

Versuchsnummer: 703

Geiger Müller Zählrohr

Konstantin Mrozik
konstantin.mrozik@udo.edu

Abgabe: 25. Mai 2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Aufbau und Funktionsweise	3
2.1.1	Totzeit	4
2.1.2	Nachentladung	4
2.2	Charakteristik Geiger-Müller-Zählrohr	5
2.3	Ansprechvermögen	5
2.4	Anodenstrom	6
3	Durchführung	6
3.1	Aufnahme der Charakteristik	6
3.2	Totzeit	6
3.3	Ladungsmenge pro Teilchen	7
4	Auswertung	7
4.1	Charakteristik	7
4.2	Totzeit	7
4.2.1	Zwei-Quellen-Methode	7
4.2.2	Oszilloskop	8
4.3	Ladungsmenge pro Teilchen	8
5	Diskussion	9
	Literatur	10
6	Anhang	11

1 Ziele

2 Theoretische Grundlagen

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Messinstrument um die Intensität ionisierender Strahlung zu messen. Bei einer Absorption eines α, β oder γ Teilchens wird vom Zählrohr ein Impuls abgegeben und es lässt sich anhand der Impulse auf die Anzahl der Teilchen schließen.

2.1 Aufbau und Funktionsweise

Das Geiger Müller besteht aus einem Metallzylinder als Kathode (mit Radius r_k) und einem dünnen Metalldraht in der Mitte der als Anode (mit Radius r_a). Innerhalb des Zylinders ist ein Gasgemisch aus einem Gas und einem Alkohol Anteil (siehe: 2.1.2) das von den eintreffenden Teilchen ionisiert werden kann. Außen an die Anode und Kathode wird eine Spannung angelegt und ein Widerstand geschaltet. Durch die angelegte Spannung entsteht im Zählrohrvolumen ein Radialsymmetrisches E-Feld.

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

Die Messung der einfallenden Teilchen und somit der Intensität ist stark abhängig von

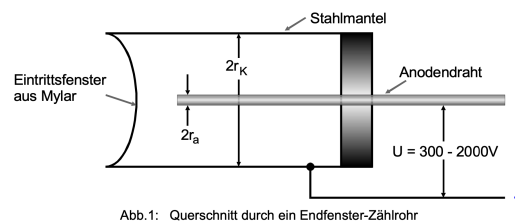


Abb. 1: Querschnitt durch ein Endfenster-Zählrohr

Abbildung 1: Der Querschnitt eines Geiger-Müller-Zählrohrs und der angeschlossenen Schaltung. (Quelle [6])

der angelegten Spannung. Wenn zu Beginn nur eine Sehr schwache Spannung angelegt ist reicht diese nicht aus um die Elektron Ion Paare zu trennen und sie Rekombinieren direkt wieder (Bereich I). In diesem Bereich steigt die Anzahl der detektierten Elektronen schnell an, da mit der steigenden Spannung die Wahrscheinlichkeit des Rekombinierens schnell sinkt. In dem Bereich (II) unmittelbar nachdem die Rekombinationswahrscheinlichkeit gegen Null gelaufen ist, können mit dem Zählrohr nur sehr hohe Strahlungsintensitäten gemessen werden und Zählrohre dieser Art werden Ionisationskammer genannt. Wenn die Spannung weiter erhöht wird nehmen die Elektronen aus den Ionisationen zwischen zwei Atomen genug Energie auf um das nächste Atom das sie stoßen zu ionisieren. Durch diese sogenannte Stoßionisation entsteht ein lawinenartiger Anstieg der Anzahl der Elektronen, dieses Phänomen wird die Townsend-Lawine genannt. Auch wenn in diesem Intervall pro Teilchen sehr viele Elektronen entstehen ist der gemessene Ladungsimpuls immer noch proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. Daher lässt sich in diesem Bereich sowohl die Intensität als auch die Teilchenenergie messen und Zählrohre die in diesem Bereich arbeiten werden Proportionalitätszählrohr genannt. Wenn die Spannung den Proportionalitätsbereich übersteigt wird der Ladungsimpuls unabhängig von der Energie des einfallenden Teilchens und der Auslösebereich beginnt. Der Auslösebereich ist der

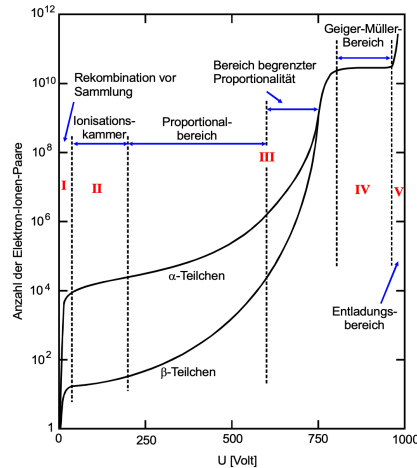


Abb.2: Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare als Funktion der Spannung U bei einem Proportionalzählrohr (nach Kleinknecht, Detektoren für Teilchenstrahlen)

Abbildung 2: Anzahl der erzeugten Elektron-Ion Paare in Abhängigkeit der Zählrohrspannung. Die verschiedenen Arbeitsbereiche sind in der Abbildung markiert. (Quelle [6])

Arbeitsbereich des zu untersuchenden Geiger-Müller-Zählrohrs. In diesem Bereich werden die Atome im Gas nicht nur durch Elektronen ionisiert, sondern für die Stoßionisation nehmen die Elektronen so viel Energie auf, dass bei der Ionisation auch UV-Photonen frei werden. Die entstandenen UV-Photonen können sich im Zählrohr unabhängig von dem E-Feld bewegen und weitere Teilchen ionisieren, daher wird in diesem Bereich das gesamte Zählrohr Volumen ionisiert. Nun ist der zu messende Ladungsimpuls nicht abhängig von der Teilchenenergie aber abhängig vom Volumen des Zählrohrs, daher lässt sich mit dem Geiger-Müller-Zählrohr nur die Strahlungsintensität messen. Wenn die Spannung über diesen Bereich erhöht wird kann das Zählrohr nicht mehr richtig arbeiten und durch eine kontinuierliche Ionisation im Zählrohrvolumen wird jenes zerstört.

2.1.1 Totzeit

Wenn die Atome im Zählrohr ionisiert werden, können die beweglichen Elektronen schnell zum Anodendraht in der Mitte der Zählrohrs gehen, aber die Ionen bleiben wegen ihrer größeren Masse noch länger im Zählrohrvolumen. Durch den sich aus den Ionen bildenden Schlauch von positiven Ladungen um den Anodendraht wird das E-Feld im inneren geschwächt und es kann keine Stoßionisation stattfinden. Daher kann für ein Zeitintervall T_{tot} kein einfallendes Teilchen detektiert werden. Erst wenn die Ionen im Zählrohr wieder vollständig neutralisiert sind kann der Ladungsimpuls wieder seine ursprüngliche Höhe erreichen. Dadurch entsteht zwischen den Pulsen auch eine sogenannte Erholungszeit T_E in der nur geschwächte Ladungsimpulse stattfinden.

2.1.2 Nachentladung

Bei der Neutralisation der Ionen an der Metallkathode, kann es vorkommen, dass durch überschüssige Energie Elektronen aus dem Metall ausgelöst werden. Die ausgelösten Elektronen müssen dann das gesamte Zählrohr durchlaufen um zum Anodendraht zu gelangen und ionisieren auf ihrem Weg neue Atome. Dadurch entstehen nach der ursprünglichen Ladungslawine noch weitere Ladungslawinen und man detektiert die sogenannten Nachentladungen.

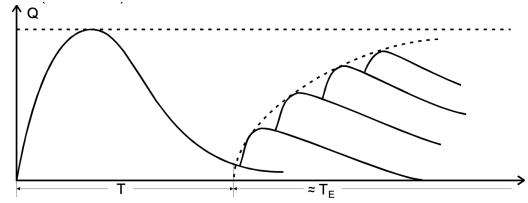


Abb. 3: Tot- und Erholungszeit eines Zählrohrs, dargestellt im Ladungs-Zeit-Diagramm (T_E ist wegen des flachen Verlaufes der Einhüllenden (gestrichelte Linie) in der Praxis nur ungenau zu bestimmen.)

Abbildung 3: Eine Graphische Darstellung der Totzeit und Erholungszeit als Funktion der Ladung in abhängigkeit der Zeit. (Quelle [6])

Da die Ladungsimpulse nicht zu unterscheiden sind von den Ladungsimpulsen durch die einfallenden Ionisierenden Teilchen, verfälschen die Nachentladungen die Messung. Um Nachentladungen zu verhindern wird dem Gas noch ein Alkoholanteil hinzugemischt. Wenn nun die Ionen auf dem Weg zum Metallmantel mit einem Alkoholmolekül zusammenstoßen ionisieren sie ein Atom des Alkohols und neutralisieren sich dabei. Der Ionisierte Alkohol wandert nun zum Kathodenmetall und wird dort neutralisiert, wobei kein Elektron aus dem Metall ausgelöst wird, sondern lediglich der vielatomige Alkohol zu Schwingungen angeregt wird.

2.2 Charakteristik Geiger-Müller-Zählrohr

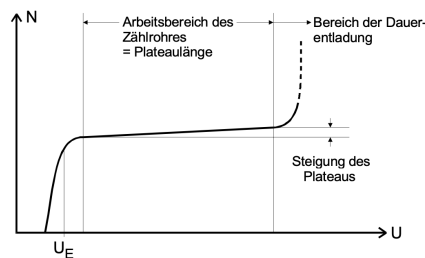


Abb. 4: Zählrohrcharakteristik (einfallende Strahlungsintensität konstant)

Abbildung 4: Ein vergrößerter Ausschnitt des Arbeitsbereichs des Geiger-Müller-Zählrohrs mit eingezeichnetem Plateau. (Quelle [6])

Wenn die Spannung wie in Kapitel 2.1 beschrieben den Auslösebereich erreicht beginnt auch der Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs (Abb. 4). Wenn ein Zählrohr optimal arbeitet, sollte der lineare Bereich im Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs eine Steigung von Null haben. Dieser lineare Bereich, der Plateau genannt wird, hat aber in der Realität immer eine kleine Steigung die auf Effekte wie die Nachentladung zurückzuführen ist.

2.3 Ansprechvermögen

Das Ansprechvermögen eines Geiger-Müller-Zählrohrs hängt mit der Wahrscheinlichkeit verschiedene Teilchen zu detektieren zusammen. Für alpha und beta Teilchen ist das Ansprechvermögen im GM-Zählrohr annähernd 100%, da wenn ein Teilchen dieser Art in das Zählrohr eindringt es fast immer detektiert wird. Um dafür zu sorgen dass die Teilchen in das Zählrohr eindringen können und das Elektrische Feld im innern weiterhin bestehen bleibt, wird eine dünne Mylar Folie genutzt. Die Mylar Folie sorgt dafür dass auf der Seite der Probe die Teilchen in das Zählrohrvolumen dringen können aber kein Gas austritt und

der Strom weiterhin fließen kann. Für Gamma Strahlung die in das Zählrohr eindringt ist das Ansprechvermögen ungefähr 1%, da die Wahrscheinlichkeit dass Photonen ein Gas ionisieren sehr gering ist.

2.4 Anodenstrom

Aus einer Messung des Anodenstroms lässt sich über die Anzahl der einfallenden Teilchen die Menge an Freigesetzten Ladungen pro Teilchen bestimmt werden. Die Menge der Ladungen in Einheiten der Elementarladung ergibt sich als:

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (1)$$

3 Durchführung

3.1 Aufnahme der Charakteristik

Um die charakteristik des Zählrohrs aufzunehmen wird ein Beta-Strahler vor dem Zählrohr platziert und die Zählrate in Abhängigkeit von der Spannung aufgenommen. Dabei ist zu beachten, dass um den relativen Fehler der Einzelmessungen zu minimieren über eine Zeit von 60s gemessen wird, dadurch allerdings Zählraten von über 100 Impulsen pro Sekunde entstehen. Außerdem muss die Spannung $U < 700V$ gehalten werden, damit der Zustand der Dauerentladung nicht erreicht wird.

3.2 Totzeit

Die Totzeit wird auf zwei Arten bestimmt. Zum einen kann über eine Messung mit angeschlossenem Oszilloskop die Totzeit auf dem Oszilloskop abgelesen werden (Bild 5). Es kann aber auch über die Messung der Intensitäten zwei verschiedener Proben und der

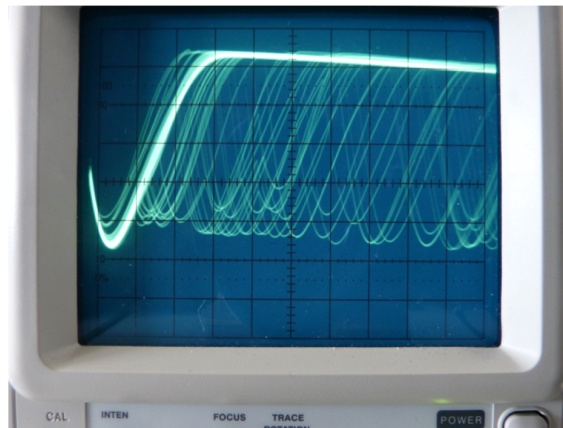


Abbildung 5: Die Aufnahme des Oszilloskops um die Totzeit zu bestimmen. (Quelle [6])

Intensität beider Proben zusammen (Bilder: 6) die Totzeit berechnet werden (2).

$$T_{\text{tot}} \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (2)$$

3.3 Ladungsmenge pro Teilchen

Um die Ladungsmenge pro Teilchen zu bestimmen, wurde bei der Messung für Charakteristik in regelmäßigen Abständen auch der mittlere Zählstrom I gemessen. Aus dem Zählstrom lässt sich damit (Formel 1) die Anzahl der freigesetzten Ladungen pro Teilchen bestimmen.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik

Die aufgenommenen Daten für die charakteristik sind Poissonverteilt und werden daher mit dem entsprechenden Fehler versehen. Um das Plateau auszuwerten werden die Start und End Werte abgelesen und eine lineare Regression gemäß Formel ?? gemacht. Das Plateau

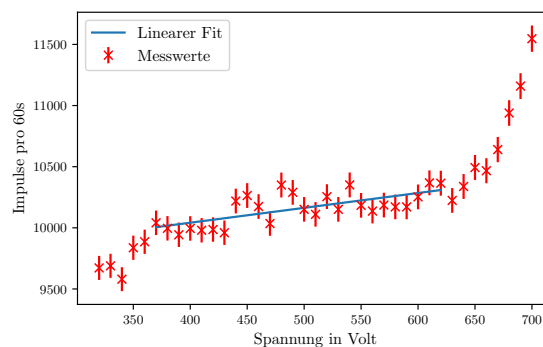


Abbildung 6: Die Impulse werden mit ihren Fehlern gegen die Spannung aufgetragen. Das Plateau ist gut erkennbar und durch eine lineare Ausgleichsgerade angenähert.

wurde für den Bereich zwischen $U = 370$ und $U = 630$ bestimmt.

$$f(x) = m \cdot x + b$$
$$m = 1,21 \pm 0,26 \frac{1}{V} \quad b = (9,56 \pm 0,13) \cdot 10^3$$

Nun kann die Steigung der Geraden in % pro 100V angegeben werden.

$$m_{\%} = \frac{f(100) - f(0)}{f(100)}$$
$$m_{\%} = (1,26 \pm 0,26) \frac{\%}{100V} \quad \checkmark$$

4.2 Totzeit

4.2.1 Zwei-Quellen-Methode

Es ergeben sich folgende Werte der Impulsraten

$$N_1 = 800 \pm 28 \frac{\text{Imp}}{\text{s}} \quad N_2 = 638 \pm 25 \frac{\text{Imp}}{\text{s}} \quad N_{1+2} = 1320 \pm 40 \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$$

Aus diesen lässt sich mit Formel 2 die entsprechende Totzeit mit dem Fehler ΔT_{tot} berechnen.

$$T_{\text{tot}} = (0.00011 \pm 0.00005) \text{s} = (110 \pm 50) \mu\text{s}$$

$$\Delta T_{\text{tot}} = \sqrt{\left(\frac{N_{1+2} - N_2}{2N_1^2 N_2} \cdot \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{N_{1+2} - N_1}{2N_1 N_2^2} \cdot \Delta N_2\right)^2 + \left(-\frac{1}{2N_2 N_1} \cdot \Delta N_{1+2}\right)^2}$$

4.2.2 Oszilloskop

Mithilfe des Oszilloskops kann der Abstand zwischen dem ersten großen und dem ersten kleineren peak abgelesen werden. Dieser Abstand entspricht der Totzeit des Geiger-Müller Zählrohrs. Aus Abb. 5 kann abgelesen werden:

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

4.3 Ladungsmenge pro Teilchen

Aus Gleichung 1 lässt sich über die Ströme und die entsprechenden Impulsraten die Ladungsmenge Z pro Teilchen bestimmen. Der Fehler ergibt sich dabei aus:

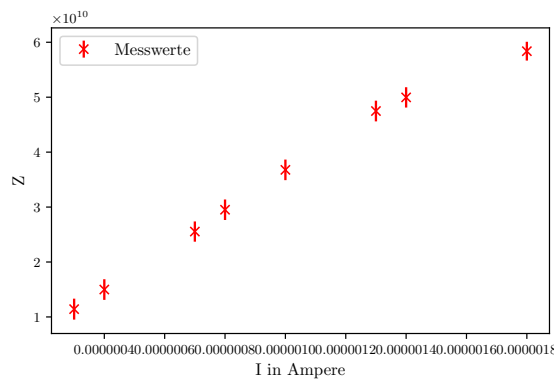


Abbildung 7: Die Ladungsmenge pro Teilchen wird gegen die Stromstärke aufgetragen und die lineare Abhängigkeit ist erkennbar.

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{1}{eN} \cdot \Delta I\right)^2 + \left(-\frac{I}{eN^2} \cdot \Delta N\right)^2}$$

Damit ergeben sich für Z folgende Werte:

I [nA]	Impulsrate [1/s]	Z [$e \cdot 10^{10}$]
300 ± 50	164 ± 2	$1,14 \pm 0,19$
400 ± 50	167 ± 2	$1,50 \pm 0,19$
700 ± 50	171 ± 2	$2,55 \pm 0,18$
800 ± 50	169 ± 2	$2,95 \pm 0,19$
1000 ± 50	170 ± 2	$3,68 \pm 0,19$
1300 ± 50	171 ± 2	$4,75 \pm 0,19$
1400 ± 50	175 ± 2	$5,00 \pm 0,18$
1800 ± 50	192 ± 2	$5,84 \pm 0,17$

5 Diskussion

Aus der Messung der Charakteristik des Zählrohrs wurde die Steigung des Plateaus als $m_{\%} = (1,26 \pm 0,26)\%$ pro 100 V bestimmt. Da eine geringe Steigung positiv zu bewerten ist, arbeitet das Zählrohr annähernd optimal. Allerdings ist anzumerken, dass bei der Messung die Impulsrate über 100 Impulse pro Sekunde steigt. Impulsraten die über diesem Wert liegen sollten eigentlich vermieden werden. Für die Messung der Totzeit ist der Wert aus der Zwei-Proben-Methode sehr nah am aus dem Oszilloskop abgelesenen Wert dran. Der Wert aus der Zwei-Proben-Methode ist aber als zuverlässiger zu bewerten, da beim ablesen des Oszilloskops leicht Fehler entstehen. Die im letzten Teil des Versuches berechnete Ladungsmenge pro teilchen ist wie in der Abbildung erkennbar proportional zur Stromstärke, wie es auch aus der Theorie zu vermuten ist. Mit dem Versuch konnten die Eigenschaften des Geiger-Müller-Zählrohrs gut und zuverlässig bestimmt werden.

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] 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/>.
- [4] *PHYWE: Charakteristische Röntgenstrahlung von Kupfer*. http://www.phywe.ru.com/index.php/fuseaction/download/lrn_file/versuchsanleitungen/P2540101/d/p2540101d.pdf. 25. Mai 2020.
- [5] *The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty*. <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/>. 25. Mai 2020.
- [6] *Versuchsaneitung V703 - Geiger Müller Zählrohr*. TU Dortmund, 2020.

6 Anhang

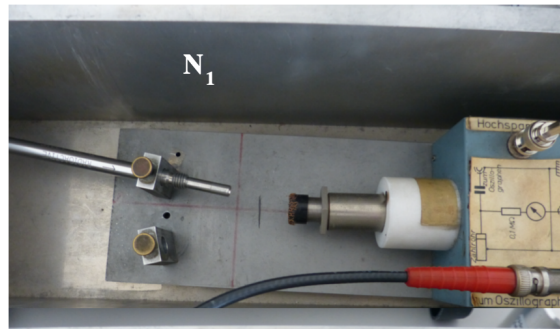


Abbildung 8: Eine N1-Messung.

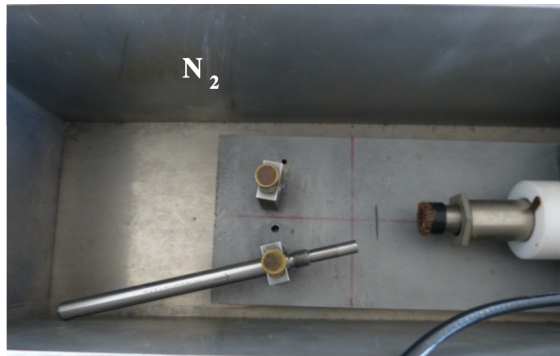


Abbildung 9: Eine N2-Messung.

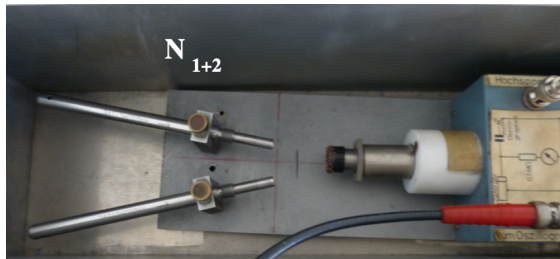


Abbildung 10: Eine N12-Messung.