

V703

## **Geiger-Müller-Zählrohr**

Mirjam Prayer

mirjam.prayer@tu-dortmund.de

Nikola Mang

nikola.mang@tu-dortmund.de

Durchführung: /

Abgabe: 25.01.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Wirkungsweise . . . . .	3
1.2	Totzeit, Nachentladungen . . . . .	4
1.3	Charakteristik . . . . .	5
1.4	Ansprechvermögen . . . . .	7
1.5	Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>8</b>
2.1	Aufbau . . . . .	8
2.2	Charakteristik . . . . .	8
2.3	Totzeit . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>9</b>
3.1	Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	9
3.2	Totzeitbestimmung anhand eines Oszilloskopes . . . . .	11
3.3	Totzeitbestimmung anhand der Zwei-Quellen-Methode . . . . .	11
3.4	Berechnung der pro Teilchen freigesetzter Ladungsmenge . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>

# 1 Theorie

## 1.1 Wirkungsweise

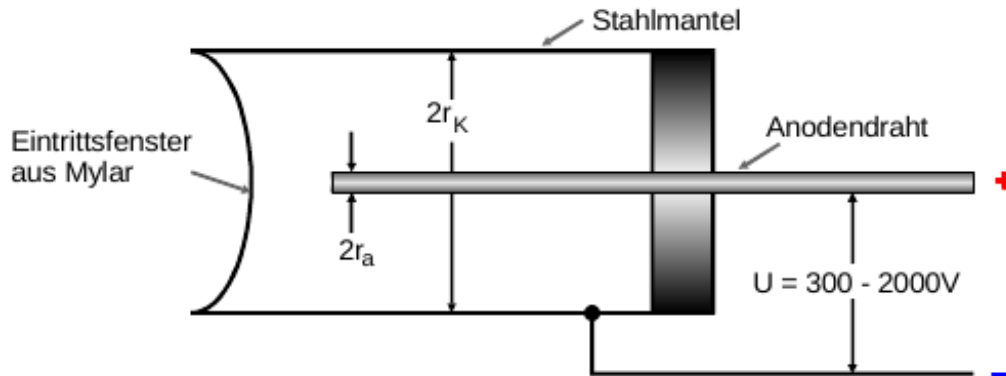


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Zählrohrs.

Beim Geiger-Müller-Zählrohr umgibt ein Stahlmantel in zylindrischer Form ein Gasgemisch, meist mit Alkoholanteil. Innen befindet sich ein Anodendraht, dessen Gegenstück der Zylinder darstellt, der also auch als Kathode fungiert.

Geladene Teilchen tendieren dazu, stark zu reagieren, daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie in das Innere des Zählrohrs eintreten, ausgesprochen gering. Stattdessen werden sie im metallischen Mantel absorbiert. Um dafür zu sorgen, dass auch einige Teilchen ins Innere gelangen, wird an die Seite, die nicht mit dem Strom verbunden ist, eine dünne Wand aus Material mit Atomen niedriger Ordnungszahl. Häufig wird beispielsweise Mylar-Folie verwendet. Diese Zählrohre werden auch Endfensterzählrohre genannt. Durch den im Zylinder herrschenden Unterdruck beugt sich die Folie nach Innen, wie in 1 zu sehen ist. Durch den zylindersymmetrischen Aufbau entsteht bei Anlegen einer äußeren Spannung ein radialsymmetrisches Feld, für das gilt

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

Wobei  $r_a$  den Radius der Anode und  $r_k$  den Radius der Kathode bezeichnen. Ein geladenes Teilchen in diesem Feld wird um einen Wert beschleunigt, der sich in einem Bereich von  $(r_a < r < r_k)$  proportional zu  $\frac{1}{r}$  verhält.

Dringt ein geladenes Teilchen in das Zählrohr ein, wird seine Energie nach und nach durch Ionisation aufgebraucht, bis es vollständig absorbiert ist. Die Energie, die das Teilchen zu Anfang hat, ist aber um ein Vielfaches höher als die Energie pro gebildetem Ionenpaar, wodurch die Anzahl an entstehenden Elektronen und positiven Ionen proportional zur Anfangsenergie ist.

Nach dieser Primärionisation laufen je nach angelegter Spannung verschiedene Vorgänge

ab.

Ist die Spannung gering, so erreichen nicht alle erzeugten Elektronen den Anodendraht und die Anderen unterliegen vorher der Rekombination. In der Abbildung ist dies der Bereich 1.

Als Ionisationskammer wird ein Gerät bezeichnet, das mit etwas höheren Spannungen arbeitet, sodass die Rekombinationswahrscheinlichkeit weitaus geringer ist. Es gelangen praktisch alle Elektronen zum Anodendraht und es fließt ein kontinuierlicher Ionisationsstrom zwischen Kathode und Anode, der proportional zu Energie und Intensität der einfallenden Strahlung ist. Bei weniger hohen Strahlintensitäten ist der Einsatz einer Ionisationskammer nicht sinnvoll, da die entstehenden Ströme sehr klein sind.

Wenn die Spannung erhöht wird, steigt die Feldstärke in Drahtnähe, sodass die freigesetzten Elektronen ionisieren können, da sie zwischen den Zusammenstößen mit Argon-Atomen ausreichend Energie aufnehmen. Die durch diesen Stoßionisation genannten Vorgang entstandenen Elektronen können auf dieselbe Weise wieder ionisieren, solange die Spannung dazu ausreicht, es bildet sich also eine sogenannte Townsend-Lawine aus.

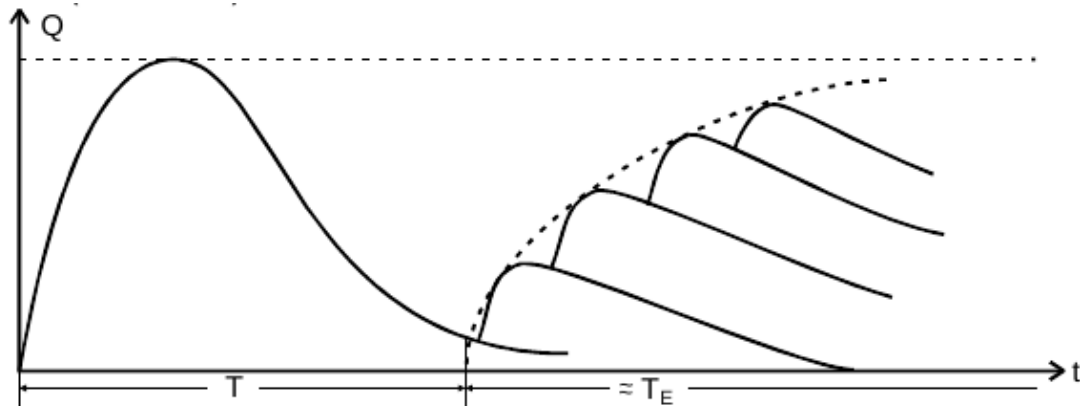
Pro einfallendem Teilchen sammelt sich nun so viel Ladung, dass ein Ladungsimpuls gemessen werden kann. Aufgrund des Proportionalitätszusammenhangs zwischen gesammelter Ladung und Anfangsenergie ist dieser Ladungsimpuls ein Maß für die Teilchenenergie. Es wird in diesem Spannungsbereich daher von einem Proportionalzählrohr gesprochen. Oberhalb dieses Proportionalbereichs ist die gesammelte Ladung unabhängig von der Anfangsenergie, allein das Volumen des Zählrohrs und die Spannung sind dann entscheidende Parameter. Durch die Elektronenlawinen werden Argon-Atome angeregt und emittieren ultraviolette Photonen, wodurch dann wiederum freie Elektronen entstehen, aufgrund der Neutralität der Photonen im gesamten Volumen. Es ist dann wieder nur die Intensität einfallender Strahlung messbar, nicht mehr die Energie, allerdings arbeitet das Geiger-Müller-Zählrohr sehr viel effektiver als das Proportionalzählrohr, da es einen geringeren elektronischen Aufwand verlangt. Auch ist der Ladungsimpuls unabhängig vom Ionisationsvermögen der einfallenden Strahlung.

## 1.2 Totzeit, Nachentladungen

Als Totzeit  $T$  wird die Zeit bezeichnet, die das Geiger-Müller-Zählrohr nach der Registrierung eines Teilchen nicht in der Lage ist, Weitere zu registrieren. Sie ist eine Folge davon, dass die Ionen aufgrund ihrer Masse einige Zeit im Gasgemisch zwischen Kathode und Anode bleiben, während die leichteren Elektronen schnell zur Anode in der Mitte wandern. So entsteht eine positive Ladung im Zylinder, auch Ionenschlauch genannt, die die Feldstärke um den Draht herabsetzt. In dieser Zeit ist dann keine Stoßionisation möglich.

Durch ihre positive Ladung wandert die Ionenwolke zum Zylindermantel, der Kathode der Anordnung. Dabei kann die Feldstärke ansteigen und Lawinenbildung wieder ermöglichen. Die dadurch entstehenden Signale werden aber schwächer sein, bis die Feldstärke wieder ihren ursprünglichen Wert erreicht hat, also auch die Ionen aller nachfolgenden Prozesse neutralisiert wurden. Diese Zeit, die sich unmittelbar an die Totzeit anschließt, wird Erholungszeit  $T_E$  genannt.

In Abbildung 2 werden diese beiden Zeiträume qualitativ dargestellt.



**Abbildung 2:** Beispielhafte Darstellung von Tot- und Erholungszeit.

Treffen die zuvor beschriebenen Ionen dann auf den Mantel, können sie aus dem Metall Elektronen herauslösen, die dann die Zählrohrenladung erneut zünden können. Sie werden als Sekundärelektronen bezeichnet und sorgen dafür, dass ein einzelnes Teilchen mehrere Ausgangsimpulse zur Folge haben kann: Die Primärentladung und weitere Nachentladungen, die im Abstand von der Laufzeit  $T_L$  der Ionen auftreten. Im Allgemeinen ist diese Laufzeit größer als die Totzeit, wodurch es scheint, als würden weitere ionisierte Teilchen das Rohr durchqueren.

Es ist also eine wichtige Aufgabe, diese Nachentladung möglichst zu unterbinden. Dazu wird der Alkoholanteil im Gasgemisch nützlich: Die Edelgasionen ionisieren durch Zusammenstöße die Alkoholmoleküle, und da deren Energie geringer ist, reicht sie beim Auftreffen auf den Zylindermantel nicht aus, um Elektronen herauszulösen.

### 1.3 Charakteristik

Als Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs bezeichnet man ein Diagramm, in dem die registrierte Teilchenzahl gegen die angelegte Spannung aufgetragen wird. Dabei soll die Strahlungsintensität konstant bleiben. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel einer solchen Charakteristik.

$U_E$  markiert den Zeitpunkt, an dem der Auslösebereich beginnt. Der darauf folgende, Plateau genannte, Bereich verläuft linear. Idealerweise sollte die Steigung null sein, real ist das allerdings nicht zu erreichen, da bei steigender Spannung auch die Teilchenzahl gering steigen wird, wegen Nachladungen, die die Alkoholdämpfe nicht verhindern können. Die Steigung des Plateaus ist auch ein Indikator für die Qualität des Zählrohrs; Je geringer sie ist, desto größer die Qualität.

Nach dem Plateau folgt ein Bereich mit großer Anzahl an Nachentladungen, die in den Bereich der selbstständigen Gasentladung übergeht. Dabei löst ein einziges Teilchen eine Dauerentladung aus, was fatale Auswirkung auf das Zählrohr haben kann.

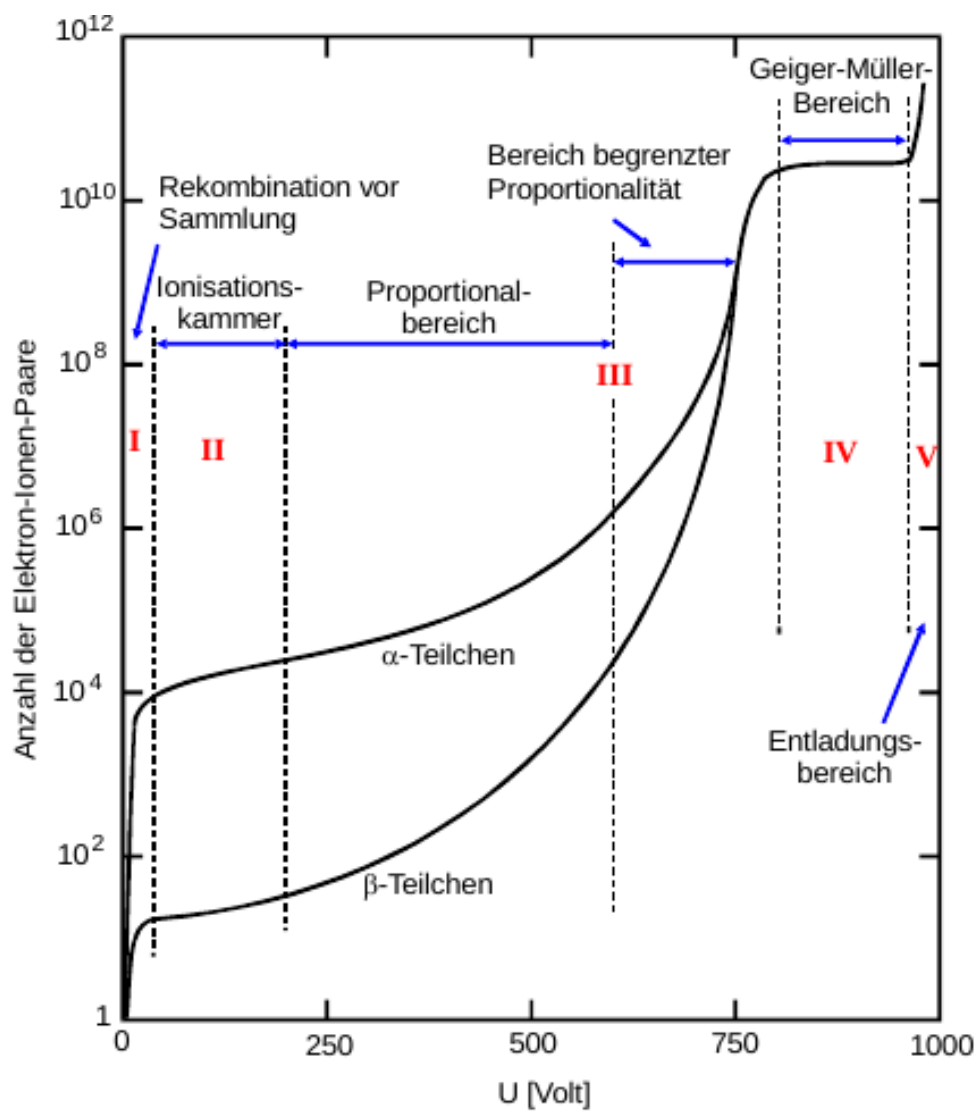


Abbildung 3: Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs.

## 1.4 Ansprechvermögen

Ein weiterer wichtiger Begriff im Zusammenhang mit Geiger-Müller-Zählrohren ist das Ansprechvermögen. Er wird in Prozent angegeben und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen im Zählrohr nachgewiesen wird. Geladene Teilchen wie  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen haben typischerweise ein höheres Ansprechvermögen, da sie reaktionsfreudiger sind als ungeladene Photonen. Daher kann ein Geiger-Müller-Zählrohr nur sinnvoll eingesetzt werden, wenn die Intensität der Photonen sehr hoch ist. Für niederenergetischere Photonen könnte allerdings ein schwereres Füllgas verwendet werden.

## 1.5 Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode

Durch die zuvor beschriebene Totzeit wird die aufgenommene Impulsrate immer kleiner sein als die tatsächliche Anzahl der Teilchen, die das Volumen durchquert haben. Treffen während einer Messung  $N_r$  Teilchen ein, so ist  $TN_r$  der Bruchteil der gesamten Messzeit, in dem keine weiteren Teilchen gemessen werden können. Also werden im  $1 - TN_r$ -Teil der Messzeit alle Teilchen gemessen.

Es gilt dann für die wahre Impulsrate

$$N_w = \frac{N_r t}{(1 - TN_r) t} = \frac{N_r}{1 - TN_r} \quad (2)$$

Indem zwei verschiedene Präparate genutzt werden und die Impulsraten für beide gemessen werden, genau wie die Impulsrate für beide Präparate zusammen, lässt sich die Totzeit bestimmen.

Ohne sie würde gelten

$$N_{1+2} = N_1 + N_2 \quad (3)$$

Doch es wird gemessen, dass

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

Für die wahren Impulsraten der Messungen gelten

$$N_{w_1} = \frac{N_1}{1 - TN_1} \quad (5)$$

$$N_{w_2} = \frac{N_2}{1 - TN_2} \quad (6)$$

$$N_{w_{1+2}} = \frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} \quad (7)$$

Die wahren Impulsraten müssen aber  $N_{w_{1+2}} = N_{w_1} + N_{w_2}$  gehorchen, sodass

$$\frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} = \frac{N_1}{1 - TN_1} + \frac{N_2}{1 - TN_2} \quad (8)$$

Unter der Bedingung, dass  $T^2 N_i^2 \ll 1$  gilt, lässt sich  $T$  näherungsweise aus dieser Formel zu

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1 N_2} \quad (9)$$

bestimmen.

## 2 Durchführung

### 2.1 Aufbau

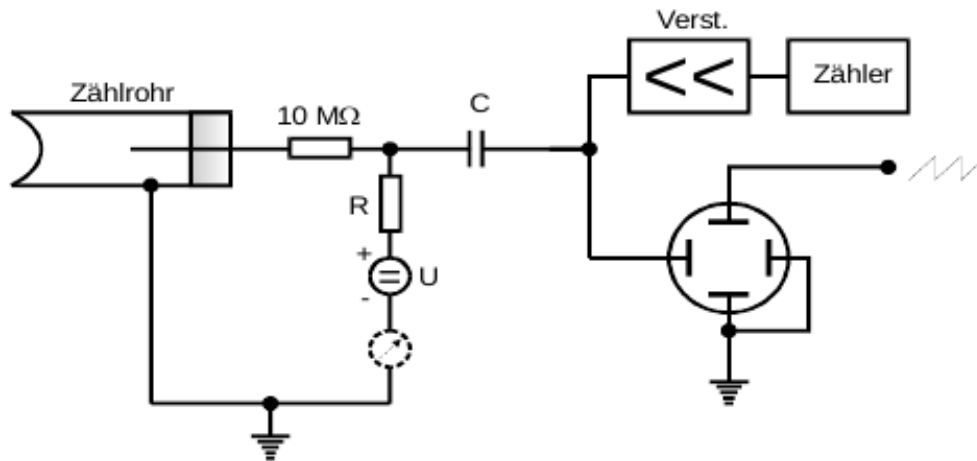


Abbildung 4: Skizze der Messapparatur.

Zur Durchführung des Versuchs wurde die Versuchsanordnung verwendet, die Abbildung 4 zeigt. Vom Anodendraht abfließende Ladung erzeugt am Widerstand einen Spannungsimpuls, der über den Kondensator  $C$  ausgekoppelt wird, im Verstärker vergrößert und im Zählgerät registriert, oder auf dem Schirm eines Oszilloskops dargestellt.

### 2.2 Charakteristik

Um die Charakteristik des Zählrohrs aufzunehmen, wird eine Elektronenquelle vor dem Fenster platziert. Hier wurde eine  $^{204}\text{Tl}$ -Quelle verwendet. Bei der Platzierung wurde dabei darauf geachtet, dass bei mittlerer Spannung eine Rate von 100 Impulsen pro Sekunde nicht überschritten wurde. Dies ist erforderlich, um Totzeit-Korrekturen zu vermeiden.

In 10-Volt-Schritten wurde die Anzahl an Zerfällen pro Zeitintervall gemessen, alle 50 Volt wurde zusätzlich der Strom am Amperemeter abgelesen.

Die Messzeit von  $t = 60\text{s}$  wurde gewählt, um den statistischen Fehler auf unter 1% abzusenken, da die Empfindlichkeit dieser Messung ausgesprochen hoch ist.



### 2.3 Totzeit

Einmal wurde die Totzeit mithilfe des Oszilloskops bestimmt, dazu wurde die Zeitachse auf 100µs eingestellt.

Zudem wurde die Zwei-Quellen-Methode genutzt. Dazu wurde eine weitere  $^{204}\text{Tl}$ -Quelle verwendet, die, um eine andere Impulsrate zu erzielen, näher am Zählrohr platziert wurde.

## 3 Auswertung

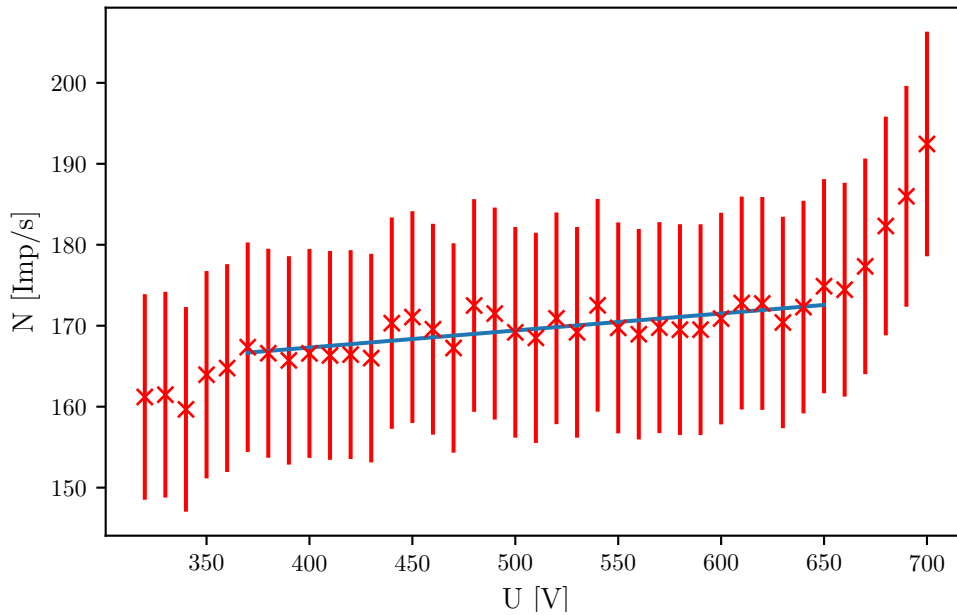
### 3.1 Charakteristik des Zählrohrs

Um die Charakteristik des Zählrohrs zu untersuchen, wird eine  $\beta$ -Quelle vor das Fenster des Zählrohrs gestellt und unter Variation der Betriebsspannung  $U$  die Zählrate gemessen. Die gemessenen Werte finden sich in folgender Tabelle.

**Tabelle 1:** gemessene Impulse in Abhängigkeit der Spannung

U [V]	N [Imp]
320.0000	9672.0000
330.0000	9689.0000
340.0000	9580.0000
350.0000	9837.0000
360.0000	9886.0000
370.0000	10041.0000
380.0000	9996.0000
390.0000	9943.0000
400.0000	9995.0000
410.0000	9980.0000
420.0000	9986.0000
430.0000	9960.0000
440.0000	10219.0000
450.0000	10264.0000
460.0000	10174.0000
470.0000	10035.0000
480.0000	10350.0000
490.0000	10290.0000
500.0000	10151.0000
510.0000	10110.0000
520.0000	10255.0000
530.0000	10151.0000
540.0000	10351.0000
550.0000	10184.0000
560.0000	10137.0000
570.0000	10186.0000
580.0000	10171.0000
590.0000	10171.0000
600.0000	10253.0000
610.0000	10368.0000
620.0000	10365.0000
630.0000	10224.0000
640.0000	10338.0000
650.0000	10493.0000
660.0000	10467.0000
670.0000	10640.0000
680.0000	10939.0000
690.0000	11159.0000
700.0000	11547.0000

Diese sind mit der Messunsicherheit  $\Delta N = \sqrt{N}$  in folgender Grafik dargestellt.



**Abbildung 5:** Anzahl der gemessenen Impulse in Abhängigkeit von der Spannung am Zählrohr

Das Plateau erstreckt sich circa von 370 V bis 640 V und wurde mit einer linearen Regression  $f = a \cdot U + b$  mit den Koeffizienten  $a = 1.262 \pm 0.218$  und  $b =$  gefittet. Die daraus resultierende Plateau-Steigerung beträgt  $1.262 \pm 0.218$  % pro 100 V. Für einen Reibungslosen Ablauf der folgenden Versuchsteile kann eine Spannung zwischen 370 V und 640 V gewählt werden.

### 3.2 Totzeitbestimmung anhand eines Oszilloskopes

Die Zeit zwischen dem ersten und zweiten Puls beträgt nach der Momentaufnahme des Oszilloskops  $T \approx 130$  s.

### 3.3 Totzeitbestimmung anhand der Zwei-Quellen-Methode

Für die Totzeitbestimmung wurden 120 Sekunden lang zunächst die Impulse  $N_1$  einer einzelnen  $^{204}\text{Tl}$ -Quelle gemessen, dann die Impulse  $N_{1+2}$  von zweien und dann diejenigen

der Letzeren. Folgende Werte wurden gemessen:

$$\begin{aligned}N_1 &= 800 \pm 28 \text{ Imp/s} \\N_2 &= 638 \pm 25 \text{ Imp/s} \\N_{1+2} &= 1321 \pm 36 \text{ Imp/s}\end{aligned}$$

Die Totzeit kann näherungsweise durch die in der Theorie hergeleitete Formel

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} = (1,15 \pm 0,47) \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

bestimmt werden. Die Fehlerfortpflanzung wurde mit Phython Uncertainties berechnet.

### 3.4 Berechnung der pro Teilchen freigesetzter Ladungsmenge

Es wurde neben der Impulsanzahl in größeren Abständen auch der Zählrohrstrom gemessen. Dafür wurden die Werte in Tabelle 2 mit einer Genauigkeit von  $\Delta I = 0,05 \mu\text{A}$  ermittelt.

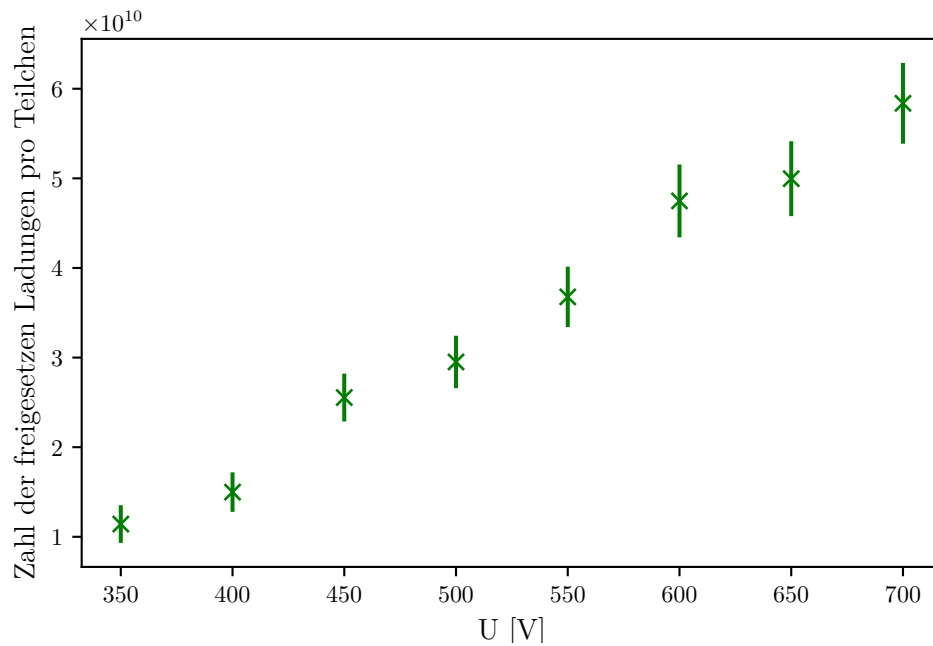
**Tabelle 2:** Messwerte Zählrohrstrom.

$U[\text{V}]$	$I[\mu\text{A}]$	$Z[10^{10}]$
350	0,3	$1,14 \pm 0,21$
400	0,4	$1,49 \pm 0,22$
450	0,7	$2,55 \pm 0,27$
500	0,8	$2,95 \pm 0,29$
550	1,0	$3,67 \pm 0,34$
600	1,3	$4,74 \pm 0,40$
650	1,4	$4,99 \pm 0,42$
700	1,8	$5,85 \pm 0,45$

Durch die Beziehung

$$Z = \frac{I \cdot \Delta t}{e_0 \cdot N}$$

lässt sich somit die Zahl  $Z$  der freigesetzten Ladungen pro eingefallenen Teilchen bestimmen. In der Grafik 6 sind die Werte aus Tabelle 2 für die Zahl  $Z$  auch nochmal graphisch dargestellt.



**Abbildung 6:** Plot.

Der Fehler von Z wird anhand der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

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

bestimmt.

## 4 Diskussion

Zunächst wurde die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht. Dafür wurde bei Variation der Zählrohrspannung die Anzahl der Impulse und der Strom gemessen. Dafür wurden folgende Werte gemessen:

**Tabelle 3:** gemessene Impulse in Abhängigkeit der Spannung

U [V]	N [Imp]
320.0000	9672.0000
330.0000	9689.0000
340.0000	9580.0000
350.0000	9837.0000
360.0000	9886.0000
370.0000	10041.0000
380.0000	9996.0000
390.0000	9943.0000
400.0000	9995.0000
410.0000	9980.0000
420.0000	9986.0000
430.0000	9960.0000
440.0000	10219.0000
450.0000	10264.0000
460.0000	10174.0000
470.0000	10035.0000
480.0000	10350.0000
490.0000	10290.0000
500.0000	10151.0000
510.0000	10110.0000
520.0000	10255.0000
530.0000	10151.0000
540.0000	10351.0000
550.0000	10184.0000
560.0000	10137.0000
570.0000	10186.0000
580.0000	10171.0000
590.0000	10171.0000
600.0000	10253.0000
610.0000	10368.0000
620.0000	10365.0000
630.0000	10224.0000
640.0000	10338.0000
650.0000	10493.0000
660.0000	10467.0000
670.0000	10640.0000
680.0000	10939.0000
690.0000	11159.0000
700.0000	11547.0000

Die daraus gewonnenen Werte für die Länge  $L = 270V$  und die Steigung  $a = 1.262 \pm 0.218$  % pro 100 V sind nicht ideal, aber für die folgende Messung ausreichend gut.

Die Bestimmung der Totzeit anhand des Oszilloskops konnte leider nur anhand eines Bildes geringer Größe bestimmt werden, sodass hier eine hohe Messunsicherheit besteht. Die Totzeitbestimmung durch die Zwei-Quellen-Methode ist ebenfalls nur bedingt aussagekräftig, da durch die hohe Messunsicherheit von  $\sqrt{N}$  des Wert N auch hier Unsicherheiten bestehen. Da aber die durch das Oszilloskop bestimmte Totzeit innerhalb der Messunsicherheit der Zwei-Quellen-Methode liegt, und somit ein ähnlicher Wert aus zwei unterschiedlichen Messmethoden gewonnen wurde, gehen wir davon aus, dass die Berechnung der Totzeit Erfolg hatte.

Auch die Bestimmung der pro Teilchen freigesetzte Ladung ist wegen der hohen Messunsicherheit von N mit Vorsicht zu genießen.