

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND

PHYSIKALISCHES PRAKTIKUM

V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr

Elçin Akay, elcin.akay@tu-dortmund.de

Robin Hegering, robin.hegering@tu-dortmund.de

DURCHFÜHRUNG AM 14. MAI 2019

ABGABE AM 21. MAI 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs	3
2.2	Einfluss der positiv geladenen Ionen	5
2.3	Charakteristik des Zählrohrs	6
2.4	Ansprechvermögen des Zählrohrs	6
3	Durchführung und Aufbau	7
3.1	Messung der Charakteristik des Zählrohrs	7
3.2	Messung der Tot- und Erholungszeit	8
3.2.1	Messung der Tot- und Erholungszeit mithilfe eines Oszilloskops . .	8
3.2.2	Messung der Totzeit mithilfe der Zwei-Quellen-Methode	8
4	Auswertung	8
4.1	Charakteristik des Zählrohrs	8
4.2	Bestimmung der Erholungszeit T_E und der Totzeit T	10
4.3	Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode	11
4.4	Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladung	11
5	Diskussion	13
	Literatur	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen die Funktionsweise sowie charakteristische Parameter eines Geiger-Müller-Zählrohrs bei der Detektion von ionisierender Strahlung untersucht werden.

2 Theorie

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen für diesen Versuch vorgestellt. Zunächst wird der Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs erklärt und anschließend werden die physikalischen Abläufe im Inneren sowie die sogenannte Zählrohrcharakteristik erläutert.

2.1 Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein einfach zu konstruierender Messaufbau, der dazu verwendet werden kann, die Intensität ionisierender Strahlung zu messen. Es besteht aus einem Hohlzylinder, dessen Außenwand mit Radius r_a als Kathode dient, sowie einem Anodendraht mit Radius r_k in der Mitte. Das Innere ist mit einem Gasgemisch gefüllt und unterliegt einem Unterdruck, weshalb sich die sogenannte dünnwandige Mylar-Folie am Eintritt des Zählrohrs nach innen wölbt. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Mit diesem Aufbau ist es möglich, die Teilchenzahl pro Zeit-

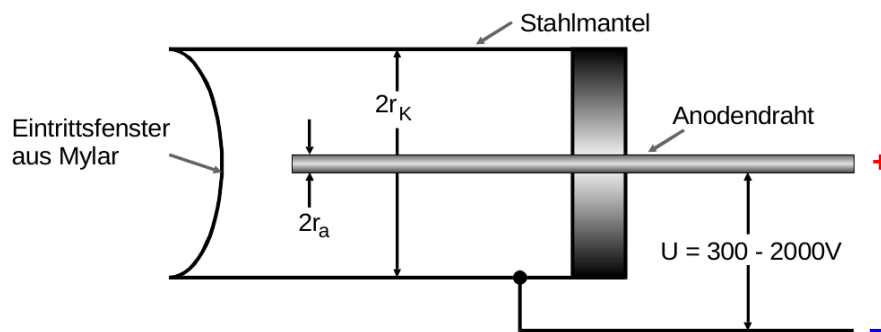


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Geiger-Müller-Zählrohrs [1].

und Flächeneinheit zu bestimmen, woraus sich auch die Strahlungsintensität ergibt. Dazu wird eine Spannung zwischen Kathode und Anode angelegt. Dadurch baut sich ein radialsymmetrisches elektrisches Feld innerhalb des Messrohrs auf, wobei die Feldstärke in Abhängigkeit vom Radius r

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

entspricht.

Trifft ein geladenes Teilchen auf das Zählrohrvolumen, so bewegt es sich durch den Gasraum und ionisiert weitere Teilchen, bis seine Energie aufgebraucht ist. Die daraufhin stattfindenden Prozesse im Zählrohr sind stark abhängig von der angelegten Beschleunigungsspannung. Der charakteristische Verlauf dazu ist in Abbildung 2 zu sehen. Daraus

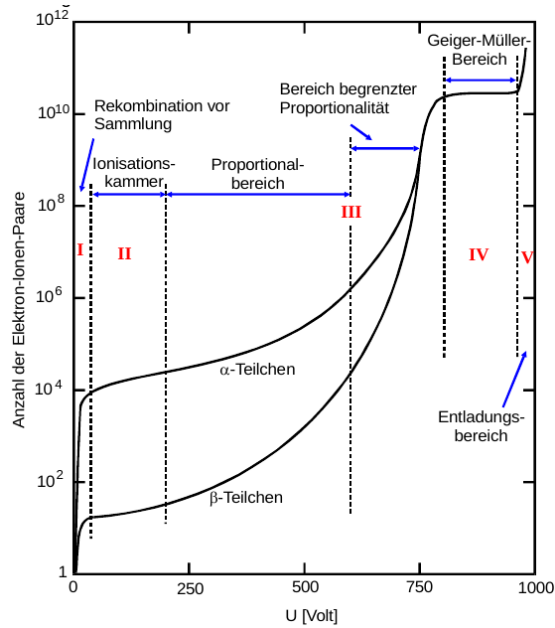


Abbildung 2: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Anzahl zwischen im Zählrohrvolumen erzeugten Elektron-Ionen-Paare und angelegter Beschleunigungsspannung [1].

wird ersichtlich, dass im Bereich *I* nur ein kleiner Anteil der Elektronen den Draht erreicht, wobei alle weiteren durch vorherige Rekombinationsereignisse verloren gehen. Daher nennt man den ersten Bereich auch die Rekombination vor Sammlung.

Im darauf folgenden Bereich *II* ist die Wahrscheinlichkeit für Rekombinationsprozesse geringer und nahezu alle erzeugten Elektronen erreichen den Anodendraht. Dies führt dazu, dass der Ionisationsstrom im Zählrohr proportional zur Energie wird. Daher wird ein Aufbau in diesem Zustand als Ionisationskammer bezeichnet.

Bei noch höheren Beschleunigungsspannungen erhalten die frei gewordenen Elektronen so viel Energie, dass sie ebenfalls ein Atom ionisieren können. Dies wird als Stoßionisation bezeichnet und führt zu einem Lawineneffekt, der Townsend-Lawine genannt wird. In diesem Bereich ist die Ladung pro einfallendem Teilchen nun so groß, dass sie am Zählrohrdraht messbar wird. Weiterhin ist die Ladung proportional zur Energie und zur Intensität, weshalb der Bereich *III* als Proportionalbereich bezeichnet wird.

Wird die Beschleunigungsspannung darüber hinaus erhöht, wird die Ladung von der Primärionisation unabhängig. Dies ist der Bereich *IV* und wird auch als Auslösebereich oder Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs bezeichnet. Neben der Elektronenlawine entstehen dort außerdem UV-Photonen bei der Anregung von Argon-Atomen, die sich aufgrund ihrer Ladungsneutralität auch parallel zum Draht im gesamten Zählrohrvolumen ausbreiten können. Somit ist die am Zählrohrdraht gesammelte Ladung nur noch vom Volumen des Rohres und der Dosis der Betriebsspannung abhängig. Da hier allerdings keine Proportionalität zwischen Primärionisation und Beschleunigungsspannung mehr

vorliegt, kann das Zählrohr nur noch zur Intensitätsmessung verwendet werden.

Im Bereich V kommt es zu einer unkontrollierten Kettenreaktion von Nachentladungen, die zur Zerstörung des Zählrohrs führt. Auf diesen Bereich wird später noch genauer eingegangen.

2.2 Einfluss der positiv geladenen Ionen

Aufgrund der höheren Masse im Vergleich zu Elektronen bewegen sich die positiv geladenen Ionen deutlich langsamer zur Kathode. Dadurch entsteht zwischenzeitlich ein sogenannter Ionenschlauch aus positiv geladenen Ionen, der die Feldstärke in der Nähe der Anode herabsetzt, sodass keine Stoßionisation mehr möglich ist. Dies führt dazu, dass es eine gewisse Totzeit des Zählrohrs gibt, in der ein eintreffendes Teilchen nicht registriert wird. Da die Neutralisation des Ionenschlauchs eine bestimmte Zeit in Anspruch nimmt, beginnt nach der Totzeit eine Erholungszeit, in der die ausgehenden Impulse flacher sind als üblich. Diese charakteristischen Verläufe sind in Abbildung 3 zu erkennen. Dabei ist der Ladungsverlauf gegen die Zeit dargestellt und die Totzeit T sowie Erholungszeit T_E eingezeichnet.

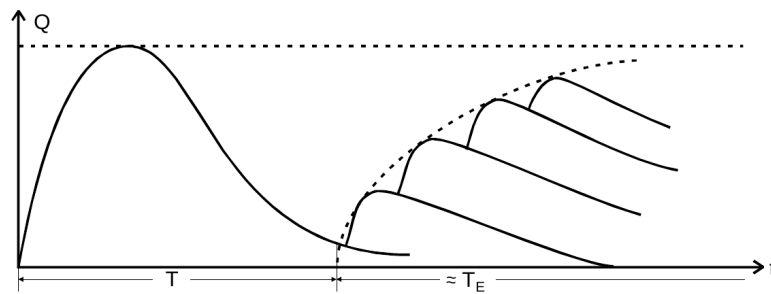


Abbildung 3: Charakteristische Verläufe von Totzeit und Erholungszeit eines Zählrohrs [1].

Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass Ionen, die auf den Zählrohrmantel auftreffen, in der Lage sind, dort Elektronen auszulösen, da die Energie, die durch ihre Neutralisation frei wird, ausreicht, um die Austrittsarbeit für sogenannte Sekundärelektronen aufzubringen. Diese bewegen sich wie die durch Primärionisation erzeugten Elektronen durch das Zählrohrvolumen zur Anode und führen demnach zu einer Nachentladung, sodass durch ein eintreffendes Teilchen zwei oder mehr Ausgangsimpulse entstehen. Da die Zeitdifferenz zum Erstimpuls, die dieser Prozess in Anspruch nimmt, größer ist als die Totzeit, werden die Nachentladungen als reguläre Impulse aufgezeichnet, was zu einer Messunsicherheit führt. Um dies zu verhindern, ist das Zählrohrvolumen neben einem Edelgas ebenfalls mit einem Alkoholdampf gefüllt. Die Edelgasionen stoßen dann vor dem Eintreffen an der Kathode mit den Alkoholmolekülen zusammen, wobei diese zu Schwingungen angeregt werden, da ihre Ionisierungsenergie kleiner als die eines Edelgases ist. Dadurch verbleiben die Edelgasatome anschließend am Ort des Zusammenstoßes und nur die Alkoholmoleküle wandern zur Kathode und werden dort neutralisiert. Aufgrund der bereits in Schwingungen umgesetzten Energie reicht die bei der Neutralisation frei-

gesetzte Energie dann nicht mehr für die Auslösung eines Elektrons. Ein Impuls wird nun also nur noch ausgelöst, wenn tatsächlich ein ionisierendes Teilchen in das Zählrohr einfällt. Es ist zu erwähnen, dass dies nur dem Idealfall entspricht. Im Realfall stellt man jedoch immer noch Nachentladungen fest.

2.3 Charakteristik des Zählrohrs

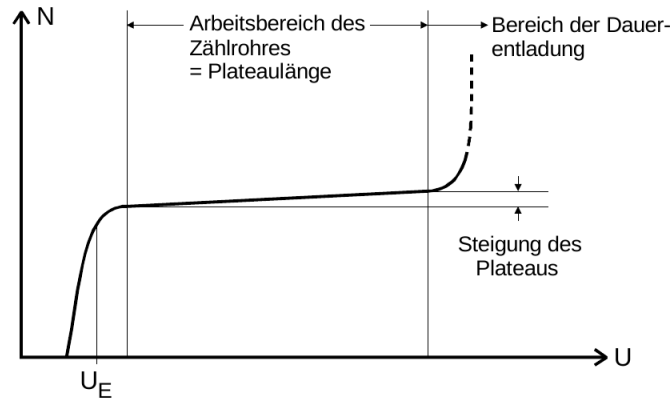


Abbildung 4: Charakteristisches Plateau eines Zählrohrs [1].

Im Folgenden wird der Arbeitsbereich (Bereich IV in Abbildung 2) und seine unmittelbare Umgebung genauer betrachtet. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, ergibt sich beim Auftragen der registrierten Teilchenzahl N gegen die angelegte Spannung U im entsprechenden Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs die sogenannte Charakteristik des Zählrohrs. Dabei bezeichnet U_E den Startpunkt des Auslösebereichs, der aus einem linearen Teil, dem sogenannten Plateau besteht. Unter idealisierten Bedingungen besitzt dieses Plateau keine Steigung. Dies ist allerdings technisch nicht möglich, da es immer zu einigen wenigen Nachentladungen kommt. Anhand dieser Charakteristik lässt sich aber die Qualität eines Zählrohrs beurteilen: ein hochqualitatives Zählrohr besitzt ein langes Plateau mit einer möglichst geringen Steigung. Am Ende des Plateaus kommt es zu selbstständigen Gasentladungen, also Kettenreaktionen, die nicht mehr kontrolliert werden können. Um eine Zerstörung des Zählrohrs zu verhindern, sollte dieser Bereich der Beschleunigungsspannungen nicht verwendet werden.

2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Als Ansprechvermögen eines Zählrohrs wird die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, mit der ein einfallendes Teilchen einen Ausgangsimpuls auslöst. Für α - und β -Strahlung liegt das Ansprechvermögen aufgrund ihres Ionisationsverhaltens bei fast 100 %. Um allerdings überhaupt ein Eindringen in das Zählrohrvolumen zu ermöglichen, wird die Öffnung mit einer dünnen Mylar-Folie ausgestattet. Diese besteht aus Atomen geringer Ordnungszahl, durch die selbst α -Teilchen dringen können. Photonen, also γ -Strahlung können mit einem derartigen Versuchsaufbau aber nicht detektiert werden. Für diese liegt

das Ansprechvermögen bei ca. 1 %. Um das Prinzip des Geiger-Müller-Zählrohrs trotzdem verwenden zu können, muss ein schweres Edelgas wie Xenon als Füllgas verwendet werden.

3 Durchführung und Aufbau

Zur Untersuchung eines Geiger-Müller-Zählrohrs wird dieses an eine Spannungsquelle angeschlossen, mit der die jeweilige Betriebsspannung eingestellt werden kann. Die genaue Funktion des Geiger-Müller-Zählrohrs ist bereits in Kapitel 2 erläutert worden. Am Zählrohr ist außerdem ein Amperemeter vorhanden, um den fließenden Zählrohrstrom ablesen zu können. Zudem wird das Zählrohr an einen Verstärker mit Impulszähler angeschlossen. Außerdem wird es an ein Oszilloskop angeschlossen. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

Zur Untersuchung eines Geiger-Müller-Zählrohrs wird zunächst die Charakteristik bestimmt. Im Anschluss werden Totzeit und Erholungszeit mit verschiedenen Methoden bestimmt.

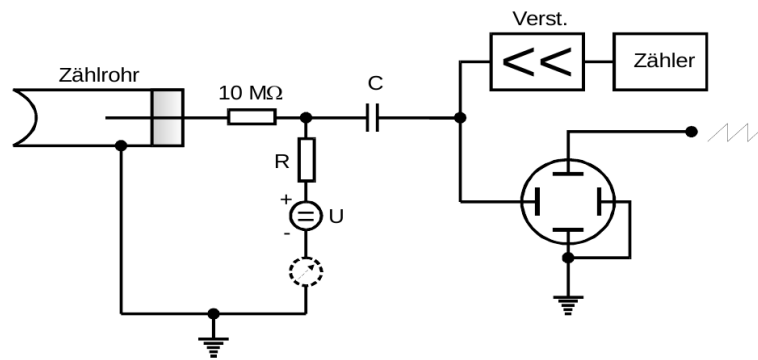


Abbildung 5: Schematische Darstellung des verwendeten Messaufbaus mit Geiger-Müller-Zählrohr, Impulszähler und Oszilloskop [1].

3.1 Messung der Charakteristik des Zählrohrs

Zur Aufnahme der Charakteristik des Zählrohrs wird eine β -Strahlungsquelle vor das Eintrittsfenster gestellt. Es wird die Zählrate in Abhängigkeit von der Betriebsspannung gemessen, wobei für Spannungsabstände von $\Delta U = 10\text{ V}$ im Bereich von $300\text{ V} < U < 700\text{ V}$ jeweils 60 s bestrahlt und eine Zählrate aufgenommen wird. Es muss dabei darauf geachtet werden, dass die Zählrate nicht wesentlich über 100/s steigt, um Totzeit-Korrekturen zu vermeiden. Außerdem darf keine Spannung oberhalb von 700 V eingestellt werden, um den Bereich der Dauerentladung zu vermeiden und somit die Zerstörung des Zählrohrs zu verhindern. Weiterhin wird der im Zählrohr fließende Strom aufgenommen, um daraus die freigesetzte Ladungsmenge zu bestimmen.

3.2 Messung der Tot- und Erholungszeit

In diesem Versuchsteil werden die Tot- und Erholungszeit des Zählrohrs mit zwei verschiedenen Methoden bestimmt.

3.2.1 Messung der Tot- und Erholungszeit mithilfe eines Oszilloskops

Zur Bestimmung der Totzeit sowie Erholungszeit wird der Ausgang des Zählrohrs an ein Oszilloskop angeschlossen. Auf dem Bildschirm des Oszilloskops wird dann eine Kurve der Form in Abbildung 3 beobachtet. Anhand der am Oszilloskop eingestellten Parameter sowie der Distanz auf dem Bildschirm wird zunächst die Totzeit bestimmt. Zur Bestimmung der Erholungszeit werden flimmernde, in ihrer Position auf der Zeitachse schnell wechselnde Peaks beobachtet.

3.2.2 Messung der Totzeit mithilfe der Zwei-Quellen-Methode

Um die Totzeit mithilfe der Zwei-Quellen-Methode bestimmen zu können, wird zuerst ein Präparat vor dem Zählrohrfenster positioniert und dessen Zählrate gemessen. Anschließend wird ein weiteres Präparat vor das Zählrohr gestellt und wiederum die kombinierte Zählrate bestimmt. Zu beachten ist dabei, dass die Position des ersten Präparats zum Zählrohr nicht verändert werden darf. Abschließend wird das erste Präparat entfernt und erneut die Zählrate aufgenommen, wobei wieder darauf geachtet wird, dass die Position des zweiten Präparats zum Zählrohr unverändert bleibt.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Zählrohrs

Die zur Auswertung genutzten Messwerte sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Messdauer beträgt bei jeder eingestellten Beschleunigungsspannung $t = 60$ s.

Um den Fehler der Zählrate zu bestimmen, wird Formel

$$\sigma N = \sqrt{N} \quad (2)$$

genutzt.

Mit Hilfe von `python 3.7.0` wird eine Ausgleichsfunktion der Form

$$N(U) = m \cdot U + b \quad (3)$$

verwendet. Die Parameter der Ausgleichsfunktion lauten demnach

$$m = (1,569 \pm 0,270) \frac{1}{\text{V}}$$
$$b = (11894,533 \pm 132,365) \frac{1}{\text{s}}.$$

Tabelle 1: Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung der Charakteristik des Zählrohrs.

Spannung U / V	Stromstärke $I / \mu\text{A}$	Impulsrate N	Spannung U / V	Stromstärke $I / \mu\text{A}$	Impulsrate N
300	0,00	0	510	0,60	$12718 \pm 112,8$
310	0,00	$11955 \pm 109,3$	520	0,61	$12782 \pm 113,1$
320	0,10	$12118 \pm 110,1$	530	0,65	$12834 \pm 113,3$
330	0,15	$12005 \pm 109,6$	540	0,62	$12626 \pm 112,4$
340	0,19	$12195 \pm 110,4$	550	0,70	$12818 \pm 113,2$
350	0,20	$12437 \pm 111,5$	560	0,73	$12813 \pm 113,2$
360	0,21	$12232 \pm 110,6$	570	0,80	$12724 \pm 112,8$
370	0,21	$12189 \pm 110,4$	580	0,81	$12772 \pm 113,1$
380	0,23	$12572 \pm 112,1$	590	0,82	$12822 \pm 113,2$
390	0,22	$12518 \pm 111,9$	600	0,86	$12993 \pm 114,0$
400	0,22	$12546 \pm 112,0$	610	0,86	$13018 \pm 114,1$
410	0,28	$12507 \pm 111,8$	620	0,90	$13034 \pm 114,2$
420	0,36	$12419 \pm 111,4$	630	0,93	$13037 \pm 114,2$
430	0,39	$12458 \pm 111,6$	640	0,98	$13192 \pm 114,9$
440	0,41	$12597 \pm 112,2$	650	1,00	$13218 \pm 115,0$
450	0,42	$12578 \pm 112,2$	660	1,01	$13218 \pm 115,0$
460	0,46	$12799 \pm 113,1$	670	1,00	$13197 \pm 114,9$
470	0,49	$12680 \pm 112,6$	680	1,02	$13378 \pm 115,7$
480	0,50	$12620 \pm 112,3$	690	1,01	$13537 \pm 116,3$
490	0,52	$12551 \pm 112,0$	700	1,08	$13305 \pm 115,3$
500	0,58	$12676 \pm 112,6$			

Multipliziert mit einer Plateaulänge von 210 V ergibt sich für die Steigung ein prozentualer Anstieg von $m = 4,175\%$ pro 100V.

Die Werte aus der Tabelle 1 sind in der Abbildung 6 dargestellt. Hierbei werden die Fehlerbalken mit Hilfe der Gleichung (2) und `python` berechnet. Der erste aufgenommene Wert wird in der Abbildung nicht berücksichtigt, da dieser keine Information enthält und die Werte für die Parameter fehlerhaft belastet.

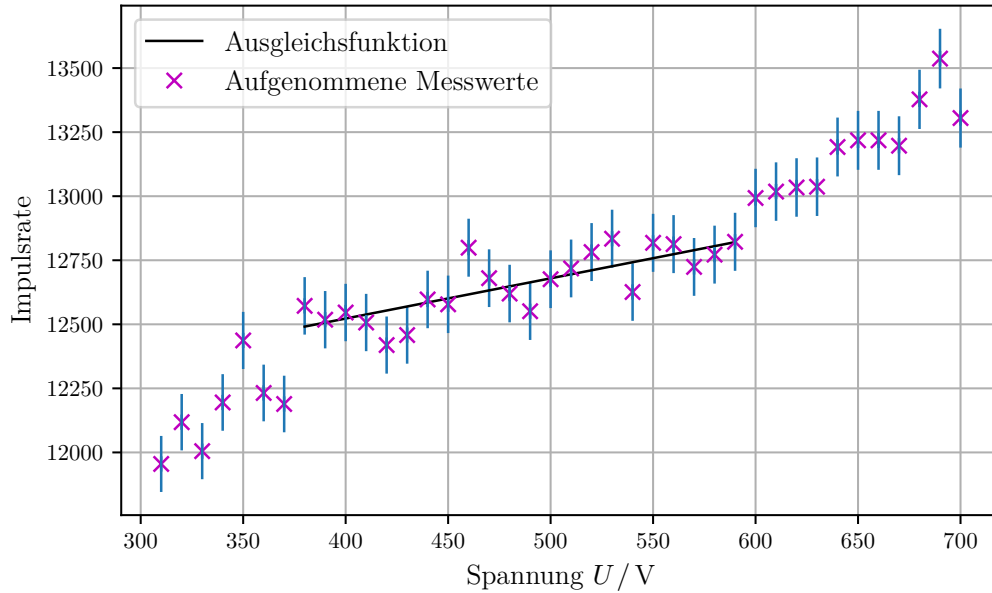


Abbildung 6: Aufgenommene Impulsraten und ihre Abweichung in Abhängigkeit von der angelegten Spannung.

4.2 Bestimmung der Erholungszeit T_E und der Totzeit T

Um die Erholungszeit T_E und die Totzeit T zu bestimmen, wird das Oszilloskop genutzt. Als Zählrohrspannung werden drei verschiedene Spannungen eingestellt, die innerhalb des Arbeitsbereichs des Geiger-Müller-Zählrohrs, also auf dem Plateau liegen, gewählt. Die aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die Totzeit wird mit Hilfe in der Abbildung 3 dargestellten Peaks bestimmt. Hierbei wird die Distanz zum auslaufenden Peak der Totzeit gemittelt und daraus die Erholungszeit bestimmt.

Die Totzeit und die Erholungszeit werden nun mit Hilfe `python` gemittelt, und ergeben

$$T_E = 191,66\mu\text{s}$$

$$T = 50,00\mu\text{s}$$

Tabelle 2: Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung der Erholungszeit und der Totzeit.

Spannung U / V	Erholungszeit $T_E / \mu\text{s}$	Totzeit $T / \mu\text{s}$
450	175	50
500	200	50
550	200	50

4.3 Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode

Im Folgenden wird die Totzeit mittels der Zwei-Quellen-Methode bestimmt. Dazu wird eine Spannung von $U = 500\text{V}$ angelegt. Der Zahlenwert ist jedoch für das Ergebnis irrelevant. Es wird die Impulsrate notiert, welche sich durch die bisher genutzte Probe ergibt.

$$N_1 = (13950 \pm 118, 110) \frac{1}{\text{s}}$$

Hierzu wird dann eine weitere Probe hinzugefügt. Dabei ergibt sich für die Impulsrate

$$N_2 = (13988 \pm 118, 270) \frac{1}{\text{s}}.$$

Zuletzt wird die zweite Probe alleine gemessen, welche den letzten Wert von

$$N_{1+2} = (26901 \pm 164, 015) \frac{1}{\text{s}}$$

erzeugt.

Die Totzeit kann nun mit der Gleichung

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (4)$$

berechnet werden. Mittels der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung und `python` ergibt sich ein Wert von

$$T \approx (2,657 \pm 0,632) \mu\text{s}.$$

4.4 Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladung

Im letzten Versuchsteil wird die freigesetzte Ladung pro Teilchen bestimmt. Dazu wird die Gleichung

$$\Delta Q = \frac{I \cdot t}{N}$$

genutzt. ΔQ ist hierbei die Ladung, t entspricht 60 s und die Ströme I und die dazugehörigen Impulsraten N sind in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung der pro Teilchen freigewordenen Ladung.

Spannung U / V	Stromstärke $I / \mu\text{A}$	Ladung $Q/e_0 / 10^{10}$
310	0	0
320	0,10	$0,309 \pm 0,0002$
330	0,15	$0,467 \pm 0,0004$
340	0,19	$0,583 \pm 0,0005$
350	0,20	$0,602 \pm 0,0005$
360	0,21	$0,642 \pm 0,0005$
370	0,21	$0,645 \pm 0,0005$
380	0,23	$0,685 \pm 0,0006$
390	0,22	$0,658 \pm 0,0005$
400	0,22	$0,656 \pm 0,0005$
410	0,29	$0,838 \pm 0,0007$
420	0,36	$1,085 \pm 0,0009$
430	0,39	$1,172 \pm 0,0010$
440	0,41	$1,219 \pm 0,0010$
450	0,42	$1,250 \pm 0,0011$
460	0,46	$1,346 \pm 0,0011$
470	0,49	$1,447 \pm 0,0012$
480	0,50	$1,483 \pm 0,0013$
490	0,52	$1,551 \pm 0,0013$
500	0,58	$1,713 \pm 0,0015$
510	0,60	$1,766 \pm 0,0015$
520	0,61	$1,787 \pm 0,0015$
530	0,65	$1,896 \pm 0,0016$
540	0,62	$1,839 \pm 0,0016$
550	0,70	$2,045 \pm 0,0018$
560	0,73	$2,133 \pm 0,0018$
570	0,80	$2,354 \pm 0,0020$
580	0,81	$2,375 \pm 0,0021$
590	0,86	$2,395 \pm 0,0021$
600	0,86	$2,479 \pm 0,0021$
610	0,86	$2,474 \pm 0,0021$
620	0,90	$2,586 \pm 0,0022$
630	0,93	$2,671 \pm 0,0023$
640	0,98	$2,782 \pm 0,0024$
650	1,00	$2,833 \pm 0,0024$
660	1,00	$2,861 \pm 0,0024$
670	1,01	$2,838 \pm 0,0024$
680	1,02	$2,855 \pm 0,0024$
690	1,01	$2,794 \pm 0,0024$
700	1,08	$3,040 \pm 0,0026$

5 Diskussion

Die prozentualen Abweichungen werden mit der Formel

$$p = \frac{x_{\text{exp}}}{x_{\text{theoret}}} - 1$$

berechnet. Es ist zu erwähnen, dass der erste Strom erst bei einer Spannung U von 320V gemessen werden konnte.

Der Versuch ist eine gute Darstellung zur Bestimmung der Charakteristik. Ein erwarteter Verlauf des Plateaus ist in der Abbildung 6 nicht eindeutig zu erkennen. Die Länge des Plateaus entspricht 210 V, und zeigt eine geringe Steigung. Dies liegt aber primär daran, dass das Plateau sehr schwierig zu erkennen war. So wurde das erste sichtbare Plateau ausgesucht, und entspricht einer Steigung von 4,175%. Dies ist eine deutlich geringere Steigung als erwartet.

Die Bestimmung der Totzeit erfolgt über zwei Methoden. Bei der ersten Methode wird die Totzeit mit Hilfe des Oszilloskops bestimmt. Es ergibt sich ein Wert von

$$\begin{aligned} T_E &= 191,66\mu\text{s} \\ T &= 50,00\mu\text{s} . \end{aligned}$$

Jedoch ist zu erwähnen, dass das Ablesen der Totzeit sehr schwierig war, und somit große Abweichungen zur Totzeit, welche über die Zwei-Quellen-Methode bestimmt wurde, aufgetreten sind. Dort wurde eine Totzeit von

$$T \approx (2,657 \pm 0,632) \mu\text{s}$$

ermittelt. Die Abweichung beider Totzeiten zueinander liegt über 99%, was darauf hinführen ist, dass die Oszilloskop-Methode nicht so genau oder erfolgreich ist. Die Abweichung ist auf erschwertes Ablesen und Schätzen zurück zu führen. Durch eine digitale Anzeige oder einer besseren Skalierung könnte die Methode über das Oszilloskop erfolgreicher verlaufen.

Die Anzahl an freigesetzten Ladungen aus dem letzten Auswertungsteil sind deutlich größer als die Impulsraten. Diese Abweichungen sind auf die Townsend-Lawinen und die entstandenen Photonen zurück zu führen. Der Unterschied zwischen der Größenordnungen liegt zwischen Zahlraten und freigesetzter Ladung bei $\approx 10^5$.

Schlussendlich lässt sich jedoch zusammenfassen, dass die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs klar geworden ist, trotz nicht vollständig erfolgreicher Messreihe.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Versuch V703*. 9. Mai 2019. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf>.