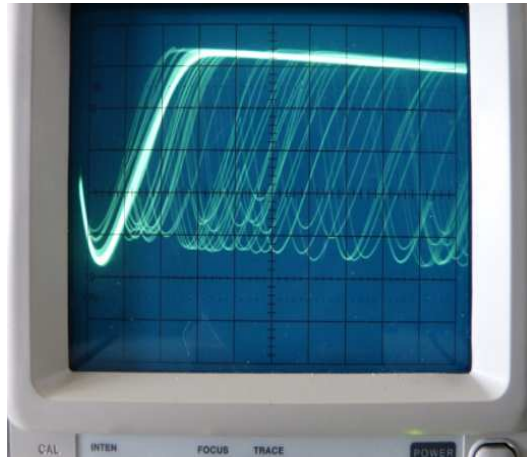


Abbildung 7: Momentaufnahme zur Bestimmung der Totzeit T mit dem Oszilloskop.[1]

4.3 Bestimmung des Zählrohrstroms

Während der Aufnahme der Geiger-Muller Kennlinie (1. Teil des Versuches) wird alle 50V der Zählrohrstrom I am Amperemeter zur Bestimmung des Zählrohrstroms abgelesen. Die Ablesegenauigkeit am Amperemeter beträgt $\Delta I = 0,05 \mu\text{A}$.

Die Intensitäten N werden durch die Formel (6) und deren Fehler ΔN werden durch die Formel (7) aus den Zählraten N_{60} bestimmt.

Die Zahl der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen wird aus dem mittleren Zählrohrstrom I durch die Formel

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (10)$$

bestimmt. Der Fehler von Z wird durch die Gleichung (9)

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{1}{e_0 N} \Delta I \right)^2 + \left(\frac{-I}{e_0 N^2} \Delta N \right)^2}$$

gerechnet. Diese Messwerte und berechneten Werte sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Die Messdaten zur Bestimmung des Zählrohrstroms.

U/V	$I/\mu\text{A}$	N_{60}/Imp	$N/(\text{Imp/s})$	$\Delta N/(\text{Imp/s})$	$Z/(10^{10} \text{ Ladungen})$	$\Delta Z/(10^{10} \text{ Ladungen})$
350	0,3	9837	163,950	12,804	1,144	0,089
400	0,4	9995	166,583	12,907	1,501	0,116
450	0,7	10264	171,067	13,079	2,557	0,196
500	0,8	10151	169,183	13,007	2,955	0,227
550	1,0	10184	169,733	13,028	3,682	0,283
600	1,3	10253	170,883	13,072	4,755	0,364
650	1,4	10493	174,883	13,224	5,003	0,378
700	1,8	11547	192,450	13,873	5,846	0,421

Die Zahl der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen Z wird gegen die Spannung getragen. (siehe Abbildung 8)

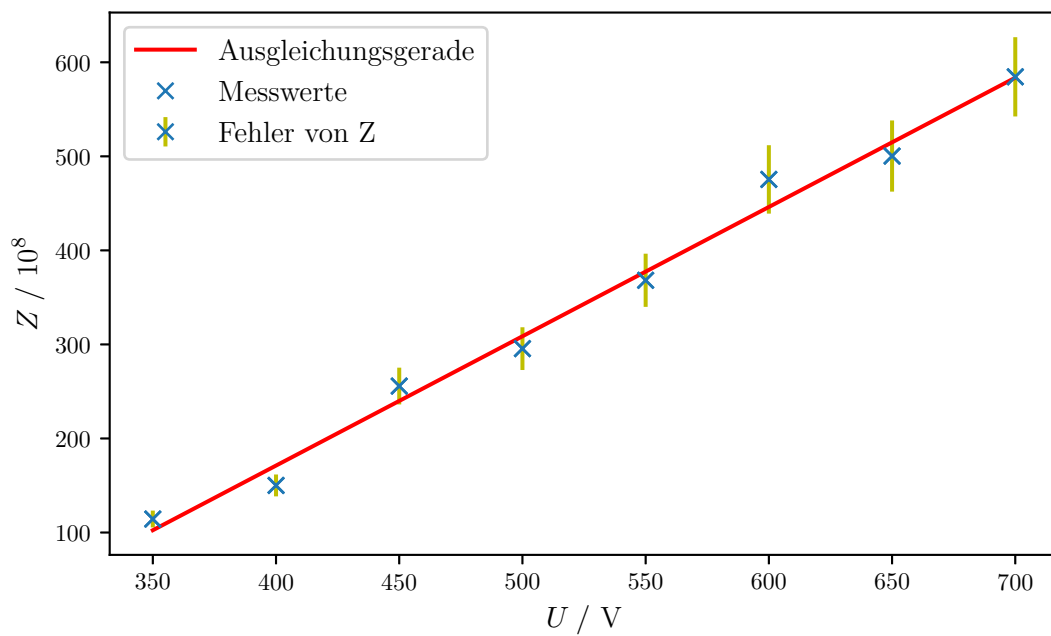


Abbildung 8: Grafik zur Bestimmung des Zählrohrstroms.

Die Ausgleichsgerade besitzt die Form:

$$y = a \cdot t + b \quad (11)$$

mit $y = Z$, $t = U$.

Die Parameter ergeben sich zu

$$a = (1,3749 \pm 0,0587) \cdot 10^8 \frac{\text{Ladungen}}{\text{V}}$$
$$b = (-378,7815 \pm 31,5175) \cdot 10^8 \text{ Ladungen.}$$



5 Diskussion

Bei diesem Versuch wird die ^{204}Tl – Quelle so plziert, dass bei einer mittleren Zahlrohrspannung eine Zahlrate von 100 Imp/s nicht überschritten wurde. Es ist wichtig zur Vermeidung von Totzeit-Korrekturen und von Verkürzung der Lebensdauer des Zahlrohres, weil die Lebensdauer eines mit organischen Substanzen gefüllten Zahlrohres ist bei so großer Schwingungsamplitude begrenzt ist .

5.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

Die Integrationszeit pro Zahlrohrspannung in dem Versuchteil $\Delta t = 60 \text{ s}$ wird so gewählt, damit die Zahlrate im Geiger-Plateau in der Größenordnung von $N = 10000 \text{ Imp}$ liegt. Da der Plateauanstieg sehr gering ist, müssen dabei so viele Werte wie möglich sehr genau ausgemessen werden. Außerdem wird die solche Messzeit gewählt, dass der relative statistische Fehler jedes Messpunktes bei $<1\%$ liegt.

Bei einem idealen Zählrohr soll der Plateauanstieg null betragen. Experimentiell besitzt der Anstieg den Wert i.h.v $2,104\%$. Die Abweichung zum Vergleich mit idealem Wert ist ziemlich gering. Eine Fehlerquelle stellt dar, dass der Bereich des Geiger-Plateaus nicht genau bestimmt und nach Einschätzung gewählt wird.

5.2 Bestimmung der Totzeit T

Bei der Bestimmung der Totzeit wird keine Aussage über die Richtigkeit und Genauigkeit der Totzeit getroffen.

Durch die Zwei-Quellen-Methode ist die Totzeit $T = (114,957 \pm 47,273) \mu\text{s}$ bestimmt mit der erfüllten Bedingung $N_{1+2} < N_1 + N_2$ ($158479 \text{ Imp} < 172559 \text{ Imp}$).

Mit dem Oszilloskop ist die Totzeit $T = 100 \mu\text{s}$ ungenau abzulesen, weil die Impulse in dem Bild von Momentaufnahme sehr schwer zu erkennen ist. Aus diesem Grund ist die Erholungszeit durch Oszilloskop auch nicht zu bestimmen.

5.3 Bestimmung des Zählrohrstroms

Bei der Bestimmung des Zählrohrstroms wird der Strom abgelesen. Der Ableserfehler ist ein Grund für die großen Fehler von der Zahl der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen Z so wie von Zählrohrstrom. Trotz der Abweichung weisen die Daten insgesamt einen linearen Verlauf auf (lineare Regression).



Literatur

- [1] *Das Geiger-Müllerzählrohr*. Eingesehen am 19.05.2020. URL: <https://moodle.tu-dortmund.de/mod/folder/view.php?id=596939>.

Index der Kommentare

- 10.1 Das sieht schon richtig aus, aber die Ausgleichsgerade irgendwie nicht. Das müsstest du nochmal nachkorrigieren.