

Versuch Nr. 703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Antonia Joëlle Bock
antoniajoelle.bock@tu-dortmund.de

Durchführung: 19.05.2020

Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau	3
2.2	Ionisationsprozesse	4
2.3	Tot- und Erholungszeit	5
2.4	Bestimmung der Totzeit mittels der Zwei-Quellen-Methode	6
2.5	Der Zählrohrstrom	6
3	Durchführung	7
3.1	Charakteristik des Zählrohrs	7
3.2	Die Zwei-Quellen-Methode	8
3.3	Bestimmung der Totzeit mithilfe des Oszillographen	8
3.4	Messung der pro Impuls vom Zählrohr freigesetzten Ladung	8
4	Auswertung	9
4.1	Gauß'sche Fehlerfortpflanzung	9
4.2	Charakteristik des Zählrohrs, Plateau-Steigung	9
4.3	Zwei-Quellen-Methode	10
4.4	Bestimmung der Totzeit mithilfe des Oszillographen	10
4.5	Auswertung des Zählrohrstroms	11
5	Diskussion	12
	Literatur	13

1 Zielsetzung

Das Geiger-Müller-Zählrohr kann dazu verwendet werden, die Anzahl von Quanten ionisierender Strahlung zu messen. Es besticht durch seine einfache Funktionsweise und das geringe Maß an benötigtem Zusatzequipment und ist dahingehend ein wichtiges Messinstrument für die Kernphysik. Nichtsdestotrotz hat es auch seine Nachteile, die anhand von Kenndaten, wie der Totzeit, quantisiert werden können. Das folgende Experiment verfolgt aus diesem Grund das Ziel, die relevanten Kenngrößen des vorliegenden Zählrohrs mittels passender Methoden zu ermitteln.

2 Theorie

2.1 Aufbau

Der Aufbau eines typischen Geiger-Müller-Zählrohrs kann in Abbildung 4 eingesehen werden. Zu sehen ist ein Zylinder im Querschnitt, durch dessen Mittelpunkt ein Anodendraht verläuft.

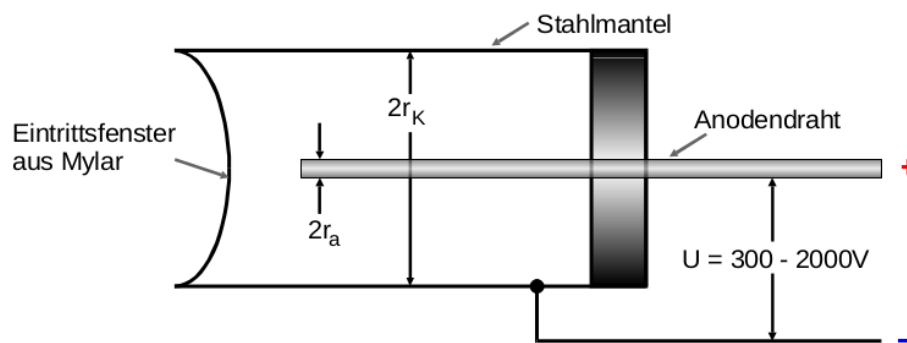


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs[3].

draht verläuft. Zwischen diesem und dem Zylindermantel, der hier als Kathode fungiert, wird eine Spannung angelegt, die beliebig variiert werden kann. Auf der Abbildung links ist das Eintrittsfenster, durch das die jeweiligen Energiequanten ins Innere des Zylinders gelangen. Aufgrund der hohen Wechselwirkung von vor allem α -, aber auch β -Strahlung wird Mylar-Folie als Abdeckung verwendet, die für die Quanten aufgrund ihrer geringen Massebelegung durchlässig ist[3]. Die Stärke des angelegten elektrischen Feldes kann durch Steigerung der Spannung sowie Senkung des Drahtradius' weiter erhöht werden. Innerhalb des Zylinders befindet sich ein Gasgemisch, beispielsweise aus Argon und Ethylalkohol[3]. Deren Zusammensetzung ist von großer Bedeutung für die zu erwartenden Messwerte, wie aus den folgenden Erläuterungen ersichtlich ist.

Gelangt nun ein Energiequant in den Zylinder, ionisiert es durch Stöße die darin befindlichen Gasatome. Die daran anschließenden Prozesse hängen stark von der angelegten Spannung und dem verwendeten Gasgemisch ab. Allgemein lässt sich zusammenfassen: Die entstehenden Ionen und Elektronen bewegen sich entsprechend des angelegten elektrischen Feldes zu den Elektroden und neutralisieren sich wieder. Der Ladungsausgleich

kann, je nach Spannung, Rückschlüsse auf die Menge der Strahlung möglich machen.

2.2 Ionisationsprozesse

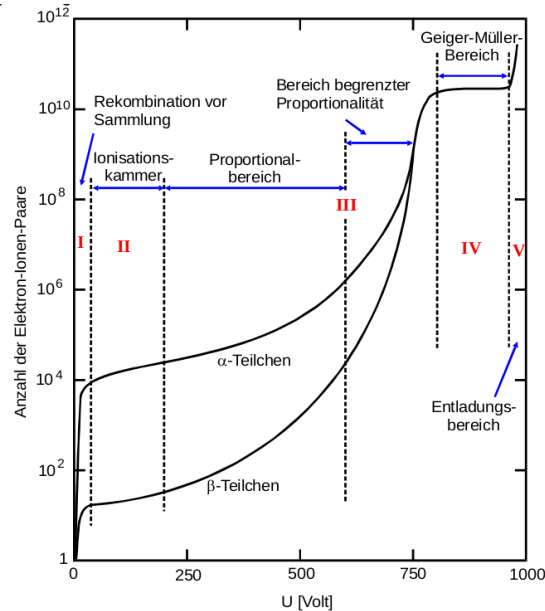


Abbildung 2: Das Verhalten eines Zählrohrs bezüglich seiner Ionisationsprozesse in Abhängigkeit der angelegten Spannung[3].

In Abbildung 2 ist die Anzahl der vom Zählrohr registrierten Impulse auf die angelegte Spannung aufgetragen. Wie leicht erkenntlich ist, ist dies nicht unabhängig von der Spannung und deshalb wichtig, die dahinter ablaufenden Prozesse informiert zu sein.

In Bereich I ist die Beschleunigung der ionisierten Teilchen so gering, dass ein beträchtlicher Anteil dieser vor Erreichen der Elektroden bereits wieder rekombiniert und deshalb nicht registriert wird.

Im II. Bereich, in dem sogenannte Ionisationskammern arbeiten[2, S. 97–100], kommen im Prinzip alle durch das Eintreffen der Strahlung entstandene Ionen-Elektronen-Paare an den Elektroden an und erzeugen dort einen entsprechenden Strom. Dieser sogenannte Ionisationsstrom ist proportional zur Energie und Intensität der Strahlung. Da er relativ gering ist, können erst ab einer gewissen Intensität der Strahlung Geräte in diesem Bereich auf diese Weise verwendet werden.

Der darauffolgende III. Bereich spiegelt die Steigung sogenannter Sekundärionisationsprozesse wider. Ist die Beschleunigung der durch die Strahlung ionisierten Teilchen wiederum so groß, dass sie bei Stoßprozessen weitere Atome ionisieren können, beginnt eine sogenannte Townsendlawine. Je höher die Spannung, desto stärkeren Einfluss hat die Sekundärionisation, bis dann im IV. Bereich die Primärionisationsprozesse nur noch einen verschwindenden Anteil ausmachen. Hier ist die Anzahl der registrierten Quanten stabil trotz einer Erhöhung der Spannung. In diesem Areal arbeitet das Geiger-Müller-Zählrohr.

Eben weil die Primärionisation keinen nennenswerten Einfluss mehr hat (bis auf, dass sie die Sekundärionisation in Gang setzt), kann das Zählrohr nicht die Energie oder Intensität der Strahlung messen, wie es die Ionisationskammer kann. Es kann ausschließlich die Anzahl der auftreffenden Quanten messen, deren Spannungsimpuls unabhängig von der Energie die gleiche Höhe hat.

Wird die Spannung weiter erhöht (Bereich V), führt ein einmaliges Eindringen von Strahlung dazu, dass sich kein neues elektrisches Feld mehr aufbauen kann, da die Ionisationsprozesse schneller für eine Entladung sorgen, als dass sich das Gas wieder neutralisieren könnte. Das Zählrohr geht im Umkehrschluss bei Überschreiten dieser Spannung dadurch kaputt.

2.3 Tot- und Erholungszeit

In Abbildung 3 ist der Verlauf der an den Elektroden ankommenden Ladung nach Eintreffen von Strahlung dargestellt. Anhand dessen wird die Bedeutung von Tot- und Erholungszeit erklärt.

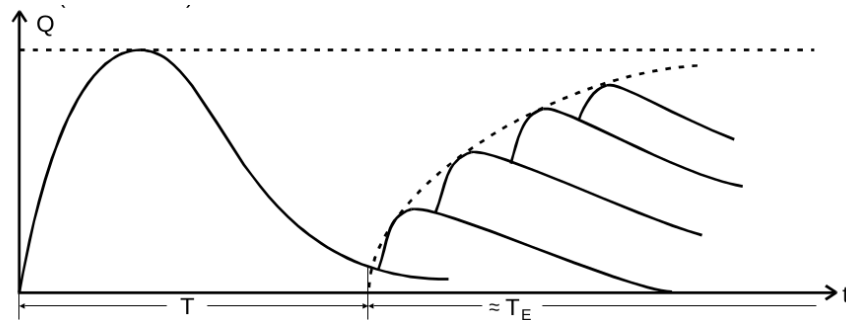


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Tot- und Erholungszeit.

Da sich die Argon-Atome im Vergleich zu den Elektronen eher schwerfällig in dem Gas bewegen, bilden deren positiven Ionen kurz nach Einfall der Strahlung einen Ring um die Anode aus, der das elektrische Feld schwächt. Im Zuge dessen kann in diesem Bereich kein Teilchen registriert werden, weil die Ionisation nicht einsetzt. Die Zeit, in der trotz eingehender Strahlung kein Impuls gemessen wird, nennt sich aus diesem Grund Totzeit. Daran anschließend beginnt sich das elektrische Feld nach und nach in der Erholungszeit wieder aufzubauen. Die Ionen wandern zur negativen Kathode und werden dort neutralisiert. Da wird mitunter jedoch so viel Energie frei, dass die Austrittsarbeit von Elektronen aufgebracht werden kann. Diese Sekundärelektronen wandern dann erneut zur Anode und leiten Nachentladungen ein, die unerwünscht sind, da sie ohne Strahlungseinfall entstehen. Hierfür wird das Edelgas mit dem Ethylalkohol angereichert. Dieses hat eine geringere Ionisierungsenergie, weshalb bei Zusammenstoß der neutralisierten Argon-Atome mit dem Ethylalkohol vielmehr diese ionisiert werden und nicht neue Edelgas-Atome. Bei der Neutralisierung des Alkohols an der Kathode entstehen keine neuen Elektronen, da die Energie im Alkohol auf molekularer Ebene in Schwingungsenergie der Atomketten

übergeht. So kann sich das elektrische Feld durch Zusatz des Alkohols wieder ohne große Nachentladungsprozesse aufbauen.

Wird ein Oszillograph zur Darstellung der entstehenden Spannungsimpulse an das Zählrohr angeschlossen, kann die Totzeit aus der Graphik entsprechend Abb. 3 abgeschätzt werden. Die Differenz zwischen erster Flanke und weiteren Sekundärimpulsen kann als ein Maß für die Totzeit aufgenommen werden.

2.4 Bestimmung der Totzeit mittels der Zwei-Quellen-Methode

Eine genauere Bestimmung der Totzeit τ hingegen wird mittels der Zwei-Quellen-Methode realisiert. Hierfür werden zwei verschiedene Strahlquellen benötigt. Insgesamt werden drei Messungen durchgeführt: Jeweils die Impulsrate beider Quellen sowie die Impulsrate, wenn beide Quellen vor dem Zählrohr platziert werden. Da dieser Methode die Annahme zugrundeliegt, dass die Summe der Impulse der isolierten Messungen der Rate der kombinierten Quelle entspricht, muss bei der Durchführung darauf geachtet werden, den Standort der Quelle vor dem Zählrohr nicht zu verändern, vergleiche hierfür 3.2.

Aufgrund der Totzeit τ unterscheidet sich der wahre Wert N_w der Impulsrate von dem gemessenen N_m :

$$N_w = \frac{N_m}{1 - \tau N_m} . \quad (1)$$

Wie bereits erwähnt, wird davon ausgegangen, dass

$$N_{1+2,w} = N_{1,w} + N_{2,w} \quad (2)$$

für die wahren Werte der Impulsraten gilt. Wird nun (1) in (2) eingesetzt und $N_{i,m} =: N_i$, $i = 1, 2, 1 + 2$, definiert, ergibt sich für die Totzeit

$$\begin{aligned} T^2 - \frac{2}{N_{12}} \cdot T + \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{N_1 N_2 N_{12}} &= 0 \\ \Rightarrow T &= \frac{1}{N_{12}} - \sqrt{\frac{1}{N_{12}^2} - \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{N_1 N_2 N_{12}}} . \end{aligned} \quad (3)$$

Genähert werden kann diese Formel unter der Annahme, dass $T^2 N_i^2 \ll 1$ mit $i = 1, 2, 12$ ist[3]:

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{2 N_1 N_2} \quad (4)$$

2.5 Der Zählrohrstrom

Ist die Intensität und somit die Impulsrate hinreichend groß, kann ein Anodenstrom gemessen werden, der sich aus der Mittelung des zeitabhängigen Stroms über eine Zeitspanne T , die sehr viel größer als die Totzeit τ ist, ergibt:

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{U(t)}{R} dt \quad (5)$$

Daraus lässt sich ein Zusammenhang für die pro eingefallenem Teilchen freigesetzte Ladung Z ableiten, die in Einheiten der Elementarladung $e = 1,602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ [4] angegeben wird. Da – bei bekannter – Impulsrate pro Zeiteinheit und je einfallendem Teilchen die Ladung $I/N = Ze$ freigesetzt wird, ist die freigesetzte Ladung gegeben durch

$$Z = \frac{I}{eN}. \quad (6)$$

3 Durchführung

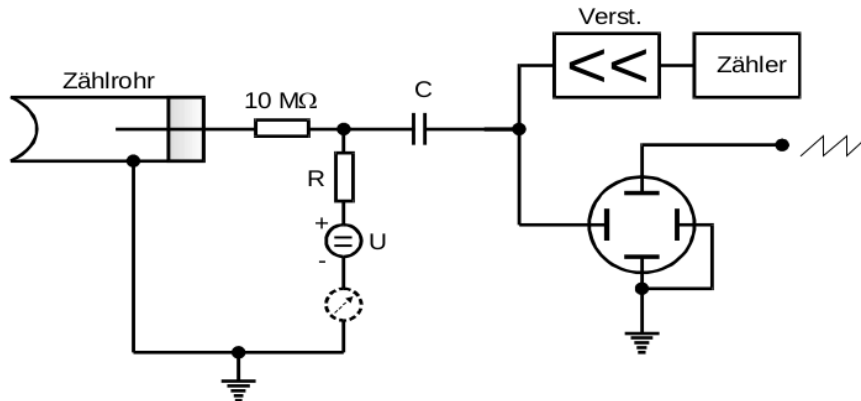


Abbildung 4: Der Versuchsaufbau für die beschriebenen Messungen.

In Abbildung 4 wird der zu verwendende Aufbau ersichtlich. Mithilfe dessen kann die abfließende Ladung der Zählrohr-Anode über den Widerstand an den Kondensator in Form eines Spannungsimpulses weitergeleitet werden. Dort werden die Impulse nach der Verstärkung gezählt und auf einem Oszillographen graphisch dargestellt.

Die β -Quelle ^{204}Tl dient als Strahler für alle Messungen.

Außerdem muss beachtet werden, dass das Gas im Zählrohr ab einer Spannung von 700 V sich selbstständig entlädt und das Zählrohr infolgedessen beschädigt wird.

3.1 Charakteristik des Zählrohrs

Im ersten Schritt wird die Charakteristik des Zählrohrs untersucht. Hierfür wird die Zählrate in Abhängigkeit der am Zählrohr angelegten Spannung gemessen und aufgetragen. Zu beachten ist hierbei, dass nicht mehr als 100 Impulse die Sekunde gemessen werden, damit eine Totzeit-Korrektur nicht vorgenommen werden muss, wie es bei höheren Intensitäten der Fall wäre.

Um den relativen Fehler der Werte für die Impulszahl geringer als 1 % zu halten, muss eine entsprechende Messzeit gewählt werden. Der Fehler der gemessenen Impulse N ist Poisson-verteilt; das bedeutet, dass sich für den relativen Fehler der Impulse

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}} < 0.01 \quad (7)$$

ergibt und somit eine Impulszahl der Größenordnung $N \sim 10000$ nötig ist. Im Experiment wird aufgrund dessen eine Messzeit von $\Delta t = 60\text{ s}$ gewählt.

Die Spannung wird in 10 V-Schritten variiert, angefangen bei 320 V bis hin zu 700 V. Zeitgleich zu dieser Messung werden die Daten des Stroms, wie in 3.4 beschrieben, aufgenommen.

3.2 Die Zwei-Quellen-Methode

Zur Bestimmung der Totzeit wird die Zwei-Quellen-Methode angewendet. Dazu wird die Messzeit auf $\Delta t = 120\text{ s}$ erhöht, um noch genauere Resultate zu erzielen. Eine zweite Quelle wird ebenfalls benötigt. Außerdem muss auf einen geringeren Abstand zum Zählrohr geachtet werden, damit der Effekt der Totzeit nicht wie bei der vorhergehenden Messung weitestgehend unterdrückt wird.

Da im Laufe der Messung beide Quellen vor dem Zählrohr Platz haben sollen, wird die erste Quelle vor dem Zählrohr leicht versetzt platziert und vermessen. Ohne den Standort dieser Quelle zu verändern, wird danach der andere Strahler hinzugefügt und die Strahlung beider Quellen wird aufgenommen. Im letzten Schritt wird die erste Quelle entfernt und nur die zweite vermessen, deren Stellung ebenfalls nicht geändert werden darf.

3.3 Bestimmung der Totzeit mithilfe des Oszillographen

Ein sehr viel ungenaueres Ergebnis der Totzeit – vielmehr eine Abschätzung – erhält man durch die graphische Bestimmung dieser aus einem Oszillographenbild. Die Intensität muss hinreichend groß sein, um überhaupt eine Totzeit messen zu können – das bedeutet, dass der Abstand zwischen Strahler und Zählrohr in diesem Schritt ebenfalls gering sein muss. Ziel ist eine graphische Darstellung, wie sie in 2.3 erläutert beziehungsweise in Abbildung 3 zu sehen wird. Hierfür muss demnach der Oszillograph auf die Anstiegsflanke der Impulse getriggert werden. Dann kann im Folgeschritt die Totzeit graphisch abgeschätzt werden.

3.4 Messung der pro Impuls vom Zählrohr freigesetzten Ladung

Mithilfe des Zählrohrstroms kann die je Photon vom Zählrohr freigesetzte Ladung $Q = Ze$ bestimmt werden, also die Ladung in Einheiten der Elementarladung e . Deshalb wird bereits bei der Aufnahme der Impulse in Abhängigkeit der Spannung (vergleiche 3.1) der Zählrohrstrom gemessen. Das Messintervall beträgt hier $\Delta U = 50\text{ V}$ und das verwendete Strommessgerät hat eine Messunsicherheit von $\pm 0,05\text{ }\mu\text{s}$.

4 Auswertung

4.1 Gauß'sche Fehlerfortpflanzung

Die Gaußsche Fehlerfortpflanzung gibt den Fehler σ_f einer Größe $f(y_1, \dots, y_n)$, die von n unabhängigen Messgrößen y_i mit Unsicherheit σ_{y_i} abhängig ist, an mit [1, S. 34]

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial y_i} \cdot \sigma_{y_i} \right)^2}. \quad (8)$$

4.2 Charakteristik des Zählrohrs, Plateau-Steigung

Die in Abhängigkeit der Spannung gemessene Impulsrate ist in Abbildung 5 aufgetragen.

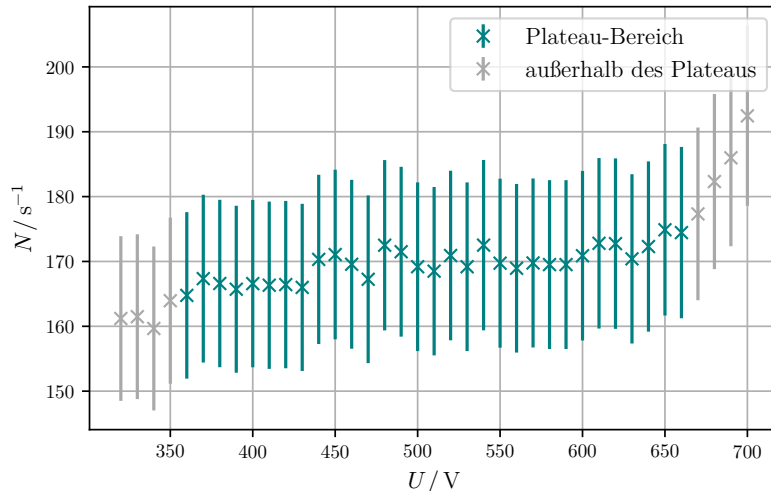


Abbildung 5: Zur Bestimmung der Plateau-Steigung aufgenommenen Messwerte der Impulsrate in Abhängigkeit der Spannung.

Die Plateau-Länge wird auf den Bereich zwischen 360 V und 660 V graphisch abgelesen und somit zu 300 V bestimmt, was ebenfalls der Graphik zu entnehmen ist. Für die Messwerte innerhalb diesen Intervalls wird eine Ausgleichsgerade mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, unter Verwendung von [4]. Die Geradenparameter von $N = a_1 \cdot U + a_2$ werden zu

$$a_1 = (2,30 \pm 0,33) \cdot 10^{-2} \frac{1}{V \cdot s} \quad \text{und} \quad a_2 = (158 \pm 2) \frac{1}{s}$$

bestimmt. Die lineare Näherung im Plateau-Bereich kann in Abbildung 6 eingesehen werden. Dort ist ebenfalls der Unsicherheitsbereich der Geradenparameter farblich gekennzeichnet. Innerhalb eines Spannungsintervalls von 100 V kann also mit einer relativen

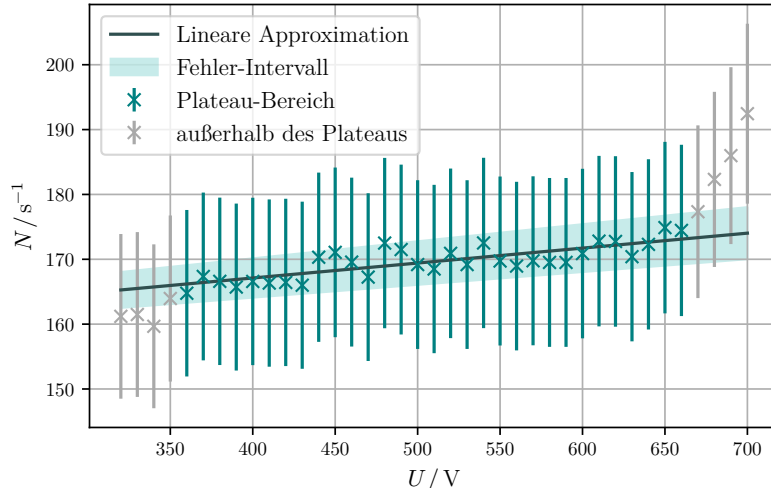


Abbildung 6: Lineare Regression der Impulsrate innerhalb des Plateau-Intervalls.

Abweichung von

$$\frac{N((510 \pm 50) \text{ V}) - N(510 \text{ V})}{N(510 \text{ V})} = \pm \frac{a_1 \cdot 50 \text{ V}}{a_1 \cdot 510 \text{ V} + a_2} = \pm (0,68 \pm 0,09) \% \approx 0,7 \%$$

von der theoretisch als konstant angenommenen Plateau-Höhe gerechnet werden. Die Mitte des Plateau-Intervalls 510 V wird an dieser Stelle als dem Ideal am nächsten kommende Spannung angenommen und für folgende Messungen bilden Spannungen in der Nähe dieses Werts eine solide Grundlage für eine möglichst Totzeit-arme Messung.

4.3 Zwei-Quellen-Methode

Für die drei Messungen ergeben sich folgende Messwerte:

$$\begin{aligned} \Delta t \cdot N_1 &= 96\,401 \pm 310 & \rightarrow N_1 &= (803,34 \pm 2,59) \frac{1}{\text{s}} \\ \Delta t \cdot N_{12} &= 158\,479 \pm 398 & \rightarrow N_{12} &= (1320,66 \pm 3,32) \frac{1}{\text{s}} \\ \Delta t \cdot N_2 &= 76\,518 \pm 277 & \rightarrow N_2 &= (637,65 \pm 2,31) \frac{1}{\text{s}} \end{aligned}$$

Mithilfe der Formel (3) beziehungsweise (4) – beide führen auf den gleichen Wert – ergibt sich eine Totzeit von

$$\tau = (0,12 \pm 0,01) \text{ ms}.$$

4.4 Bestimmung der Totzeit mithilfe des Oszillographen

In Abbildung 7 ist das im Experiment aufgenommene Oszillographendiagramm zu sehen. Einem Kästchen entsprechen 100 μs . Hier sollte nun eine Abschätzung der Totzeit möglich

sein, die sich aus dem Abstand eines Primärpulses und folgenden Sekundärpulsen ergibt. Da das Diagramm jedoch keine Pulse darstellt, die einen eindeutigen zeitlichen Abstand voneinander haben, ganz zu schweigen davon, dass nicht ersichtlich ist, welcher Puls der erste ist, ist mithilfe dieses Ergebnisses aus dem Experiment keine Abschätzung wie ursprünglich geplant möglich. Wie es dazu kommen kann, wird in Kapitel 5 diskutiert.

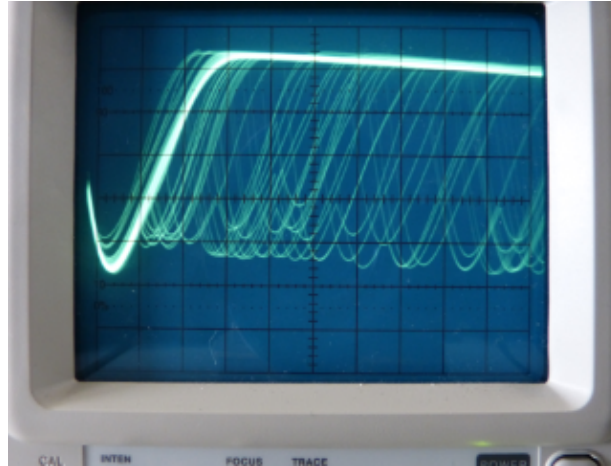


Abbildung 7: Das aufgenommene Oszillographenbild zur Abschätzung der Totzeit.

4.5 Auswertung des Zählrohrstroms

Mithilfe Gleichung (6) werden die in Tabelle 1 aufgetragenen Daten hinsichtlich der Anzahl der freigesetzten Ladungsträger im Zählrohr ausgewertet. Die Unsicherheit des verwendeten Amperemeters beträgt hierbei $\Delta I = 0,05 \mu\text{s}$.

Tabelle 1: Die Messwerte für den Zählrohrstrom in Abhängigkeit der Spannung.

U / V	$N \cdot \Delta t$	N / s	$I / \mu\text{A}$	$Z / 10^9 \text{e}$
350	9837 ± 99	163.9 ± 1.7	0.3 ± 0.05	11.4 ± 1.9
400	9995 ± 100	166.9 ± 1.7	0.4 ± 0.05	15.0 ± 1.9
450	$10\,264 \pm 101$	171.1 ± 1.7	0.7 ± 0.05	25.5 ± 1.8
500	$10\,151 \pm 101$	169.2 ± 1.7	0.8 ± 0.05	29.5 ± 1.9
550	$10\,184 \pm 101$	169.7 ± 1.7	1.0 ± 0.05	36.8 ± 1.9
600	$10\,253 \pm 101$	170.9 ± 1.7	1.3 ± 0.05	47.5 ± 1.9
650	$10\,493 \pm 102$	174.9 ± 1.7	1.4 ± 0.05	50.0 ± 1.8
700	$11\,547 \pm 107$	192.5 ± 1.8	1.8 ± 0.05	58.4 ± 1.7

Zur Berechnung der Fehler sind die von [5] zur Verfügung gestellten Methoden verwendet worden, die die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung nach (8) benutzen. Demnach beträgt der

Fehler der Anzahl der Ladungsträger

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{I^2 \sigma_N^2}{N^4 e^2} + \frac{\sigma_I^2}{N^2 e^2}}.$$

In Abbildung 8 sind zur Veranschaulichung die Ergebnisse aufgetragen, sowie eine Ausgleichsgerade gemäß dem durch (5) und (6) zu erwartenden linearen Zusammenhang. Die entsprechenden Geradenparameter von $Z = m \cdot U + b$ belaufen sich auf

$$m = (13,8 \pm 0,6) \cdot 10^7 \text{ V}^{-1} \quad \text{und} \quad b = (-38,2 \pm 3,3) \cdot 10^9.$$

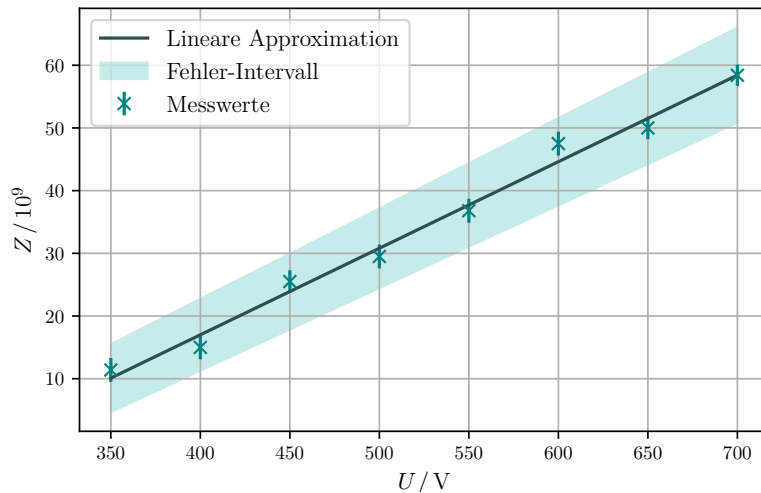


Abbildung 8: Der Zählrohrstrom aufgetragen gegen die angelegte Zählrohrspannung.

5 Diskussion

Die Untersuchung der Charakteristik des verwendeten Geiger-Müller-Zählrohrs ergibt eine prozentuale Ansteigung der Impulsrate von 0,7 % auf einem Spannungsintervall von 100 V. Dies ist ein sehr geringer Anstieg und verträgt sich mit der Annahme, dass das Zählrohr ein reales Pendant des idealen Messinstruments ist, dessen Impulsrate trotz Spannungssteigerung konstant bleibt.

Der aus der Zwei-Quellen-Methode resultierende Wert für die Totzeit hat eine relativ geringe Abweichung von

$$\frac{0.01}{0.12} \approx 8.3 \, \%.$$

Statistische Fehler können sich leicht mit den poisson-verteilten registrierten Impulsen erklären lassen, ein systematischer Messfehler erscheint unwahrscheinlich. Zudem ist fragwürdig, ob die beiden Strahlungsquellen zu jeder Zeit gleich viel Strahlung emittieren

oder ob diese nicht im Verlauf der Messung abnimmt und somit die Daten verfälscht. Der hier gewonnene Wert lässt sich jedoch nicht mit der graphischen Bestimmung anhand des Oszillographenbildes überprüfen.

Hier liegt eindeutig eine Differenz zwischen Theorie und Experiment vor, die es unmöglich macht, ein aussagekräftiges Oszillographendiagramm zu produzieren.

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, gibt es ganz viele Flanken, die einen ähnlichen Verlauf haben, gehäuft aber auf einer dick leuchtenden Linie liegen. Dieser rührt vermutlich von dem pro Quant entstehenden Spannungsimpuls. Die Störungen können sich auf die Gas-Moleküle im Zählrohrinneren zurückführen lassen:

Da bekannt ist, dass das Argon-Gas bei der Neutralisation zu unerwünschten Ionisationen führt (vergleiche hierfür 2.3), wird es mit Ethylalkohol angereichert, welches diesen Effekt weitestgehend eindämmen soll. Das entstandene Diagramm legt jedoch nahe, dass dies nicht ausreichend ist, zumindest, wenn graphisch mithilfe des Oszillographen die Totzeit abgeschätzt werden soll. Die zusätzlichen, verstreuten Impulse rühren von Ionisationsprozessen, die ihrerseits zu Spannungsimpulsen führen, breit gestreut über längere Zeitintervalle.

Die pro Impuls im Zählrohr freigesetzte Ladung weist ebenfalls eine Messunsicherheit aus, die vergleichsweise gering ist. Die Messgrößen, die zur Ermittlung der Größe Z nötig sind, sind auch fehlerbehaftet. Beispielsweise das Amperemeter weist unabhängig vom Messwert eine Messunsicherheit von $0,05\text{ }\mu\text{A}$ auf, was beim ersten Messwert von $0,3\text{ }\mu\text{A}$ bereits eine Abweichung von 17 % bedeutet. Insgesamt jedoch ist aus Abbildung 8 erkennbar, dass die Messwerte und die daraus abgeleiteten Größen im Fehler-Intervall der Ausgleichsgeraden liegen, und es keine auffälligen Störungen gibt. Insofern kann die Messung als erfolgreich eingestuft werden.

Es lässt sich somit das Fazit ziehen, dass die vorgenommene Anreicherung des Edelgases ausreicht, um Messwerte geringer Messunsicherheit zu erhalten, jedoch nicht, um ein quantitativ aussagestarkes Oszillographenbild zu erhalten; die Messungen lassen sich, wie diskutiert, als von systematischen Fehlern vermutlich frei feststellen. Jedoch weist das Geiger-Müller-Zählrohr, wie bereits in der Einleitung deklariert, einige Mängel auf, die nicht so ohne Weiteres kompensiert werden können, wenn hochpräzise Messungen nötig sind. In einem solchen Fall sollte nach Alternativen recherchiert werden. Nichtsdestotrotz liefert es zuverlässige Messwerte, die ein gutes Maß angeben, vor allem, wenn seine Kenngrößen wie die Totzeit bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden.

Literatur

- [1] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 4. Aufl. Springer, 2006.
- [2] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 4. Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. 3. Aufl. Springer, 2010.
- [3] TU Dortmund. *Versuch V703: Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2020.

- [4] 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/>.
- [5] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.