

**703**

# **Das Geiger-Müller-Zählrohr**

Leander Flottau

leander.flottau@tu-dortmund.de

Jan Gaschina

jan.gaschina@tu-dortmund.de

Durchführung: 19.01.2021

Abgabe: 26.01.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Aufbau . . . . .	3
2.2 Funktionsweise . . . . .	3
2.3 Tot- und Erholungszeit . . . . .	4
2.4 Nachentladungen . . . . .	4
2.5 Charakteristik . . . . .	4
2.6 Ansprechrate . . . . .	4
2.7 Zählrohrstrom . . . . .	5
2.8 Zwei Quellen Methode . . . . .	5
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Versuchsaufbau . . . . .	5
3.2 Messung der Charakteristik . . . . .	6
3.3 Messung der Totzeit . . . . .	6
3.3.1 Oszillograph . . . . .	6
3.3.2 Messung mithilfe der zwei-Quellen-Methode . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1 Zählrohr Charakteristik . . . . .	8
4.2 Totzeit des Zählrohrs . . . . .	10
4.2.1 Totzeitbestimmung mit dem Oszilloskop . . . . .	10
4.2.2 Totzeitbestimmung mit der Zwei-Quellen-Methode . . . . .	10
4.3 Ladung pro einfallendem Teilchen . . . . .	11
<b>5 Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>6 Literatur</b>	<b>13</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>13</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Experiment sollen Strahlungsintensitäten mithilfe eines Geiger-Müller-Zählrohres bestimmt werden. Aus diesen lassen sich Rückschlüsse auf die Kenndaten des Zählrohres ziehen.

## 2 Theorie

### 2.1 Aufbau

Zählrohre lösen einen elektrischen Impuls aus, wenn sie ionisierender Strahlung ausgesetzt sind, durch deren Messung sich die Strahlungsintensität bestimmen lässt. Ein Zählrohr im Allgemeinen besteht aus einer dünnen drahtförmigen Anode des Radius  $r_a$  und einer Zylinderförmigen Kathode mit Radius  $r_b$ , deren Zwischenraum mit einem Gas gefüllt ist. Diese bilden durch Anlegen einer äußeren Spannung  $U$  einen zylindrischen Kondensator mit einem radialsymmetrischen elektrischen Feld der Feldstärke

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

im Abstand  $r$  von der zentralen Achse.

### 2.2 Funktionsweise

Wenn Strahlung durch das Zählrohrfenster einfällt, wird das Strahlungsteilchen Atome im Gas ionisieren. Da für eine Ionisation in der Regel ca. 26eV Energie aufgebracht werden muss, und die Teilchen Energie deutlich größer ist, können mehrere Ionisationen erfolgen. Das nachfolgende Verhalten der freien Elektronen variiert qualitativ stark in Abhängigkeit von der angelegten Spannung.

Im Bereich geringer Spannung ist die Beschleunigung der Elektronen so gering, dass sie mit den Ionen rekombinieren, wodurch nur ein geringer Anteil der Elektronen die Anode erreicht.

Wenn die Spannung ausreichend erhöht wird, ist keine Rekombination der Elektronen mehr möglich, sodass alle freien Elektronen die Anode erreichen. Der resultierende Strom ist proportional zu Intensität und Energie der einfallenden Strahlung. Ein solches Zählrohr wird Ionisationskammer genannt, und funktioniert aufgrund der geringen Stärke des Ionisationsstroms nur bei Strahlung hoher Intensität.

Bei weiterer Erhöhung der Kondensatorspannung nehmen die freien Elektronen durch das elektrische Feld genug Energie auf um ihrerseits wiederum Atome zu Ionisieren und dadurch entlang des Feldes eine sogenannte Townsend-Lawine auszulösen. Dies führt zu einem messbaren Ladungsimpuls. Die gesammelte Ladung  $Q$  ist proportional zur Strahlungsenergie, weshalb dieser Bereich als Proportionalitätsbereich bezeichnet wird. Im letzten und zugleich höchsten praktikablen Spannungsbereich ist die Energie der Elektronen so groß, dass sich die Lawinen durch UV-Quanten nicht nur entlang des Feldes, sondern im gesamten Zählrohr ausbreiten. Der resultierende Spannungsstoß lässt keine

Rückschlüsse mehr auf die ursprüngliche Teilchenergie zu, allerdings werden bereits sehr geringe Strahlungsintensitäten registriert. Zählrohre, welche in diesem Bereich arbeiten, werden Geiger-Müller-Zählrohr genannt.

### 2.3 Tot- und Erholungszeit

Die positiv geladenen Ionen, die bei Strahlungseinfall entstehen, bewegen sich aufgrund der hohen Masse deutlich langsamer zur Kathode. Sie erzeugen für eine begrenzte Zeit  $T$  eine positive Raumladung, die dem äußeren elektrischen Feld entgegenwirkt. Da in dieser Zeit die elektrische Feldstärke in drahtnähe sehr gering ist, können keine Elektronenlawinen, und somit keine Impulse ausgelöst werden, weshalb diese Zeit als Totzeit bezeichnet wird, in der keine Strahlung registriert wird. Auf die Totzeit folgt ein Zeitraum in der sich die Feldstärke mit Abwandern der positiven Ladungsträger wieder aufbaut. Erst nach Abschluss dieser Erholungszeit  $T_e$  haben ausgelöste Ladungsimpulse wieder ihre ursprüngliche Höhe.

### 2.4 Nachentladungen

Wenn die Ionen den Zählrohrmantel erreichen, sind sie durch ihre hohe Energie in der Lage, Elektronen aus dem Metall abzulösen. Diese freien Elektronen sind in der Lage nach Beschleunigung durch das elektrische Feld selbst ionisationsakte durchzuführen und eine Elektronenlawine auszulösen. Diese Nachentladungen lösen Impulse aus, die ionisierende Strahlung vortäuschen und dadurch Intensitätsmessungen verfälschen können. Daher werden sie durch Zusatz von Alkoholdämpfen zum Zählrohrgas größtenteils unterbunden. Die Alkoholmoleküle werden ionisiert und ihre Energie wird durch Anregung von Schwingungen verbraucht, sodass keine Nachentladungen entstehen.

### 2.5 Charakteristik

Jedes Zählrohr besitzt eine bestimmte Charakteristik, die die detektierte Teilchenzahl in Abhängigkeit von der angelegten Spannung beschreibt (bei konstanter Strahlungsintensität). Ab dem Spannungswert  $U_e$  kann das Zählrohr akkurat arbeiten. An diesen Wert schließt sich ein Spannungsintervall an in dem das Zählrohr arbeitet, und das die Form eines "Plateaus" annimmt. Bei einem idealen Zählrohr weist das Plateau eine perfekte Ebenheit, also keinerlei Steigung auf, es wird also unabhängig von der angelegten Spannung der gleiche Teilchenwert registriert. Im realen Fall hat das Plateau immer eine leichte Steigung, da höhere Spannungswerte öfter zu vereinzelten Nachentladungen führen. Wenn die Spannung über den optimalen Arbeitsbereich hinaus erhöht wird, führen die Nachentladungen zu einer Dauerentladung, die das Zählrohr früher oder später zerstört.

### 2.6 Ansprechrate

Ein weiterer essentieller Kennwert für Geiger-Müller-Zählrohre ist die sogenannte Ansprechrate, also die Wahrscheinlichkeit, mit der das Zählrohr auf Strahlung einer bestimmten Form reagiert.  $\alpha$  und  $\beta$ -Strahlung haben ein so hohes Ionisationsvermögen, dass das

Zählrohr sie in nahezu 100% der Fälle registriert. Um sicherzugehen, dass die Strahlung das Zählrohrgas erreicht, wird für das Zählrohrfenster extrem dünne Mylar-Folie mit geringer Dichte verwendet, sodass selbst  $\alpha$ -Teilchen die Abschirmung durchdringen können. Im Gegensatz zu  $\alpha$  bzw.  $\beta$ -Strahlung interagieren hochenergetische  $\gamma$ -Quanten nur äußerst limitiert mit Materie. Daher liegt die Ansprechrate für diese Form radioaktiver Strahlung nur bei ca. 1%.

## 2.7 Zählrohrstrom

Mithilfe des mittleren Zählrohrstroms  $I$  lässt sich die Zahl der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (2)$$

berechnen.

## 2.8 Zwei Quellen Methode

Aufgrund der Totzeit  $T$  des Zählrohres ist die gemessene Zählrate  $N_r$  immer geringer als die Zahl der tatsächlich eingetroffenen Teilchen  $N_w$ . Da in der Zeit  $t$   $N_r t$  Teilchen registriert werden, ist das Zählrohr für die Zeit  $TN_r t$  unempfindlich, und misst nur für  $t - TN_r t$ . Daraus ergibt sich für die reale Meßrate:

$$N_w = \frac{\text{Impulsrate}}{\text{Mezeit}} = \frac{N_r t}{(1 - TN_r)t} = \frac{N_r}{1 - TN_r} \quad (3)$$

Basierend darauf kann die Totzeit bestimmt werden. Wenn zwei Strahlenquellen zusammen und jeweils getrennt gemessen werden, ist die Zählrate beider Quellen gemeinsam kleiner als die Summe der einzelnen Zählraten ( $N_{1+2} < N_1 + N_2$ ). Da für die realen Zählraten jedoch  $N_{w1+2} = N_{w1} + N_{w2}$  gelten muss, ergibt sich aus (3)

$$\frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} = \frac{N_1}{1 - TN_1} - \frac{N_2}{1 - TN_2} \quad (4)$$

Daraus lässt sich bei bekannten Zählraten die Totzeit gemäß

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

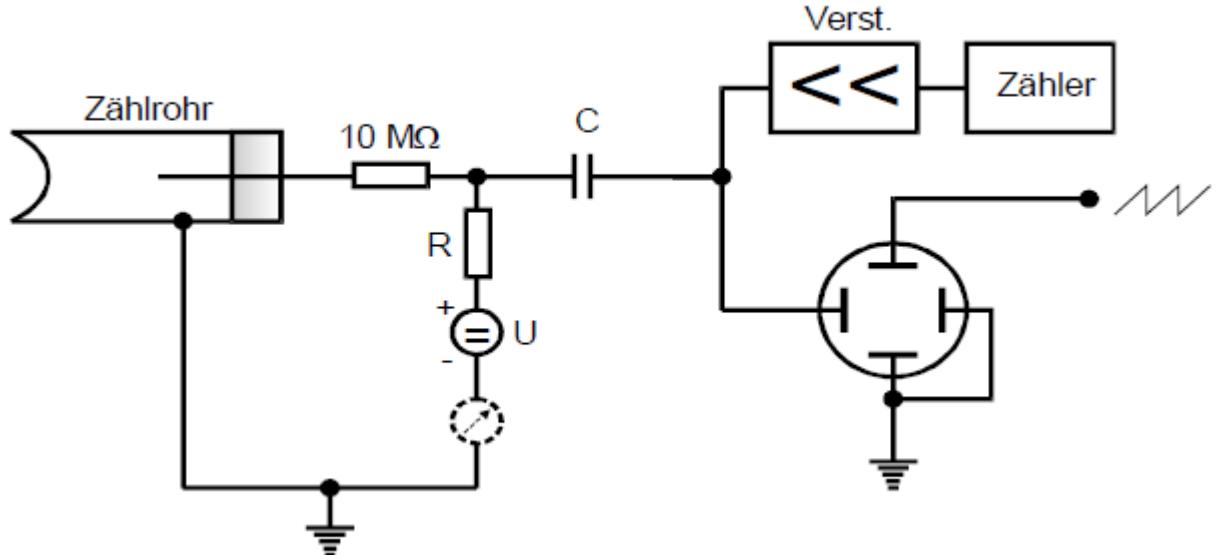
berchnen. Hier wurde die Näherung  $(TN_i)^2 \ll 1$  (mit  $i = 1, 2, 1 + 2$ ) angenommen.

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurde die Anordnung gemäß Abbildung 1 verwendet. Die Ladung des Zählrohrdrahtes löst am Widerstand einen Spannungsimpuls aus, der am Kondensator

entkoppelt wird. Anschließend wird der Impuls verstärkt und am Zähler registriert oder an einem Oszilloskop sichtbar gemacht. Die  $\beta$ -Strahlen Quelle wurde derart auf das Zählrohr gerichtet, dass die Zählrate  $100\text{imp}/\text{s}$  nicht übersteigt, um Abweichungen aufgrund der vergleichsweise hohen Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohres zu vermeiden.



**Abbildung 1:** Pro einfallendem Teilchen ausgelöste Ladung Quelle: 1. TU-Dortmund, V703 Das Geiger-Müller-Zählrohr

### 3.2 Messung der Charakteristik

Zur Messung der Charakteristik wurde die Spannung in Intervallen von  $10\text{V}$  erhöht, und die Zahl der Impulse pro  $60\text{s}$  gemessen. Diese Zeitspanne wurde gewählt, um zu gewährleisten, dass die Zahl der Impulse in der Größenordnung  $N = 10000$  liegt, damit der Messfehler  $\Delta N = \sqrt{N}$  ca.  $1\%$  oder geringer ist. Außerdem wurde die Zählrohrspannung in Abständen von  $\Delta U = 50\text{V}$  gemessen.

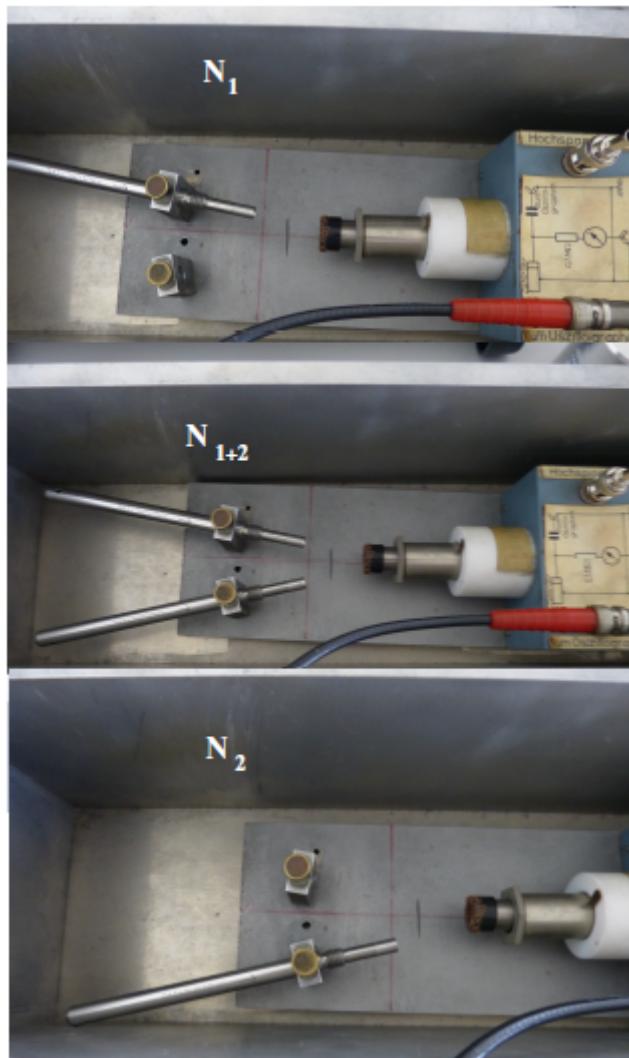
### 3.3 Messung der Totzeit

#### 3.3.1 Oszilloskop

Die Totzeit kann, wenn auch nur ungenau, bestimmt werden, indem von einem Oszilloskop die Zeitspanne zwischen dem ursprünglichen Impuls und dem ersten nachfolgenden Impuls bei bekannter Ablenkgeschwindigkeit des Kathodenstrahls abgelesen wird.

### 3.3.2 Messung mithilfe der zwei-Quellen-Methode

Um eine Totzeitkorrektur zur erhalten wurde die Impulsrate erhöht indem der Abstand zum Zählrohr verringert wurde. Anschließend wurde wie in Abbildung 2 zunächst über 120s die Zählrate der ersten Quelle gemessen, anschließend wurde eine zweite Quelle hinzugefügt und zuletzt die erste Quelle entfernt und jeweils über die gleiche Zeitspanne gemessen.



**Abbildung 2:** Pro einfallendem Teilchen ausgelöste Ladung. Quelle: 1. TU-Dortmund, V703 Das Geiger-Müller-Zählrohr Abschnitt 6

## 4 Auswertung

In diesem Kapitel werden die aufgenommenen Messwerte ausgewertet.

### 4.1 Zählrohr Charakteristik

In diesem Abschnitt wird die sogenannte Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohres ermittelt. Dazu wird der Abstand der Strahlungsquelle so gewählt, das die Impulsrate bei etwa 10 000 Imp/min liegt um eine zu große Ungenauigkeit durch Totzeiten zu vermeiden. Da die Messwerte poissonverteilt sind wird der Fehler über Gleichung 6 Um die Plateau-

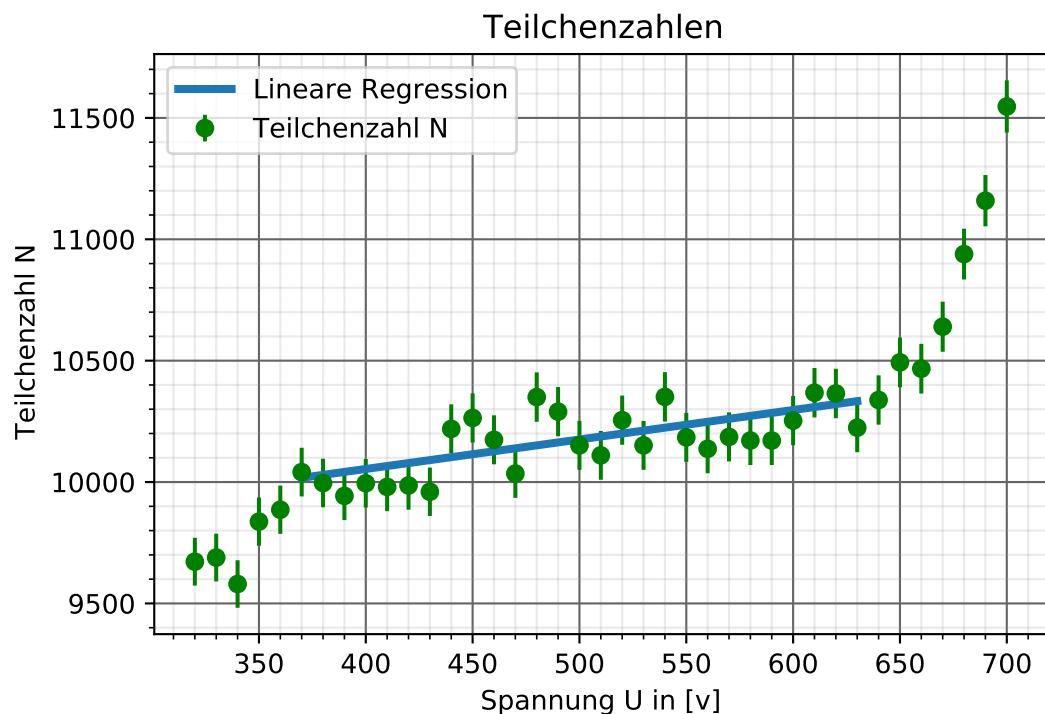


Abbildung 3: Teilchenzahlen im Geiger-Müller-Zählrohr

Steigung zu ermitteln wurde mittels linearer Regression ein Polynom ersten Grades durch die Messpunkte gelegt:

$$f(x) = ax + b \rightarrow D_f = \{x \in \mathbb{R} | 360 \leq x \leq 620\}$$

mit folgenden Parametern:

$$\begin{aligned} a &= 1.215 \pm 0.256 \frac{1}{V} \\ b &= 9567.924 \pm 125.414 \end{aligned}$$

Das Plateau hat eine Länge von etwa 260 V im Bereich von 360 V bis 620 V die Steigung ergibt sich aus:

$$\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = \frac{((1.014 \pm 0.017) \times 10^4 - 1.002 \pm 0.016) \times 10^4}{470V - 370V} = (1,215 \pm 0,256) \frac{\%}{100}.$$

Die verwendeten Messwerte sind: Der zu jedem Messwert gehörende Fehler berechnet sich über die Poissonverteilung:

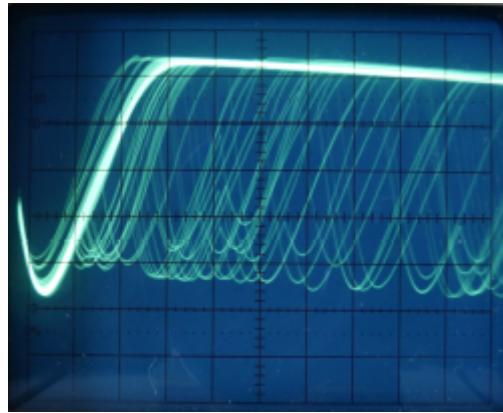
$$\Delta N = \sqrt{N} \quad (6)$$

## 4.2 Totzeit des Zählrohres

An dieser Stelle wird zunächst mithilfe eines Oszilloskopes die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohres abgeschätzt und anschließend mit der Zwei-Quellen-Methode genauer vermessen bzw. abgeschätzt.

### 4.2.1 Totzeitbestimmung mit dem Oszilloskop

In Abbildung 4 ist die Bildröhre eines Oszilloskopes zu sehen. Die Totzeit ist der Raum zwischen den ersten beiden Signalen. Da das Oszilloskop auf 100μs/DIV eingestellt ist und die beiden Signale etwa eine Unterteilung (DIV) auseinander liegen wird die Totzeit auf  $T \approx 100\mu s$  geschätzt.



**Abbildung 4:** Signal am Geiger-Müller-Zählrohr 100μs/DIV Quelle: 1. TU-Dortmund, V703 Das Geiger-Müller-Zählrohr

### 4.2.2 Totzeitbestimmung mit der Zwei-Quellen-Methode

Die Totzeit lässt sich mit der Näherungsformel Gleichung 5 aus den Messwerten ?? für  $N_1$ ,  $N_2$  und  $N_{1+2}$  sofort ermitteln, es folgt also mit:

$$\begin{aligned} N_1 &= 96041 \frac{Imp}{120s} \\ N_2 &= 76518 \frac{Imp}{120s} \\ N_{1+2} &= 158479 \frac{Imp}{120s} \end{aligned}$$

**Tabelle 1:** Gemessene Impulse pro Zeitintervall in Abhängigkeit von der Spannung

$U[V]$	$N[\text{Imp}/\text{min}]$
320	9672 $\pm$ 98
330	9689 $\pm$ 98
340	9580 $\pm$ 98
350	9837 $\pm$ 99
360	9886 $\pm$ 99
370	10041 $\pm$ 100
380	9996 $\pm$ 100
390	9943 $\pm$ 100
400	9995 $\pm$ 100
410	9980 $\pm$ 100
420	9986 $\pm$ 100
430	9960 $\pm$ 100
440	10219 $\pm$ 101
450	10264 $\pm$ 101
460	10174 $\pm$ 101
470	10035 $\pm$ 100
480	10350 $\pm$ 102
490	10290 $\pm$ 101
500	10151 $\pm$ 101
510	10110 $\pm$ 101
520	10255 $\pm$ 101
530	10151 $\pm$ 101
540	10351 $\pm$ 102
550	10184 $\pm$ 101
560	10137 $\pm$ 101
570	10186 $\pm$ 101
580	10171 $\pm$ 101
590	10171 $\pm$ 101
600	10253 $\pm$ 101
610	10368 $\pm$ 102
620	10365 $\pm$ 102
630	10224 $\pm$ 101
640	10338 $\pm$ 102
650	10493 $\pm$ 102
660	10467 $\pm$ 102
670	10640 $\pm$ 103
680	10939 $\pm$ 105
690	11159 $\pm$ 106
700	11547 $\pm$ 107

$$T = (110 \pm 50)\mu s$$

Der entsprechende Fehler wurde mit der Gaußschen-Fehlerfortpflanzung ermittelt. Dazu wurden folgende Ableitungen verwendet:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial N_1} = \frac{c - b}{2ba^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial N_2} = \frac{c - a}{2ab^2}$$

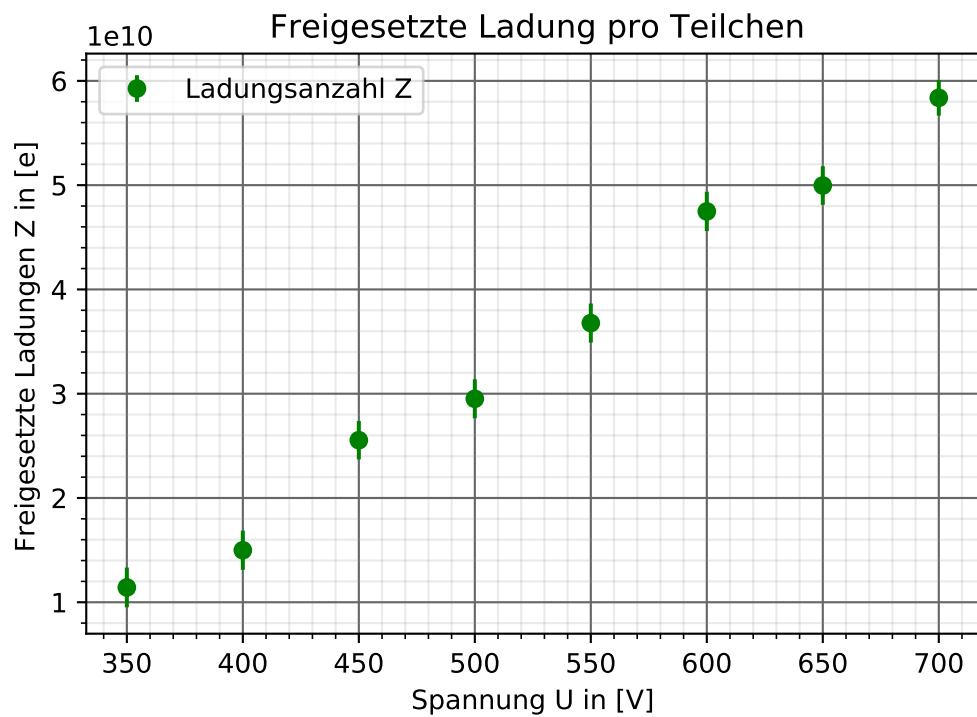
$$\frac{\partial T}{\partial N_{1+2}} = -\frac{1}{2ab}$$

### 4.3 Ladung pro einfallendem Teilchen

Im folgenden Diagramm Abbildung 5 ist die Anzahl der Ladungen  $Z$  die durch ein einziges einfallendes Teilchen ausgelöst wurden gegen die Spannung aufgetragen. Die Zahl  $Z$  lässt sich mit diesen Werten: direkt über Gleichung 2 berechnen

**Tabelle 2:** Messwerte des Stromes

$U[V]$	$I[\mu A]$
350	$0.3 \pm 0.05$
400	$0.4 \pm 0.05$
450	$0.7 \pm 0.05$
500	$0.8 \pm 0.05$
550	$1.0 \pm 0.05$
600	$1.3 \pm 0.05$
650	$1.4 \pm 0.05$
700	$1.8 \pm 0.05$



**Abbildung 5:** Pro einfallendem Teilchen ausgelöste Ladung

**Tabelle 3:** Ladungen pro einfallendem Teilchen

$U[V]$	$N[e]$
350	$11420877863 \pm 1906959500$
400	$14987116964 \pm 1879377895$
450	$25540082774 \pm 1841627474$
500	$29513591578 \pm 1867714299$
550	$36772445516 \pm 1874382573$
600	$47482469587 \pm 1885491961$
650	$49965388277 \pm 1849942326$
700	$58377332056 \pm 1710174398$

## 5 Diskussion

In diesem Versuch sollten Verschiedene Eigenschaften eines Geiger-Müller-Zählrohres beschrieben werden, dazu wurde zunächst in Unterabschnitt 4.1 die Kennlinie Abbildung 3 des Verwendeten Gerätes ermittelt und an das Plateau mittels linearer Regression ein Polynom ersten Grades angepasst. Dieses Polynom hat wie erwartet eine geringe Steigung von etwa 1,22%, was bedeutet, dass es noch gelegentlich zu Nachentladungen kommt, es sich aber im allgemeinen um ein qualitativ hochwertiges Zählrohr handelt. Das Plateau ist jedoch schlecht zu identifizieren und kann daher die Aussage über die Qualität des Zählrohrs nur schwer verifizieren. Hier wurde es mit einer Länge von etwa 260 Einheiten angenommen und liegt zwischen 360 V und 620 V in der gewählten Darstellung. Als nächstes wurde die Totzeit in Unterabschnitt 4.2 zunächst mithilfe eines Oszilloskopes bestimmt. Unterunterabschnitt 4.2.1. Der abgelesene Wert von  $T \approx 100\mu s$  ist wie sich in Unterunterabschnitt 4.2.2 zeigt sehr ähnlich groß wie der mittels der Zwei-Quellen-Methode errechnete bzw. gemessene. Um die Totzeit genauer zu bestimmen wurde wie bereits erwähnt die Zwei-Quellen-Methode Unterunterabschnitt 4.2.2 verwendet. Der errechnete Wert  $T = 0,96 \pm 0,04s$  liegt zumindest in der gleichen Größenordnung wie der Messwert der im vorherigen Kapitel mittels Oszilloskop bestimmten Wertes. Der Literaturwert liegt bei 0,1ms was sich exakt mit der Messung am Oszilloskop deckt und von dem errechneten Wert um etwa 10% abweicht. Die Oszilloskop-Methode eignet sich sehr gut um eine schnelle Abschätzung vorzunehmen, allerdings können hier sehr leicht Ablesefehler passieren die zu groben Ungenauigkeiten führen. Die Zwei-Quellen-Methode ist zwar bedeutend aufwändiger da zwei Quellen benötigt werden und drei Messungen durchgeführt werden müssen, dafür ist sie allerdings im Rahmen der Näherung präzise und es können nur Rechenfehler passieren. Da eine Totzeitbestimmung theoretisch nur einmal durchgeführt werden muss, ist es sinnvoll die zwar aufwändigere aber präzisere Methode der Zwei-Quellen zu nutzen. An Ende wurde noch die Anzahl der Ladungen die von einem einzelnen in das Geiger-Müller-Zählrohreinfallenden Teilchen im Rahmen eines Teilchenschauers ausgelöst werden und den Messdraht erreichen. Diese Zahlen scheinen für Teilchen der entsprechenden Energie durchaus realistisch. Im ganzen kann von einem erkennensreichen gut gelungenen Versuch gesprochen werden.

## 6 Literatur

1. TU-Dortmund, V703 Das Geiger-Müller-Zählrohr
2. Dieter Meschede, Gerthsen Physik 25.Aufl.
3. <https://www.chemie.de/lexikon/Geiger%C3%A4hler.html> (30.10.21)

## 7 Anhang

Auf den folgenden Seiten finden sich die Originalmesswerte.

# Messdaten und Hinweise zum Versuch

## *Das Geiger-Müller Zählrohr*

Der Versuch ist entsprechend der Anleitung mit einer  $^{204}Tl$ -Quelle aufgebaut. Die Quelle wurde so plaziert, dass bei einer mittleren Zählrohrspannung eine Zählrate von 100 Imp/s nicht überschritten wurde. Warum ist das wichtig?

### 1. Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

In Schritten von  $\Delta U = 10V$  wurde die Anzahl der Zerfälle pro Zeitintervall gemessen. Die Messdaten stehen für das Einlesen in weitere Programme in der Datei **Kennlinie.dat** zur Verfügung. Die Integrationszeit pro Zählrohrspannung betrug  $t = 60s$ , damit die Zählrate im Geiger-Plateau in der Größenordnung von  $N = 10000$  Imp liegt. (Warum? Begründung nicht vergessen). Die Zählraten sind Poisson verteilt, sodass die Messunsicherheiten durch  $\Delta N = \sqrt{N}$  gegeben sind. Plotten Sie die Kennlinie (Fehlerbalken nicht vergessen) und legen Sie in das Geiger-Plateau eine Gerade, aus deren Steigung Sie den Plateauanstieg des Geiger-Müller Zählrohres bestimmen.

Während der Aufnahme der Geiger-Müller Kennlinie wurde die Wartezeit genutzt und alle 50V der Zählrohrstrom I am Amperemeter abgelesen (letzte Aufgabe) Die Ablesegenauigkeit am Amperemeter beträgt  $\Delta I = 0.05\mu A$ .

U [V]	N [Imp/60s]	I [ $\mu A$ ]	U [V]	N [Imp/60s]	I [ $\mu A$ ]
320	9672		520	10255	
330	9689		530	10151	
340	9580		540	10351	
350	9837	0.3	550	10184	1.0
360	9886		560	10137	
370	10041		570	10186	
380	9996		580	10171	
390	9943		590	10171	
400	9995	0.4	600	10253	1.3
410	9980		610	10368	
420	9986		620	10365	
430	9960		630	10224	
440	10219		640	10338	
450	10264	0.7	650	10493	1.4
460	10174		660	10467	
470	10035		670	10640	
480	10350		680	10939	
490	10290		690	11159	
500	10151	0.8	700	11547	1.8
510	10110				

## 2. Bestimmung der Totzeit

### Zwei-Quellen-Methode:

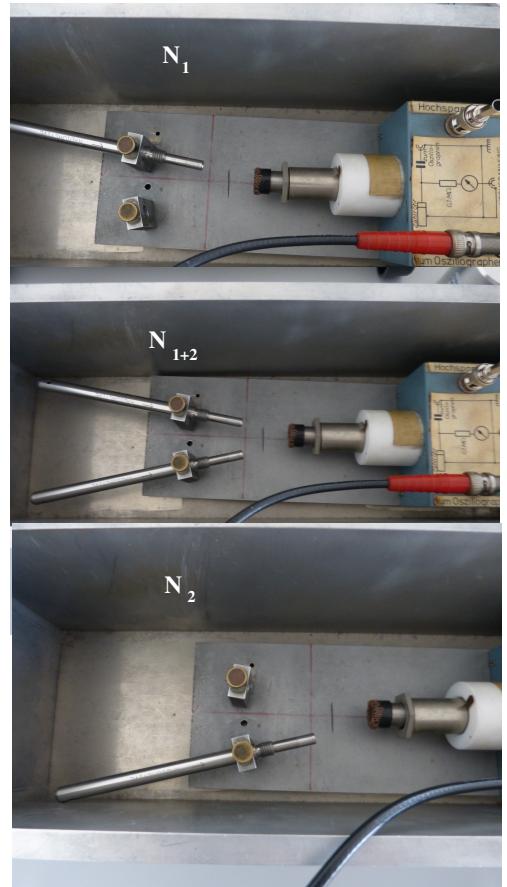
Für die Bestimmung der Totzeit mit der *Zwei-Quellen-Methode* wurde die  $^{204}\text{Tl}$ -Quelle näher an das Geiger-Müller Zählrohr gerückt, um eine Totzeitkorrektur zu erhalten. Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen, wurde die Messzeit auf  $t = 120\text{s}$  erhöht. Es wurden folgende Zählraten gemessen:

$$N_1 = 96041 \text{ Imp}/120\text{s}$$

$$N_{1+2} = 158479 \text{ Imp}/120\text{s}$$

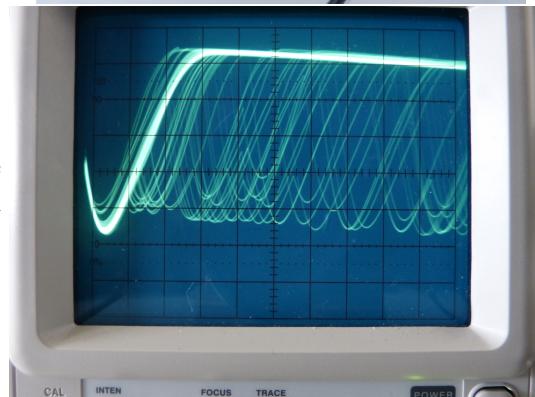
$$N_2 = 76518 \text{ Imp}/120\text{s}$$

Berechnen Sie aus den Zählraten die Totzeit.



### Oszilloskop:

Eine etwas ungenauere Methode ist die Bestimmung der Totzeit mit dem Oszilloskop. In der nebenstehenden Abbildung ist eine Momentaufnahme zu sehen. Die Zeitachse am Oszilloskop ist  $100\mu\text{s}/DIV$ . Lesen Sie die Zeit zwischen dem ersten und zweiten Puls ab. Die Erholungszeit kann aus diesem Bild nicht bestimmt werden. Dieser Aufgabenteil entfällt.



## 3. Bestimmung des Zählrohrstroms

Aus dem mittleren Zählrohrstrom  $I$  kann die Zahl  $Z = \frac{I}{e_0 N}$  der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen berechnet werden. Berechnen Sie  $Z$  aus den angegebenen Strömen und stellen Sie das Ergebnis graphisch dar. Die Messdaten stehen für das Einlesen in weitere Programme in der Datei `Zaehlrohrstrom.dat` zur Verfügung. Vergessen Sie nicht, die Messunsicherheit für  $Z$  zu bestimmen.