

Versuch Nr.V703

# **Das Geiger-Müller-Zählrohr**

Niklas Düser  
niklas.dueser@tu-dortmund.de

Benedikt Sander  
benedikt.sander@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.1.2021

Abgabe: 26.01.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	3
2.2	Totzeit und Nachentladungen . . . . .	5
2.3	Charakteristik des Zählrohres . . . . .	6
2.4	Ansprechvermögen des Zählrohres . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>8</b>
3.1	Aufnahme der Charakteristik des Zählrohres . . . . .	8
3.2	Sichtbarmachung von Nachentladungen . . . . .	8
3.3	Oszillographische Messung der Totzeit . . . . .	9
3.4	Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode . . . . .	9
3.5	Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge . . . .	10
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>11</b>
4.1	Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	11
4.2	Totzeit . . . . .	12
4.3	Freigesetzte Ladung . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>

# 1 Zielsetzung

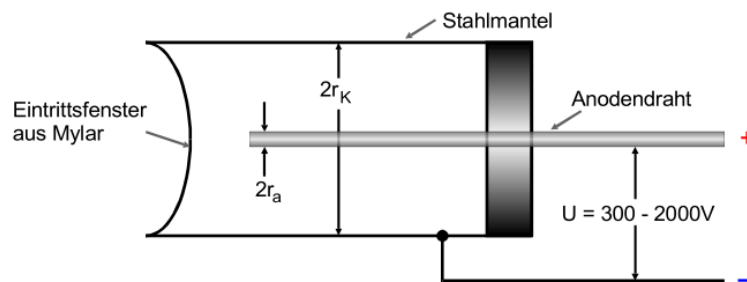
In diesem Versuch soll das Geiger-Müller-Zählrohr untersucht werden.

Ein Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Instrument zur Messung von ionisierender Strahlung. Im folgenden werden die Kenndaten eines Zählrohrs, wie Totzeit oder Plateau-Anstieg ermittelt.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Aufbau und Wirkungsweise

Ein Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Stahlmantel, in dessen Mitte sich ein Anodendraht befindet. Diese beiden sind an eine Spannungsquelle angeschlossen. Der Zwischenraum ist mit einem Gasgemisch, wie zum Beispiel Argon und Ethylalkohol, gefüllt. Der Aufbau ist in Abb.1 noch einmal dargestellt. Der Anodendraht ist dabei an einen Verstärker angeschlossen, wodurch der von einfallenden Elektronen erzeugte elektrische Impuls verstärkt wird.



**Abbildung 1:** Der schematische Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs [5].

Es gibt verschiedene Prozesse die im inneren des Zählrohrs ablaufen können. Welcher Prozess genau stattfindet ist in der Regel abhängig von der Stärke des radialsymmetrischen, elektrischen Feldes im Inneren, und damit von der angelegten Spannung. Diese Abhängigkeiten von der Spannung und zusätzlich auch noch die von der Art der ionisierenden Strahlung ist in Abb.2 aufgetragen.

In der Regel tritt zuerst ein Teilchen in das Volumen des Zählrohrs ein. Dort ionisiert es eine Menge an Gasteilchen, proportional zu seiner eigenen Energie. Die nachfolgenden Prozesse zeigen jetzt die Spannungsabhängigkeiten.

Bei kleinen angelegten Spannungen, dies ist Bereich **I** in der Abbildung, erreicht nur ein kleiner Teil, der durch Ionisation erzeugten Elektronen den Anodendraht. Dies liegt daran, dass die Beschleunigung der Elektronen im elektrischen Feld so klein ist dass die meisten vorm Eintreffen am Draht rekombinieren.

Im Bereich **II**, also bei höheren Feldstärken, verschwindet dieser Effekt. Dort herrscht dann also wirklich eine Proportionalität zwischen der Energie der Strahlung und dem Ionisationsstrom. Ionisationskammern arbeiten in diesem Bereich. Wegen geringer Ionisationsströme ist dieser Bereich nur bei hoher Strahlungsintensität wirksam.

Bei noch höheren Spannungen, wie im Bereich **III**, werden die Elektronen im Feld sogar so stark beschleunigt, dass sie selber weitere Stoßionisationen hervorrufen. Dieser Effekt kann sich lawinenartig fortführen, weswegen das ganze auch Townsend-Lawine genannt wird. Ein hier operierendes Messinstrument wird Proportionalitätszählrohr genannt.

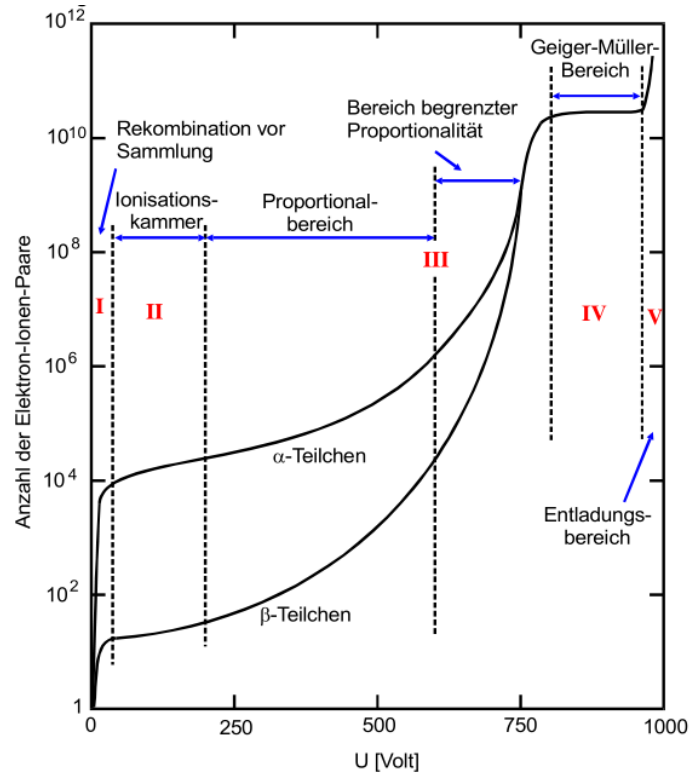
Der Bereich **IV** ist allerdings erst der eigentliche Operationsbereich des Zählrohres. Dort ist keine direkte Proportionalität zwischen der primären Energie der Strahlung und den gemessenen Ladungsimpulsen mehr gegeben.

Dies lässt sich darauf zurückführen, dass bei den Ionisationen zusätzlich UV-Photonen entstehen. Diese breiten sich, vom elektrischen Feld nicht beeinflusst, im Volumen des Zählrohres aus und führen dort zu weiteren Ionisationen.

Die Größe des Ladungsimpulses ist jetzt nur noch vom Volumen des Rohres und der Spannung abhängig. Diese Effekte sind einfach nachzuweisen, lassen sich aber nur noch für eine Intensitätsmessung nutzen.

Der Bereich **V** ist für Messungen nicht mehr nutzbar. In diesem Bereich ruft ein einzelnes ionisiertes Teilchen einen nicht mehr stoppenden Ionisationsstrom, der Messungen unmöglich macht, hervor.

Die nachfolgende Abbildung stellt noch einmal die einzelnen Bereiche grafisch dar.



**Abbildung 2:** Ein Diagramm welches die Abhängigkeit der gemessenen Elektronen-Ionen-Paare im Verhältnis zur Spannung und Strahlungsart abbildet. [5].

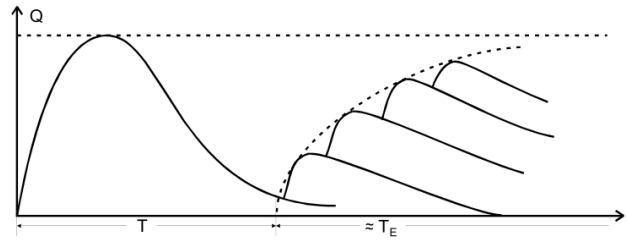
## 2.2 Totzeit und Nachentladungen

Die, durch Ionisation frei gewordenen, Elektronen bewegen sich relativ schnell zur Anode um dort abzuwandern. Die Ionen hingegen, welche eine große Masse besitzen, brauchen dafür deutlich länger. Dies führt dazu, dass die Ionen einen radialsymmetrischen Bereich um sich selbst erzeugen in dem das E-Feld teilweise aufgehoben wird. Mehrere Ionen bilden dann, entlang der Bahn eines einfallenden Teilchens, einen so genannten Ionenschlauch.

Dieser Ionenschlauch verringert, für eine Zeit  $T$ , das E-Feld soweit, dass keine Stoßionisationen mehr stattfinden können. Diese Zeit nennt man Totzeit.

Während die verantwortlichen Ionen abtransportiert werden können schon wieder einige wenige Stoßionisationen stattfinden. Allerdings nicht in einem Maße wie vor der Entstehung des Schlauches. Diese sich der Totzeit anschließende Zeitintervall nennt sich Erholungszeit  $T_E$ .

Dieser ganze Vorgang wird in der folgenden Abbildung 3 noch einmal grafisch dargestellt.



**Abbildung 3:** Die Tot- und Erholungszeit in einem Ladungs-Zeit-Diagramm. Die gestrichelte, einhüllende von  $T_E$  lässt sich praktisch nur ungenau bestimmen [5].

Ionen, welche auf den Mantel des Zählrohres treffen, können auf dem Weg dorthin so beschleunigt worden sein, dass sie die Austrittsarbeit für Elektronen verrichten können. Diese so genannten Sekundärlektronen werden daraufhin beim Durchschreiten der gesamten Spannung wieder so beschleunigt, dass sie, mit einer Townsend-Lawine, zu weiteren Impulsen führen.

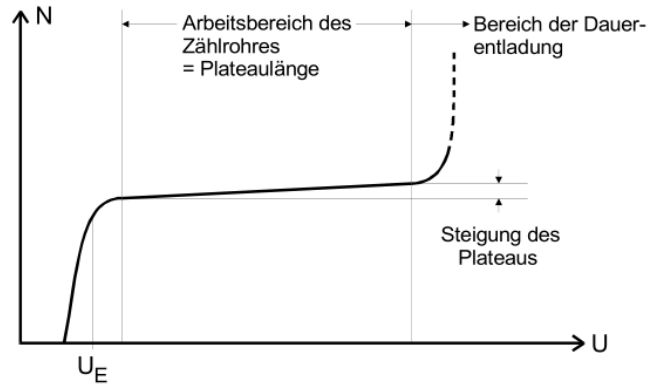
Diesen Vorgang nennt man Nachentladung. Der Zeitraum den sie nach der ursprünglichen Ionisation stattfinden wird mit  $T_L$  bezeichnet. Er entspricht ungefähr der Streckendauer der Ionen zum Mantel.

Dieser Vorgang ist unerwünscht, da er nach der Totozeit neu eingetretene Teilchen simuliert und so die Messungen verfälscht.

Es gibt aber Methoden, wie das hinzugeben von Alkoholdämpfen in das Gasgemisch, die in der Lage sind diesen Effekt zu mindern. Diese Gase werden dann nämlich auf dem Weg vom Mantel von den Edelgasen ionisiert. Die Ionen verlieren dadurch ihre kinetische Energie. Des Weiteren sind die Alkohol Ionen nicht Massereich genug um genug Energie zu erhalten um die Austrittsarbeit für die Elektronen zu leisten. Stattdessen führen sie nur zu Schwingungen im Mantel.

## 2.3 Charakteristik des Zählrohres

Durch Auftragen einer bestimmten Zahl von Teilchen  $N$  bei konstanter Strahlungsintensität gegen die Spannung erhält man die folgende Abbildung, welche die Charakteristik des Zählrohres genannt wird.



**Abbildung 4:** Die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs [5].

Dabei ist  $U_E$  die Spannung bei der die Stoßionisationen beginnen. Der ihr nachfolgende Bereich nennt sich Auslösebereich.

Die Steigung des Plateaus ist abhängig von der Effektivität des Alkohols Nachentladungen zu unterdrücken. Würde es keine Nachentladungen geben, was in der Praxis unrealistisch ist, wäre die Plateau Steigung null. Ein breites und flaches Plateau spricht für die Qualität eines Zählrohrs.

Der Bereich hinter dem Plateau entsteht durch einzelne Entladungen, die Aufgrund von vorher beschriebenen Vorgängen zu dauerhaften Entladungen führen, welche sogar das Zählrohr zerstören können.

## 2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Das Ansprechvermögen eines Zählrohrs beschreibt die Wahrscheinlichkeit mit der ein einfallendes Teilchen nachgewiesen wird.

Bei  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen ist diese Aufgrund ihrer Größe fast 100 %. Das Nadelöhr ist dort eher das Eintreten in das Zählrohr. Um das Ansprechvermögen möglichst groß zu halten werden an die Spitze des Rohres zum Beispiel Fenster aus Mylar-Folie angebracht. Diese kann von den beiden Teilchenarten gut durchquert werden. In Abb.1 ist dieser Aufbau noch einmal dargestellt.

Das Ansprechvermögen für  $\gamma$ -Quanten ist in der Größenordnung 1 %. Es lässt sich zwar mit schweren Füllgasen wie Xenon erhöhen, liefert allerdings trotzdem nur bei Röntgen-Quanten oder hohen Intensitäten vernünftige Ergebnisse.

### 3 Durchführung

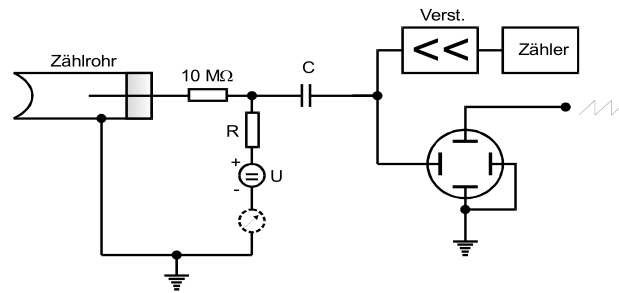


Abbildung 5: Schaltpskizze der Messapparatur [5].

Die obige Abbildung 5 zeigt den genauen Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs. Dabei fließt die Ladung aus dem Zählrohr über den Widerstand  $R$  ab, wird anschließend vom Kondensator  $C$  entkoppelt um dann vom vor dem Zählen durch den Zähler noch verstärkt zu werden. Alternativ kann das ganze auch auf einem Oszilloskop dargestellt werden.

#### 3.1 Aufnahme der Charakteristik des Zählrohres

In diesem Versuchsabschnitt wird eine  $\beta$ -Strahlungsquelle vor dem Fenster des Zählrohrs platziert.

Nun wird für verschiedene Spannungen die Zählrate gemessen.

Dabei müssen mehrere Sachen beachtet werden.

Zum einen sollte nicht wesentlich mehr Impulse als 100/s gemessen werden, da sonst aufgrund von zu hohen Totzeiten Korrekturen vorgenommen werden müssten. Besonders sollte hier auch auf die Genauigkeit der Messungen geachtet werden, da das Plateau, dessen Steigung bestimmt werden soll, nur einen schwachen Anstieg besitzt. Des Weiteren sollte das Messintervall  $\approx 120$  s betragen, damit der Fehler der Messpunkte, aufgrund des  $\sqrt{n}$ -Gesetzes,  $< 1\%$  ist.

Zuletzt sollte die angelegte Spannung  $< 700$  V ist, damit Selbstentladung vermieden wird.

#### 3.2 Sichtbarmachung von Nachentladungen

Anschließend sollen, mit Hilfe des Oszilloskops, die Nachentladungen qualitativ nachgewiesen werden.

Dafür wird die Intensität der  $\beta$ -Strahlungsquelle so weit heruntergeregelt, dass auf dem Oszilloskop, bei einer Ablenkgeschwindigkeit von  $50 \mu\text{s}/\text{cm}$ , nur noch ein einziger Impuls gemessen wird.



Die angelegte Spannung sollte dabei etwa 350 V betragen, da für diese Spannung Nachentladungen vernachlässigbar sind.

Nun wird die Spannung schlagartig auf 700 V hochgeregelt und die Beobachtung notiert, so wie der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladung gemessen.

### 3.3 Oszillographische Messung der Totzeit

Für das folgende wird die Intensität der Quelle wieder erhöht. Nun wird zur Messung der Totzeit mit Hilfe des Oszilloskops auf den Anstieg des Impulses getriggert. Anschließend lässt sich die Totzeit durch den Vergleich mit Abb. 3 einfach ablesen. Die Erholungszeit lässt sich hingegen nur abschätzen.

### 3.4 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Die Messmethode der Totzeit mittels des Oszilloskops ist ungenau, weswegen diese Methode eine Alternative bietet.

Die Totzeit führt dazu, dass die registrierte Impulsrate  $N_r$  immer kleiner ist als die der tatsächlich absorbierten Teilchen  $N_w$ . Da das Zählrohr für den Bruchteil  $T \cdot N_r$  unempfindlich ist lässt sich die tatsächliche Impulsrate der tatsächlich absorbierten Teilchen mit der folgenden Gleichung bestimmen:

$$N_w = \frac{\text{Impulsrate}}{\text{Messzeit}} = \frac{N_r t}{(1 - T \cdot N_r)t} = \frac{N_r}{(1 - T \cdot N_r)} \quad (1)$$

Wenn nun erst die Zählrate  $N_1$  eines Präparats, dann die Zählrate  $N_1$  und die eines zusätzlichen anderen zweiten Präparat  $N_2$  und zuletzt nur  $N_2$ , gemessen werden, lässt sich damit die Totzeit berechnen.

Dabei wird genau diese Reihenfolge gewählt um unnötiges Bewegen der Präparate zu vermeiden.

Aufgrund der Totzeit gilt die Formel

$$N_{1+2} < N_1 + N_2$$

und nicht

$$N_{1+2} = N_1 + N_2$$

Nun ergibt sich aus der Formel 1 für die drei unterschiedlichen Messaufbauten die drei folgenden Zusammenhänge:

$$\begin{aligned} N_{w_1} &= \frac{N_1}{(1 - T \cdot N_1)} \\ N_{w_2} &= \frac{N_2}{(1 - T \cdot N_2)} \\ N_{w_{1+2}} &= \frac{N_{1+2}}{(1 - T \cdot N_{1+2})} \end{aligned}$$

Hieraus lässt sich nun für  $T^2 \cdot N^2 \ll 1$  mit  $i = (1, 2, 1 + 2)$  und mit  $N_{1+2} = N_1 + N_2$  die folgende Gleichung für  $T$  aufstellen:

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}$$

### 3.5 Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge

Der mittlere Zählstrom kann, wie in Abb. 5, mit einem empfindlichen Amperemeter, bei hohen Zählraten, gemessen werden.

Die dazugehörige Gleichung ist folgende:

$$\bar{I} := \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{U(t)}{R} dt$$

Dabei gilt  $\tau \gg T$ .

mit Hilfe von  $\bar{I}$  lässt sich bei bekannter Impulszahl pro Zeit und bei bekannter eindringender Teilchenmenge die freigesetzte Ladung bestimmen. Daraus lässt sich wiederum die folgende Formel aufstellen, wobei  $Z$  die Anzahl der Teilchen pro  $\Delta t$  ist:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot Z$$

Dabei hängt  $\Delta Q$  auch noch von der Spannung ab, weswegen es in der Abhängigkeit von ihr untersucht werden sollte.

## 4 Auswertung

### 4.1 Charakteristik des Zählrohrs

$U / \text{V}$	$N$	$U / \text{V}$	$N$
320	9672	520	10 255
330	9689	530	10 151
340	9580	540	10 351
350	9837	550	10 184
360	9886	560	10 137
370	1004	570	10 186
380	9996	580	10 171
390	9943	590	10 171
400	9995	600	10 253
410	9980	610	10 368
420	9986	620	10 365
430	9960	630	10 224
440	10 219	640	10 338
450	10 264	650	10 493
460	10 174	660	10 467
470	10 035	670	10 640
480	10 350	680	10 939
490	10 290	690	11 159
500	10 151	700	11 547
510	10 110	/	/

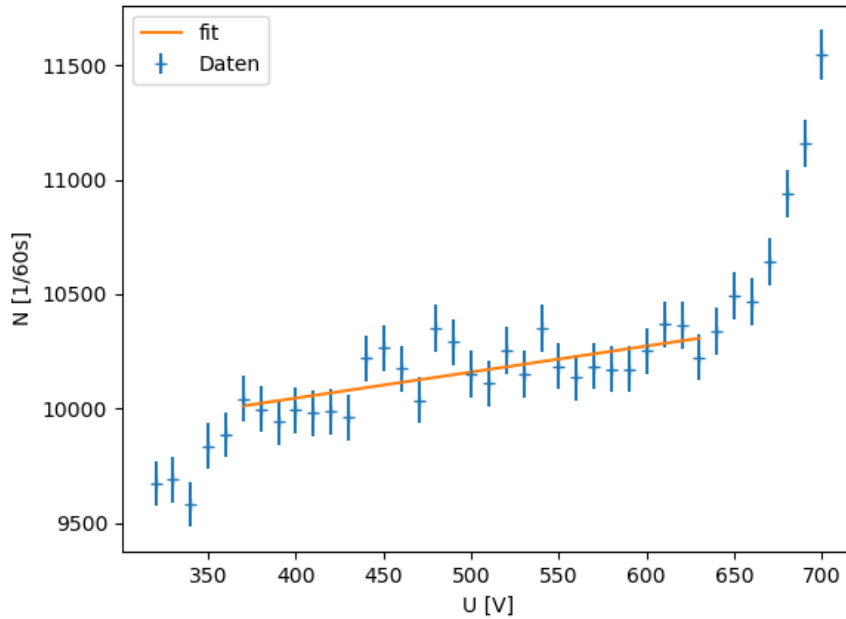
**Tabelle 1:** Die Messwerte der Spannung gegen die Anzahl der Impulse pro 60/s.

Die Daten werden in ein Diagramm eingezeichnet und mit einem Fehlerbalken versehen. Der Fehler entspricht der Wurzel der Anzahl der Impulse. Durch das Plateau wird eine Ausgleichsgerade der Form  $y = mx + b$  gelegt. Die Werte für die Ausgleichsgerade ergeben sich zu:

$$m = 1,138 \pm 0,2401 \frac{1}{\text{V}}$$

$$b = 959 \pm 121$$

Mit diesen Werten berechnet sich die Plateau-Steigung zu  $1,15 \pm 0,24 \%$  pro 100 V.



**Abbildung 6:** Die Charakteristik des Zählrohrs mit linearem fit auf dem Plateau.

Eine geeignete Betriebsspannung lässt sich somit mit 500V angeben.

## 4.2 Totzeit

Die Totzeit des Zählrohrs wird näherungsweise mit der Formel:

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}$$

berechnet. Dafür werden folgende Werte für die Anzahl der Impulse, pro 120 Sekunden genutzt:

$$\begin{aligned} N_1 &= 96041 \pm 310 \\ N_2 &= 76518 \pm 280 \\ N_{1+2} &= 158479 \pm 398 \end{aligned}$$

Die Totzeit  $T$  ergibt sich damit zu  $(22,52 \pm 0,09) \mu\text{s}$ .

## 4.3 Freigesetzte Ladung

Zur Berechnung der freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen werden folgende Werte benutzt:

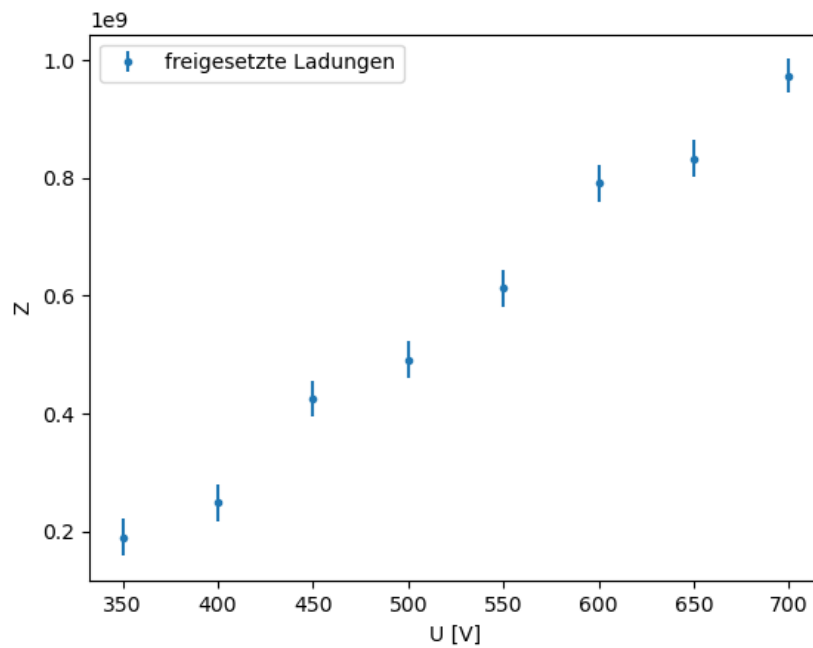
$U / \text{V}$	$N$	$I / \mu\text{A}$
350	9837	0,3
400	9995	0,4
450	10 264	0,7
500	10 151	0,8
550	10 184	1,0
600	10 253	1,3
650	10 493	1,4
700	11 547	1,8

**Tabelle 2:** Die Messwerte zur Berechnung der freigesetzten Ladung.

Mittels der Formel:

$$Z = \frac{I}{e_0 N}$$

ergibt sich folgende Grafik:



**Abbildung 7:** Ein Plot der freigesetzten Ladungen pro Teilchen gegen die anliegende Spannung.

mit den Werten:

$U / V$	$Z_{\text{Werte}} \cdot 10^6 \pm Z_{\text{Unsicherheit}} \cdot 10^6$
350	190,36 $\pm$ 31,78
400	249,81 $\pm$ 31,32
450	425,71 $\pm$ 30,69
500	491,94 $\pm$ 31,13
550	612,94 $\pm$ 31,24
600	791,46 $\pm$ 31,42
650	832,84 $\pm$ 30,83
700	973,06 $\pm$ 28,50

**Tabelle 3:** Die Messwerte zur Berechnung der freigesetzten Ladung.

## 5 Diskussion

Da für diesen Versuch nur Messwerte zur Verfügung gestellt fällt die Diskussion der Versuchsdurchführung natürlich an dieser Stelle weg.

Außerdem lassen sich die bestimmte Werte auch schlecht mit Literaturwerten vergleichen, da nur für das Geiger-Müller-Zählrohr spezifische Werte bestimmt wurden. Jedoch kann hier auf den durch die Totzeit entstandene Fehler hingewiesen werden. Dieser Fehler wurde durch große Versuchszahlen möglichst klein gemacht und in die Rechnungen mit einbezogen.

## 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] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [5] *Versuchsanleitung zu Versuch V703 "Das Geiger-Müller-Zählrohr"*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.