

V703

# Das Geiger-Müller-Zählrohr

Theodor Zies

theodor.zies@tu-dortmund.de

Tom Troska

tom.troska@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.06.2022

Abgabe: 28.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2. Theorie</b>	<b>3</b>
2.1. Aufbau und Funktionsweise . . . . .	3
2.2. Totzeit und Nachentladung . . . . .	5
2.3. Charakteristik des Zählrohres . . . . .	5
<b>3. Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1. Aufnahme der Zählrohrcharakteristik . . . . .	7
3.2. Messung von Nachentladung und Totzeit . . . . .	7
<b>4. Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1. Charakteristik des GMZ . . . . .	7
4.2. Bestimmung der Totzeit mit einem Oszilloskop . . . . .	10
4.3. Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode . . . . .	11
4.4. Freigesetzte Ladung im GMZ . . . . .	12
<b>5. Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>Literatur</b>	<b>14</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>15</b>
A.1. Originaldaten . . . . .	15
A.2. Tabelle zur Bestimmung der freigesetzten Ladungen . . . . .	16

## 1. Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist es, die sogenannte Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs zu untersuchen. Zusätzliches sollen weitere Größen wie die Nachentladung, Totzeit und freigesetzte Ladung bestimmt werden.

## 2. Theorie

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Messinstrument der Kernphysik, es dient zur Messung der Intensität von ionisierender Strahlung. Das Zählrohr erzeugt einen elektrischen Impuls, wenn in seinem Inneren  $\alpha$ -,  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Strahlung absorbiert wird. Die Anzahl dieser Impulse kann gemessen werden und somit kann eine Aussage über die Intensität der Strahlung getroffen werden. Im Folgenden soll zunächst das Zählrohr selber und seine Funktionsweise beschrieben werden.

### 2.1. Aufbau und Funktionsweise

Der Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs ist in Abbildung 1 zu sehen. Es besteht aus einem Kathodenzylinder mit dem Radius  $r_k$  und einem darin axial verlaufenden Anodendraht mit Radius  $r_a$ . Das Innere des Zählrohrs ist mit einem Gasgemisch befüllt, das in diesem Versuch verwendete Zählrohr verwendet hier 100 mbar Argon und 10 mbar Ethylalkohol. Zwischen Anode und Kathode wird die sogenannte Zählrohrspannung  $U$  angelegt, die zwischen ca. 300 V und 2000 V liegt. Ein dünnes Eintrittsfenster lässt die Strahlung hindurch, sorgt aber gleichzeitig dafür, dass das Gasgemisch im Zählrohr bleibt.

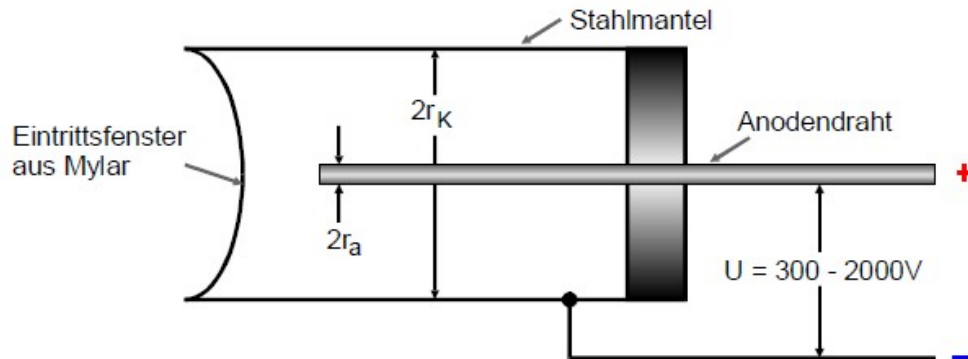
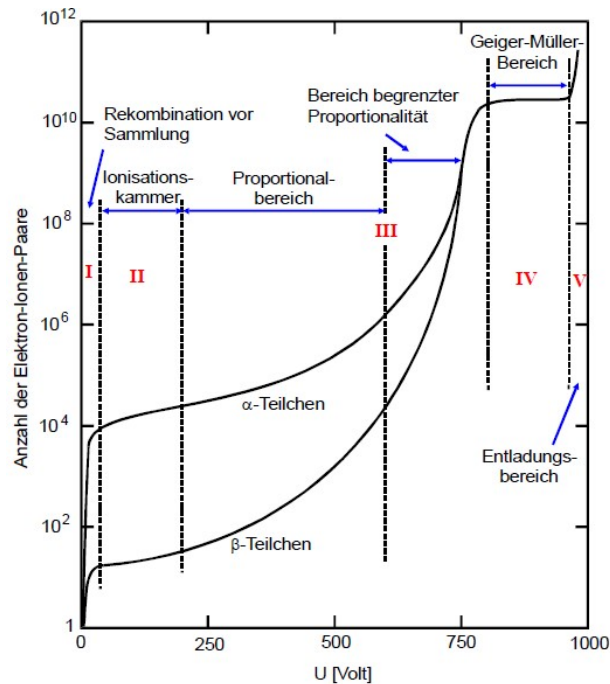


Abbildung 1: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs [4].

Sobald ein geladenes Teilchen, also auch  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen, in das Zählrohr eindringt, wird dies aufgrund von Ionisationsprozessen verlangsamt und schlussendlich absorbiert. Die Anzahl von entstehenden Elektronen und positiven Ionen ist also auch proportional zur Energie der Strahlung, da bei höherer kinetischer Energie mehr Ionisationsvorgänge stattfinden können, bevor diese aufgebraucht ist. Die frei gewordenen Elektronen werden

nun aufgrund der angelegten Spannung zur Anode beschleunigt. Die dabei Ablaufenden Prozesse hängen stark von der Zählrohrspannung ab, in Abbildung 2 ist dieser Zusammenhang graphisch dargestellt.



**Abbildung 2:** Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare abhängig von der Zählrohrspannung  $U$ , für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen [4].

- Bei kleinen Zählrohrspannungen geht ein Großteil der Elektronen durch **Rekombination** verloren, somit werden kaum Impulse gemessen.
- Beim Erhöhen der Spannung fällt die Wahrscheinlichkeit einer Rekombination rasch ab, sodass dann nahezu alle Elektronen die Anode erreichen. Der zwischen Kathode und Anode fließende Ionisationsstrom ist proportional zur Energie bzw. zur Intensität der einfallenden Strahlung, unter diesen Umständen wird das Geiger-Müller-Zählrohr auch als **Ionisationskammer** bezeichnet.
- Weiteres Erhöhen von  $U$  führt dazu, dass die Elektronen nach der primären Ionisation genug Energie gewinnen, um selbst weitere Ionisationen auszulösen, dies wird auch als Stoßionisation bezeichnet. Dies führt schnell zu lawinenartigen Kettenreaktionen, bei denen jedes Elektron weitere Elektronen auslöst. Insgesamt kommen dann an der Anode so viele Elektronen an, dass ein Ladungsimpuls gemessen werden kann. Dieser Impuls ist proportional zur Energie der einfallenden Strahlung und kann somit als Maß für diese verwendet werden. Aufgrund dieses Zusammenhangs wird der Bereich auch als **Proportionalzählrohr** bezeichnet.
- Eine Zählrohrspannung über dem Proportionalitätsbereich führt dazu, dass der

Ladungsimpuls zunehmend unabhängig von der Strahlungsenergie wird. Sobald ein konstantes Maximum erreicht ist, wird vom **Geiger-Müller-Bereich** gesprochen. Hier werden nach jeder Primärionisation nahezu alle Gasatome im Zählrohr ebenfalls ionisiert, einerseits durch die bereits erwähnten Elektronenlawinen und andererseits durch entstehende UV-Photonen. Diese Photonen sind elektrisch neutral und können sich somit durch das gesamte Zählrohr bewegen und dort Ionisationen auslösen. Eine Energiemessung der Strahlung ist hier nicht mehr möglich, es kann nur noch deren Intensität über die Anzahl der Ladungsimpulse bestimmt werden.

Der von der Anode abfließende Strom ist proportional zur freigesetzten Ladungsmenge ( $I = \dot{Q}$ ). Sein Mittelwert kann mithilfe der in der Zeit  $\Delta t$  registrierten Teilchenzahl  $Z$  und der pro Zeiteinheit transportierten Ladungsmenge  $\Delta Q$  über

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z \quad (1)$$

berechnet werden.

## 2.2. Totzeit und Nachentladung

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist nicht in der Lage, eine unbegrenzte Menge an Signalen pro Zeiteinheit zu messen. Während der sogenannten **Totzeit** direkt nach einer Ionisation schirmen die positiven Ionen das elektrische Feld der Anode ab und verhindern somit die Messung eines weiteren Ladungsimpulses. Erst wenn genügend der positiven Ionen zum Zählrohrmantel abgewandert sind und dort neutralisiert werden, kann ein neuer Impuls gemessen werden. Eine Möglichkeit zur experimentellen Bestimmung der Totzeit  $T$  besteht in der sogenannten *Zwei-Quellen-Methode*. Sind die einzelnen Zählraten  $N_1$  und  $N_2$  von zwei unterschiedlichen Quellen sowie deren gemeinsame Zählrate  $N_{1,2}$  bekannt, so kann sie gemäß

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

abgeschätzt werden. Bevor sämtliche Ionen verschwunden sind, gibt es noch die sogenannte Erholungszeit, in der die gemessenen Impulse geringere Beträge haben.

Ein weiterer Effekt ist die **Nachentladung**, die die gemessenen Zählraten verfälschen kann. Durch auf den Zählrohrmantel treffende Ionen können sogenannte Sekundärelektronen freigesetzt werden, die nach der Totzeit direkt wieder eine Ionisation im Zählrohr auslösen und somit die Messung von neuer Strahlung vortäuschen. Um dies zu vermeiden, wird der bereits erwähnte Alkoholdampf eingesetzt. Die langkettigen Moleküle nehmen die überschüssige Energie auf und verhindern die Emission von Elektronen.

## 2.3. Charakteristik des Zählrohres

Die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs erhält durch Auftragen der registrierten Teilchenzahl  $N$  gegen die Zählrohrspannung  $U$ , die Strahlungsintensität sei dabei konstant. Ein typischer Verlauf ist in Abbildung 3 dargestellt.

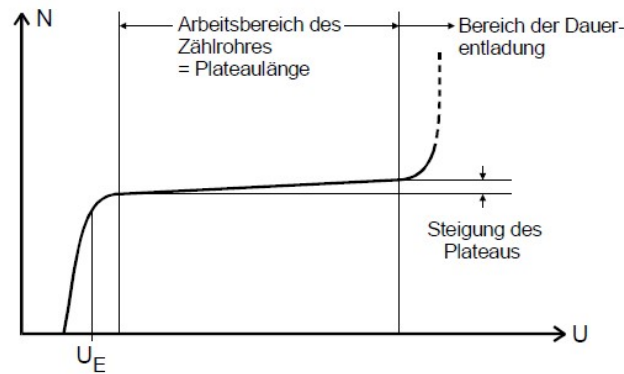


Abbildung 3: Zählrohrcharakteristik bei konstanter Strahlungsintensität [4].

Ab der Spannung  $U_E$  setzt der Auslösebereich ein, darauf folgt ein **Plateau**. Optimalerweise sollte das Plateau keine Steigung aufweisen, doch in der Praxis ist aufgrund einiger wenigen Nachentladungen trotzdem ein kleiner Anstieg zu beobachten. Diese Steigung ist ein Maß für die Qualität des Zählrohrs, da ein längeres und flacheres Plateau bessere Messwerte garantiert. Am Ende des Plateaus beginnt die Zahl der Nachentladungen stark zu steigen, bis es schlussendlich zur selbstständigen Gasentladung kommt. Hier wird durch ein einziges ionisierendes Teilchen eine Dauerentladung gezündet, sodass das Zählrohr unbrauchbar wird.

### 3. Durchführung

Der für den Versuch verwendete Aufbau ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Ladungsimpulse im Zählrohr fließen über einen Widerstand  $R$  ab und erzeugen dort einen Spannungsimpuls. Dieser Spannungsimpuls wird mithilfe eines Kondensators entkoppelt und über einen Verstärker vergrößert. Mit einem Zählgerät wird dann die Anzahl an Spannungsimpulsen aufgezeichnet, außerdem kann deren Verlauf über ein Oszilloskop beobachtet werden.

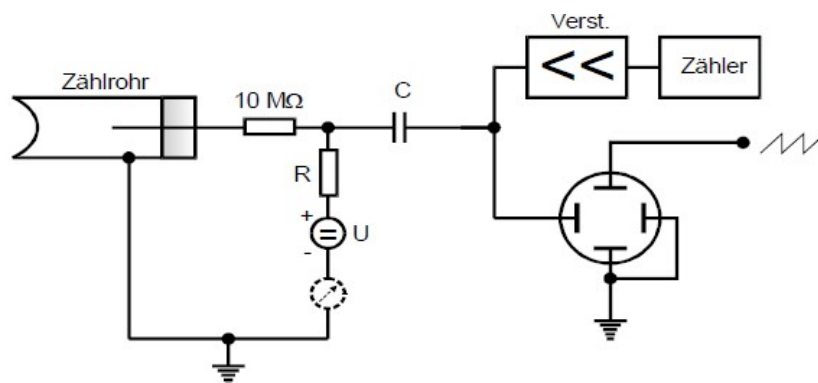


Abbildung 4: Skizze des Versuchsaufbaus [4].

### 3.1. Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

Vor dem Geiger-Müller-Zählrohr wird ein  $\beta$ -Strahler platziert. Die Zählrohrspannung wird ausgehend von 300 V in 10 V Schritten erhöht, bis der Maximalwert von 700 V erreicht ist. Für jede Spannung wird die Impulsrate in einem Messzeitintervall von  $\Delta t = 120$  s aufgenommen, sodass anschließend der Zusammenhang zwischen Zählrohrspannung und Impulsrate gemäß Abbildung 3 untersucht werden kann. Außerdem wird zu jeder Spannung der Strom im Zählrohr notiert, der mithilfe eines dort angeschlossenen Strommessgerätes abgelesen werden kann. Damit lässt sich die vom Zählrohr pro eindringendes Teilchen freigesetzte Ladungsmenge bestimmen.

### 3.2. Messung von Nachentladung und Totzeit

Die Nachentladung sowie die Totzeit kann direkt aus einem Oszilloskopbild abgelesen werden. Dafür wird mit dem selben  $\beta$ -Strahler bei einer Spannung von 500 V ein Oszilloskopbild erstellt. Es wird ein digitales Oszilloskop verwendet, dass an das Strommessgerät für den Zählrohrstrom angeschlossen ist.

Die Totzeit wird außerdem über die *Zwei-Quellen-Methode* bestimmt, sodass dieser Wert mit dem zuvor abgelesenen Wert verglichen werden kann. Dafür werden zwei  $\beta$ -Strahler verwendet, die zunächst einzeln und dannach gemeinsam bei der Zählrohrspannung von 500 V gemessen werden.

## 4. Auswertung

Die in dieser Auswertung erstellten Plots werden mithilfe der *Python*-Erweiterung *matplotlib* [1] erstellt. Die Fortpflanzung der Messunsicherheiten werden mithilfe von *uncertainties* [3] bestimmt und genügen der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta F = \sqrt{\sum_i \left( \frac{dF}{dy_i} \Delta y_i \right)^2}. \quad (3)$$

Die Messunsicherheiten der Zählraten  $N$  sind poissonverteilt und werden daher mit  $\Delta N = \sqrt{N}$  berechnet.

### 4.1. Charakteristik des GMZ

Die Charakteristik des GMZ wird bestimmt, indem die Anzahl der pro Sekunde gemessenen Impulse in Abhängigkeit von der anliegenden Zählrohrspannung aufgetragen wird. Hierbei lassen sich große Abweichungen einzelner Messwertgruppen beobachten, die im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.<sup>1</sup>

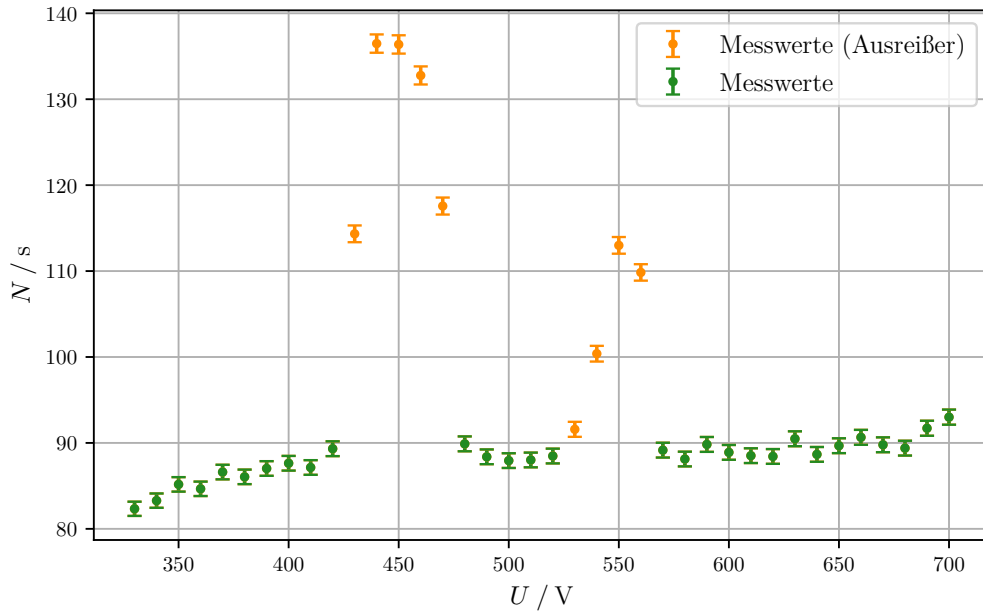
---

<sup>1</sup>Anm.: Dies geschieht aufgrund einer bekannten Fehlfunktion eines Verstärkers im Versuchsaufbau.

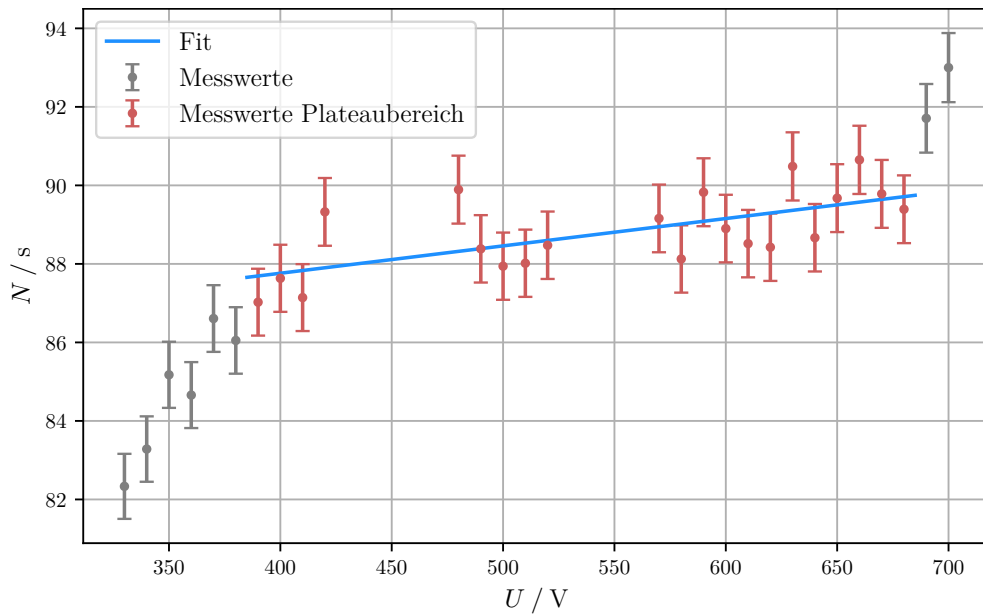
**Tabelle 1:** Messwerte zur Bestimmung der Charakteristik des GMZ sowie der freigesetzten Ladung. Für den Strom  $I$  wird eine Messunsicherheit von  $\Delta I = 0,1 \mu\text{A}$  angenommen.

$U / \text{V}$	Zählrate	$N / \text{s}$	$I / \mu\text{A}$
330	$9880 \pm 99$	$82,33 \pm 0,83$	0,1
340	$9994 \pm 100$	$83,28 \pm 0,83$	0,2
350	$10\,221 \pm 101$	$85,17 \pm 0,84$	0,2
360	$10\,159 \pm 101$	$84,66 \pm 0,84$	0,2
370	$10\,393 \pm 102$	$86,61 \pm 0,85$	0,2
380	$10\,326 \pm 102$	$86,05 \pm 0,85$	0,2
390	$10\,443 \pm 102$	$87,03 \pm 0,85$	0,2
400	$10\,516 \pm 103$	$87,63 \pm 0,85$	0,3
410	$10\,457 \pm 102$	$87,14 \pm 0,85$	0,3
420	$10\,719 \pm 104$	$89,33 \pm 0,86$	0,4
430	$13\,720 \pm 117$	$114,33 \pm 0,98$	0,4
440	$16\,377 \pm 128$	$136,47 \pm 1,07$	0,4
450	$16\,365 \pm 128$	$136,38 \pm 1,07$	0,4
460	$15\,932 \pm 126$	$132,77 \pm 1,05$	0,4
470	$14\,108 \pm 119$	$117,57 \pm 0,99$	0,4
480	$10\,787 \pm 104$	$89,89 \pm 0,87$	0,5
490	$10\,606 \pm 103$	$88,38 \pm 0,86$	0,5
500	$10\,553 \pm 103$	$87,94 \pm 0,86$	0,5
510	$10\,562 \pm 103$	$88,02 \pm 0,86$	0,5
520	$10\,617 \pm 103$	$88,47 \pm 0,86$	0,6
530	$10\,990 \pm 105$	$91,58 \pm 0,87$	0,6
540	$12\,046 \pm 110$	$100,38 \pm 0,91$	0,6
550	$13\,559 \pm 116$	$112,99 \pm 0,97$	0,6
560	$13\,181 \pm 115$	$109,84 \pm 0,96$	0,6
570	$10\,699 \pm 103$	$89,16 \pm 0,86$	0,6
580	$10\,575 \pm 103$	$88,12 \pm 0,86$	0,6
590	$10\,779 \pm 104$	$89,83 \pm 0,87$	0,6
600	$10\,668 \pm 103$	$88,90 \pm 0,86$	0,7
610	$10\,622 \pm 103$	$88,52 \pm 0,86$	0,7
620	$10\,611 \pm 103$	$88,42 \pm 0,86$	0,7
630	$10\,858 \pm 104$	$90,48 \pm 0,87$	0,7
640	$10\,640 \pm 103$	$88,67 \pm 0,86$	0,7
650	$10\,761 \pm 104$	$89,67 \pm 0,86$	0,7
660	$10\,878 \pm 104$	$90,65 \pm 0,87$	0,8
670	$10\,774 \pm 104$	$89,78 \pm 0,86$	0,8
680	$10\,727 \pm 104$	$89,39 \pm 0,86$	0,8
690	$11\,005 \pm 105$	$91,71 \pm 0,87$	0,8
700	$11\,160 \pm 106$	$93,00 \pm 0,88$	0,8





**Abbildung 5:** Graphische Darstellung der Messwerte zur Bestimmung der Charakteristik des GMZ aus Tabelle 1.



**Abbildung 6:** Graphische Darstellung der Charakteristik des GMZ mit eingezeichneter Ausgleichsgerade der Messwerte des Plateaus. Die in Abbildung 5 gekennzeichneten stark abweichenden Messwerte werden hierbei nicht berücksichtigt.

In Abbildung 6 ist ein Bereich auszumachen, in dem die Anzahl der Impulse annähernd

linear zunimmt. Dieser Bereich wird auch Plateaubereich genannt und hat eine Länge von  $L = 290 \text{ V}$ . Mithilfe der *Python*-Erweiterung *scipy* [2] wird eine lineare Ausgleichsrechnung für die Werte in dem Plateaubereich durchgeführt. Für eine Ausgleichsgerade des Typs  $y = mx + b$  ergeben sich die Werte

$$m_{\text{Regression}} = (0,0070 \pm 0,0019) \frac{1}{\text{s V}} \quad b = (85,0 \pm 1,0) \frac{1}{\text{s}}.$$

Die PlateauSteigung wird üblicher Weise in der Einheit  $\frac{1\%}{100 \text{ V}}$  angegeben. Dafür wird die Steigung aus der Regression mit 100 multipliziert und durch den ungefähren Wert der Plateaumitte dividiert

$$m_{\text{Plateau}} = \frac{100m_{\text{Regression}}}{N_{\text{Mitte}}}.$$

Für die Messunsicherheit der PlateauSteigung folgt nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung (3)

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{Plateau}} &= \sqrt{\left( \frac{dm_{\text{Plateau}}}{dm_{\text{Regression}}} \Delta m_{\text{Regression}} \right)^2 + \left( \frac{dm_{\text{Plateau}}}{dN_{\text{Mitte}}} \Delta N_{\text{Mitte}} \right)^2} \\ &= \sqrt{\left( \frac{100}{N_{\text{Mitte}}} \Delta m_{\text{Regression}} \right)^2 + \left( \frac{100m_{\text{Regression}}}{N_{\text{Mitte}}^2} \Delta N_{\text{Mitte}} \right)^2}. \end{aligned}$$

Die Zählrate der ungefähren Plateaumitte bei  $U_{\text{Mitte}} \approx 550 \text{ V}$  wird zu  $N_{\text{Mitte}} \approx (89,0 \pm 0,9) \text{ 1/s}$  bestimmt, wobei sich die Unsicherheit von  $N_{\text{Mitte}}$  über

$$\Delta N_{\text{Mitte}} = \sqrt{(U_{\text{Mitte}} \Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

berechnen lässt. Somit folgt für die PlateauSteigung

$$m_{\text{Plateau}} = (0,78 \pm 0,21) \text{ \%}/100\text{V}.$$

## 4.2. Bestimmung der Totzeit mit einem Oszilloskop

Die Totzeit des GMZ wird zunächst mithilfe eines Oszilloskops, das an das GMZ angeschlossen ist, bestimmt. In Abbildung 7 ist ein entsprechendes Bild zu sehen.<sup>2</sup> Die Totzeit des GMZ ist der Abstand zwischen dem Hauptpeak und der Stelle, wo die Amplitude wieder auf Null abgesunken ist. Es wird eine Totzeit von

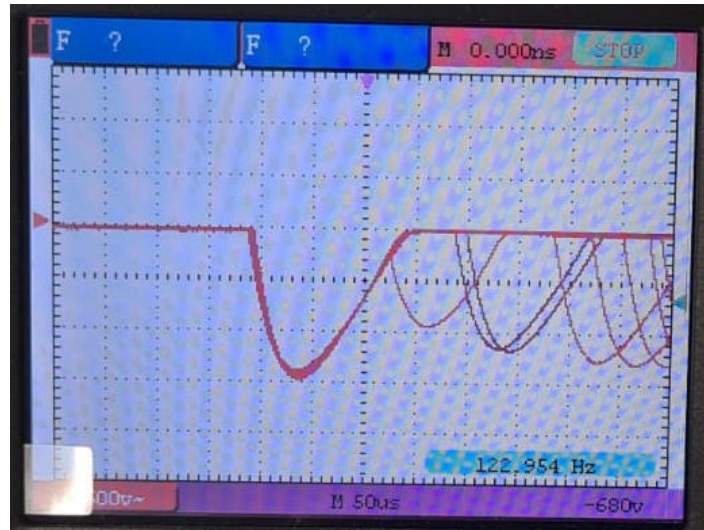
$$T_{\text{Oszilloskop}} \approx 100 \mu\text{s}$$

abgelesen.

---

<sup>2</sup>Anm.: Hierbei wird auf Daten unserer Parallelgruppe zurückgeriffen, sodass hier ein anderes GMZ als in dem ersten Teil des Versuches verwendet wird. Dies hat den Grund, dass die zuerst aufgenommenen Daten aufgrund der bekannten Fehlfunktion des Verstärkers unzulänglich sind.

Neben der Totzeit lässt sich aus Abbildung 7 auch die Zeit zwischen Primär- und Nachentladungsimpulsen bestimmen. Diese ergibt sich als Abstand zwischen dem Maximum des Hauptpeaks und dem Maximum des ersten Sekundärpeaks und wird zu  $120\text{ }\mu\text{s}$  bestimmt.



**Abbildung 7:** Bild des Displays des Oszilloskops zur Bestimmung der Totzeit des GMZ. 1 Kästchen entspricht  $50\text{ }\mu\text{s}$ .

### 4.3. Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode

Die Totzeit des GMZ lässt sich auch über die in Abschnitt 2.2 beschriebene *Zwei-Quellen-Methode* berechnen. Eine Darstellung der Messdaten ist in Tabelle 2 gegeben.<sup>3</sup>

**Tabelle 2:** Darstellung der Messwerte zur Bestimmung der Totzeit über die *Zwei-Quellen-Methode*. Die Messdauer beträgt 120 s.

Strahler	Zählrate	$N / \text{s}$
1	$19\,706 \pm 140$	$164,2 \pm 1,2$
2	$34\,902 \pm 187$	$290,9 \pm 1,6$
1 und 2	$15\,897 \pm 126$	$132,5 \pm 1,1$

Über den Zusammenhang (2) wird die Totzeit berechnet, wobei sich hier die Unsicherheit

<sup>3</sup>Anm.: Hierbei wird erneut aus dem bereits beschriebenen Grund auf die Daten unserer Parallelgruppe zurückgeriffen.

über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung (3)

$$\begin{aligned}\Delta T_{2\text{-Quellen}} &= \sqrt{\left(\frac{dT_{2\text{-Quellen}}}{dN_1} \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{dT_{2\text{-Quellen}}}{dN_2} \Delta N_2\right)^2 + \left(\frac{dT_{2\text{-Quellen}}}{dN_{1,2}} \Delta N_{1,2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{N_2 - N_{1,2}}{2N_2 N_1^2} \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{N_{1,2} - N_1}{2N_1 N_2^2} \Delta N_2\right)^2 + \left(\frac{1}{2N_1 N_2} \Delta N_{1,2}\right)^2}\end{aligned}$$

bestimmt. Die Totzeit ergibt sich so zu

$$T_{2\text{-Quellen}} = (130 \pm 50) \mu\text{s}.$$

#### 4.4. Freigesetzte Ladung im GMZ

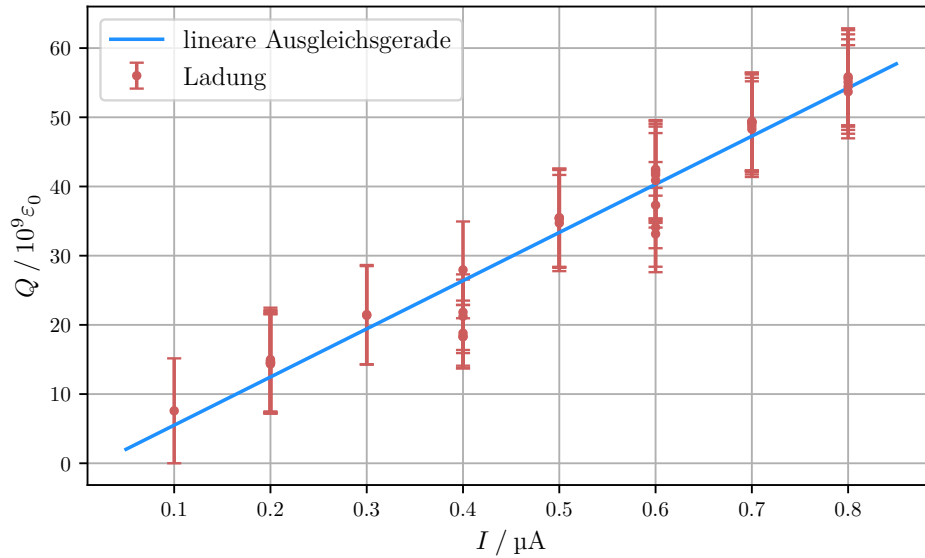
Die freigesetzte Ladungsmenge lässt sich bestimmen, indem die Formel (1) umgestellt wird und für die Zählrate  $N = \frac{Z}{120\text{ s}}$  und  $t = 120\text{ s}$  eingesetzt werden. Es folgt

$$Q = \frac{\bar{I}}{N}.$$

Die Unsicherheit der freigesetzten Ladungsmenge beträgt

$$\begin{aligned}\Delta Q &= \sqrt{\left(\frac{dQ}{d\bar{I}} \Delta \bar{I}\right)^2 + \left(\frac{dQ}{dN} \Delta N\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{N} \Delta \bar{I}\right)^2 + \left(\frac{I}{N^2} \Delta N\right)^2}.\end{aligned}$$

Werden die gemessenen Ströme und Impulse aus Tabelle 1 in diesen Zusammenhang eingesetzt, ergeben sich die dabei freigesetzten Ladungsmengen. Diese sind in Tabelle 3 dargestellt und werden außerdem in Abbildung 8 graphisch veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass die freigesetzte Ladungsmenge annähernd proportional zu dem gemessenen Strom steigt.



**Abbildung 8:** Darstellung der freigesetzten Ladungen in Abhängigkeit von den gemessenen Strömen mit eingezeichneter Ausgleichsgeraden. Die Unsicherheiten des Strom sind konstant und betragen  $\Delta I = 0,1 \mu\text{A}$ .

## 5. Diskussion

Die in diesem Versuch ermittelte Charakteristik (Abbildung 6) weist bei einer Plateaubreite von  $L = 290 \text{ V}$  eine Steigung von  $m_{\text{Plateau}} = (0,78 \pm 0,21) \text{ \%/100V}$  auf. Ein ideales GMZ hat in diesem Bereich keine Steigung, dennoch kann aufgrund des geringen Wertes von einem ausreichend genauen GMZ gesprochen werden.

Diese Aussage kann allerdings nur getroffen werden, wenn die in Abbildung 5 zu sehenden, systematisch abweichenden Messwertgruppen herausgerechnet werden. Die Abweichung dieser Messwerte lässt sich vermutlich auf einen technischen Defekt des Verstärkers zurückführen.

Die Totzeit des GMZ wird über zwei verschiedene Arten bestimmt und beträgt

$$T_{\text{Oszilloskop}} = 100 \mu\text{s}$$

$$T_{2\text{-Quellen}} = (130 \pm 50) \mu\text{s}.$$

Die beiden Werte lassen sich mit dem großen Fehlerbereich von  $T_{2\text{-Quellen}}$  miteinander vereinen und es lässt sich eine Aussage über die Größenordnung der Totzeit treffen. Dennoch muss erwähnt werden, dass der mithilfe des Oszilloskops bestimmte Wert eine nicht weiter betrachtete Ableseungenauigkeit aufweist.

In dem letzten Versuchsteil wird die freigesetzte Ladung des GMZ betrachtet, wobei sich ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen der freigesetzten Ladung  $Q$  und dem Strom  $I$  ergibt.

## Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] *Versuch V703: Das Geiger-Müller-Zählrohr*. TU Dortmund, Fakultät Physik.

## A. Anhang

### A.1. Originaldaten

V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr

$\Delta t = 120s$

<u>U/V</u>	<u>Count</u>	<u>I/<math>\mu A</math></u>	<u>U/V</u>	<u>Count</u>	<u>I/<math>\mu A</math></u>
330	5880	0,1	550	10779	0,6
340	5554	0,2	600	10668	0,7
350	10221	0,2	610	10622	0,7
360	10159	0,2	620	10611	0,7
370	10353	0,2	630	10858	0,7
380	10326	0,2	640	10640	0,7
390	10443	0,2	650	10761	0,7
400	10516	0,3	660	10878	0,8
410	10457	0,3	670	10774	0,8
420	10719	0,4	680	10727	0,8
430	13220	0,4	690	11005	0,8
440	16577	0,4	700	11160	0,8
450	16365	0,4			
460	15532	0,4			
470	14108	0,4			
480	10787	0,5			
490	10606	0,5			
500	10553	0,5			
510	10562	0,5			
520	10617	0,6			
530	10350	0,6			
540	12046	0,6			
550	13553	0,6			
560	13181	0,6			
570	10659	0,6			
580	10575	0,6			

$N_1 = 17.045$   
 $N_{1c} = 18039$   
 $N_2 = 1003$

- Verstärker ist fest eingestellt

$5000$  |  $N_1 = 19.706$   
 $720s$  |  $N_{1c} = 34.902$   
 $N_2 = 19.897$

Ces *[Signature]*

## A.2. Tabelle zur Bestimmung der freigesetzten Ladungen

**Tabelle 3:** Tabellarische Darstellung der freigesetzten Ladungen.

$U / \text{V}$	$N / \text{s}$	$I / \mu\text{A}$	$Q / \text{GeV}$
330	$82,33 \pm 0,83$	0,1	$7,6 \pm 7,6$
340	$83,28 \pm 0,83$	0,2	$15,0 \pm 7,5$
350	$85,17 \pm 0,84$	0,2	$14,7 \pm 7,3$
360	$84,66 \pm 0,84$	0,2	$14,7 \pm 7,4$
370	$86,61 \pm 0,85$	0,2	$14,4 \pm 7,2$
380	$86,05 \pm 0,85$	0,2	$14,5 \pm 7,3$
390	$87,03 \pm 0,85$	0,2	$14,3 \pm 7,2$
400	$87,63 \pm 0,85$	0,3	$21,4 \pm 7,1$
410	$87,14 \pm 0,85$	0,3	$21,5 \pm 7,2$
420	$89,33 \pm 0,86$	0,4	$27,9 \pm 7,0$
430	$114,33 \pm 0,98$	0,4	$21,8 \pm 5,5$
440	$136,47 \pm 1,07$	0,4	$18,3 \pm 4,6$
450	$136,38 \pm 1,07$	0,4	$18,3 \pm 4,6$
460	$132,77 \pm 1,05$	0,4	$18,8 \pm 4,7$
470	$117,57 \pm 0,99$	0,4	$21,2 \pm 5,3$
480	$89,89 \pm 0,87$	0,5	$34,7 \pm 7,0$
490	$88,38 \pm 0,86$	0,5	$35,3 \pm 7,1$
500	$87,94 \pm 0,86$	0,5	$35,5 \pm 7,1$
510	$88,02 \pm 0,86$	0,5	$35,5 \pm 7,1$
520	$88,47 \pm 0,86$	0,6	$42,3 \pm 7,1$
530	$91,58 \pm 0,87$	0,6	$40,9 \pm 6,8$
540	$100,38 \pm 0,91$	0,6	$37,3 \pm 6,2$
550	$112,99 \pm 0,97$	0,6	$33,1 \pm 5,5$
560	$109,84 \pm 0,96$	0,6	$34,1 \pm 5,7$
570	$89,16 \pm 0,86$	0,6	$42,0 \pm 7,0$
580	$88,12 \pm 0,86$	0,6	$42,5 \pm 7,1$
590	$89,83 \pm 0,87$	0,6	$41,7 \pm 7,0$
600	$88,90 \pm 0,86$	0,7	$49,1 \pm 7,0$
610	$88,52 \pm 0,86$	0,7	$49,4 \pm 7,1$
620	$88,42 \pm 0,86$	0,7	$49,4 \pm 7,1$
630	$90,48 \pm 0,87$	0,7	$48,3 \pm 6,9$
640	$88,67 \pm 0,86$	0,7	$49,3 \pm 7,1$
650	$89,67 \pm 0,86$	0,7	$48,7 \pm 7,0$
660	$90,65 \pm 0,87$	0,8	$55,1 \pm 6,9$
670	$89,78 \pm 0,86$	0,8	$55,6 \pm 7,0$
680	$89,39 \pm 0,86$	0,8	$55,9 \pm 7,0$
690	$91,71 \pm 0,87$	0,8	$54,4 \pm 6,8$
700	$93,00 \pm 0,88$	0,8	$53,7 \pm 6,7$