

V703

Geiger-Müller-Zählrohr

Max Koch
max.koch@udo.edu

Durchführung: - Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
3.1 Versuchsaufbau	5
3.2 Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohr	5
3.3 Totzeitbestimmung	5
3.4 Freigesetzte Ladung pro eingefallenem Teilchen	7
4 Auswertung	7
4.1 Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs	7
4.2 Totzeitberechnung	9
4.3 Freigesetzte Ladung pro eingefallenem Teilchen	9
5 Diskussion	11
Literatur	11

1 Zielsetzung

Durch den Versuch soll die Qualität eines Geiger-Müller-Zählrohrs ermittelt werden. Diese wird bestimmt indem aus der Charakteristik des Zählrohrs, die Steigung des Plateaus berechnet wird. Zudem soll die Totzeit T und die freigesetzte Ladung in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung Z ermittelt werden.

2 Theorie

In dem Versuch soll ein Geiger-Müller-Zählrohr analysiert werden. Dieses ist schematisch in der Abbildung 1 dargestellt worden. Es besteht aus einem positiv geladenem Stab, welcher in der Mitte einer runden negativ geladenen Röhre sitzt. Die Röhre ist mit einem Edelgas-Alkohol Gemisch gefüllt. Der Druck in der Röhre ist dabei allerdings stets niedriger als der Atmosphärendruck. Das Rohr wird mit einer dünnen Mylar Schicht abgeschlossen, sodass das Gas nicht ausdringen kann. Die Schicht aus Mylar wird benötigt, da diese durchlässig für radioaktive Strahlung also α - β - oder γ -Teilchen ist.

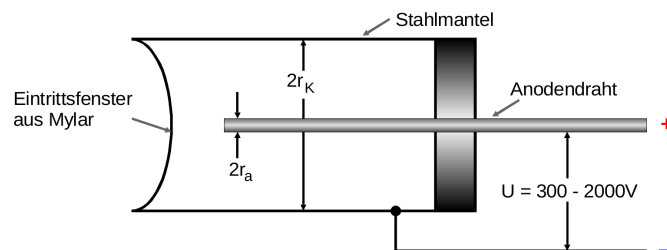


Abbildung 1: Der schematische Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Bild entnommen aus [2].

Trifft nun eins dieser radioaktiven Teilchen auf ein Gas Atom so wird dieses ionisiert. Da das Atom nun nicht mehr neutral geladen ist, folgt dies dem elektrischen Feld zwischen Anodenstab und Aussenwand. Sobald es dort auftrifft entlädt sich das Atom wieder. Dadurch ist es erneut neutral geladen. Durch diesen Prozess entstehen Elektronen Impulse. Dieser Impulse sind allerdings zu gering und nicht messbar. Nun kann es aber bei genügend hoher Spannung dazu kommen, dass die Elektronen welche bei der Ionisierung des Atoms gelöst wurden, ein weiteres Atom ionisieren. In diesem Fall nimmt die Anzahl der Ionisierungen exponentiell zu. In diesem Zusammenhang wird von einer Townsend-Lawine gesprochen. Hier sind die Impulse messbar und lassen sich durch ein Oszilloskop visuell oder durch andere Vorrichtung akustisch bemerkbar machen. Die Ladungsmenge welche durch ein Teilchen freigesetzt wird kann durch

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

berechnet werden. I ist dabei der Strom des Zählrohrs, N die Anzahl der gemessenen Impulse über einen Zeitraum t und e die Elektronen Ladung. Wenn die Höhe der Spannung

am Zählrohr, der Betriebsspannung entspricht, kommt es zusätzlich zu den Townsend-Lawinen, noch dazu, dass UV-Photonen emittiert werden. Da diese Ladungsneutral sind, können sie sich auch gegen die Feldrichtung des elektrischen Feldes bewegen und so Atome im gesamten Rohr ionisieren.

Durch die geringe Masse der Elektronen, bewegen sich diese schnell zum Anodendraht. Da die Atome aber eine wesentlich höhere Masse als die Elektronen haben, halten sie sich wesentlich länger in der Gaskammer auf. So entsteht ein positiv geladener Ring um den Anodendraht herum. Durch diesen können kaum neue Atome ionisiert werden, was dazu führt, dass Teilchen die in dieser Zeit in das Rohr kommen nicht registriert werden. Der Zeitraum in dem keine Registrierung möglich ist wird Totzeit T des Zählrohrs genannt. Die Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs kann mithilfe der Zwei-Quellen-Methode bestimmt werden. Dazu wird die Differenz der Impulse genutzt, die ein Zählrohr zwischen der Messung von zwei einzelnen Quellen und beiden Quellen zusammen aufweist. Die Totzeit kann so durch

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

approximiert werden. N_1 und N_2 sind dabei jeweils die gemessenen Impulse der einzelnen Quellen und N_{1+2} ist die Anzahl der Impulse von beiden Quellen zusammen. Der Messprozess und Ablauf wird ausführlich in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Wenn nun die registriert Teilchenzahl N gegen die genutzte Spannung U aufgetragen wird entsteht die sogenannte Charakteristik. Eine schematische Darstellung einer Charakteristik ist in Abbildung 2 zu sehen. Der mit 'Arbeitsbereich des Zählrohr' markierte Bereich entspricht dem Plateau, dessen Steigung im Abschnitt 4.1 berechnet wird. Denn die Steigung des Plateau gibt an wie viele Nachentladungen im Zählrohr entstehen. Nachentladungen entstehen, wenn sich das elektrische Feld wieder soweit aufgebaut hat, dass Townsend-Lawinen entstehen können, diese aber zeitversetzt sind. Dadurch entstehen mehrere aufeinander folgende Zählrohrentladungen. Diese sind im Allgemeinen unerwünscht, weswegen sich in den meisten Geiger-Müller-Zählrohren zusätzlich zu dem Edelgas, Alkohol befindet. Dieser verhindert die Nachentladungen da diese mit den ionisiert Edelgas-Atomen zusammenstoßen. Hierdurch werden die Alkohol Atome ionisiert, da ihre Ionisierungsenergie kleiner ist als die der Edelgas-Atome. So wandern die Alkohol-Atome, anstatt der Edelgas-Atome, zur Kathode, wo sie neutralisiert werden. Vor dem Plateau ist auch die Spannung U_E in der Grafik markiert worden, bei der der Auslösebereich des Geiger-Müller-Zählrohrs beginnt. Hinter dem Plateau ist die Spannung am Zählrohr so groß, dass es zu einer Dauerentladung kommt, welche der Apparatur schadet.

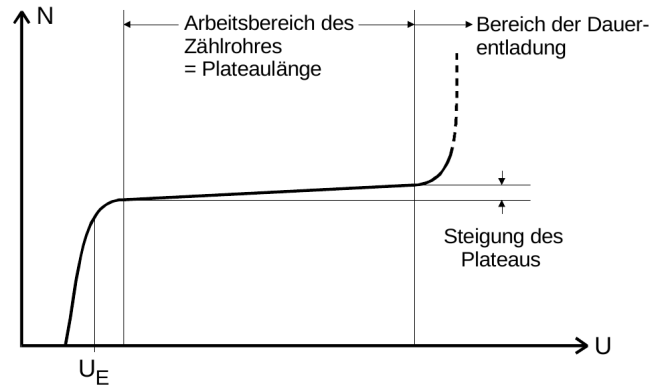


Abbildung 2: Die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Bild entnommen aus [2].

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

Das Geiger-Müller-Zählrohr wird an eine Spannungsquelle angeschlossen. Vor das Zählrohr wird zur Messung eine β -Teilchen Quelle gestellt.

3.2 Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohr

Zur Ermittlung der Charakteristik wird nun die Zählrate des Geiger-Müller-Zählrohrs gemessen. Dafür wird die Spannung am Zählrohr zunächst auf 320 V gestellt. Nun werden die Anschläge des Zählrohrs in einem Zeitintervall von $t = 60\text{s}$ gemessen. Der Zeitintervall ist dabei so gewählt, dass die Impulse pro Zeitintervall im Bereich von $N = 10000\text{ Imp}$ liegen. Dies geschieht um die Unsicherheit durch die Totzeit möglichst im Bereich von 1% zu halten. Nach der Messung wird die Spannung um $\Delta U = 10\text{V}$ erhöht und die Anschläge werden erneut gemessen. Der Prozess, wird bis zu einer Spannung von 700V wiederholt.

3.3 Totzeitbestimmung

Die Totzeit wird mit der Zwei-Quellen-Methode ermittelt. Dafür wird zunächst der Versuchsaufbau, wie in Abbildung 3 dargestellt, umgebaut. Wie in der Abbildung zu sehen ist, muss um N_1 zu messen die Teilchenquelle zuerst in die dafür vorgesehene Halterung gebracht werden. Nach einer Integrationszeit von 120s wird die Anzahl der Impulse festgehalten. Die zweite Teilchenquelle wird zusätzlich zur ersten in die dafür vorgesehene Halterung gebracht und die Messung wird gestartet. Auch diese wird mit einer Integrationszeit von 120s durchgeführt. Durch die Messung wird der Wert N_{1+2} erhalten. Zuletzt wird der Wert N_2 gemessen. Dafür wird die Teilchenquelle welche zur Messung von N_1 genutzt wurde wieder entnommen. Auch hier beträgt die Integrationszeit 120s.

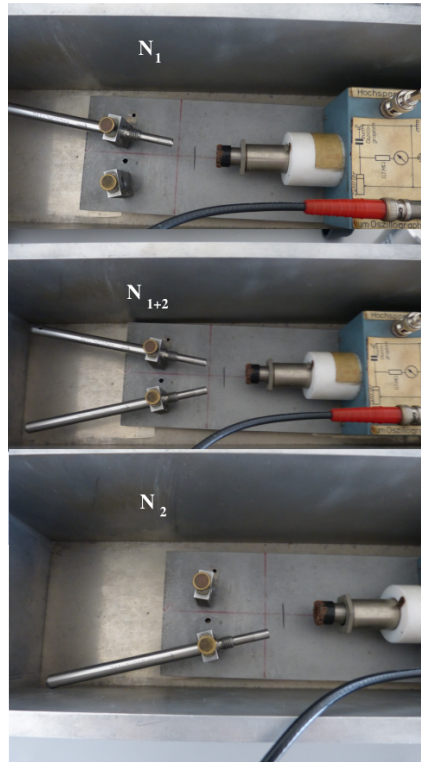


Abbildung 3: Der Versuchsaufbau für die Zwei-Quellen-Methode, Abbildung entnommen aus [2].

3.4 Freigesetzte Ladung pro eingefallenem Teilchen

Während der Messung, die in 3.2 beschrieben wurde, wurde neben den Impulsen, auch der Zählerstrom I des Zählrohrs notiert. Dieser wird in dem Bereich 4 genutzt um den gesuchten Wert Z , die Anzahl der pro Teilchen freigesetzten Ladungen, zu berechnen.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs

Die Messwerte die wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, aufgenommen wurden sind in Tabelle 1 aufgelistet worden. In der Abbildung 4 wurden diese grafisch aufgetragen. Die Grafik wurde mit dem python Plugin matplotlib [3] erstellt. Dabei ergibt sich der Fehler der Werte aus $\Delta N = \sqrt{N}$. In der Grafik ist ebenfalls eine Ausgleichsgerade zu sehen. Diese wurde mit dem python Plugin scipy [4] erstellt. Die Werte mit denen die Ausgleichsgerade berechnet wurden, sind dabei die Werte die das Plateau bilden. Zur Bestimmung der Qualität des Zählrohrs wurde nun die Steigung des Plateaus mithilfe der zuvor genannten Ausgleichsgeraden angenähert. Dazu wurde diese nach dem Muster

$$N(U) = aU + b$$

erstellt. Die Wert der Steigung a und der Wert b sind dabei

$$a = (1,16 \pm 0,22) \frac{\text{Imp}}{\text{V}}$$
$$b = (9,58 \pm 0,11) \cdot 10^3 \text{ Imp.}$$

Die relative Steigung kann durch

$$\Delta N_{\text{rel}} = \left(\frac{N(U = 640 \text{ V})}{N(U = 370 \text{ V})} - 1 \right) \cdot \frac{100 \text{ V}}{(640 - 370) \text{ V}} \cdot 100$$
$$= (1,7 \pm 0,5) \% / 100 \text{ V}$$

bestimmt werden.

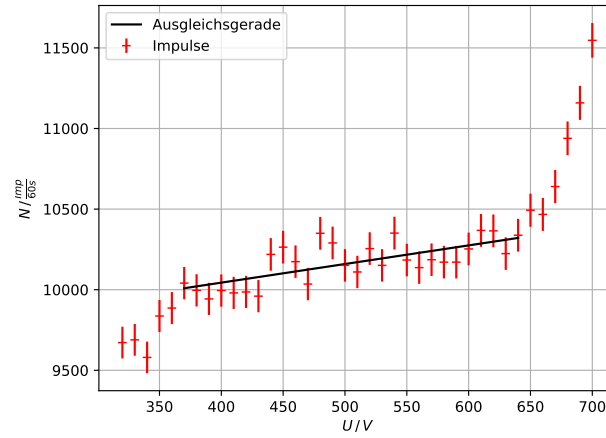


Abbildung 4: Die aufgenommenen Messwerte mit zugehörigen Fehlern, sowie die Ausgleichsgerade im Plateau.

Tabelle 1: Die gemessenen Impulse pro 60s in Abhängigkeit von der Spannung am Zählrohrs.

U/V	$N/\frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	U/V	$N/\frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$
320	9672	520	10255
330	9689	530	10151
340	9580	540	10351
350	9837	550	10184
360	9886	560	10137
370	10041	570	10186
380	9996	580	10171
390	9943	590	10171
400	9995	600	10253
410	9980	610	10368
420	9986	620	10365
430	9960	630	10224
440	10219	640	10338
450	10264	650	10493
460	10174	660	10467
470	10035	670	10640
480	10350	680	10939
490	10290	690	11159
500	10151	700	11547
510	10110		

4.2 Totzeitberechnung

Zur Berechnung der Totzeit wurden die drei Werte

$$\begin{aligned}N_1 &= 96\,041 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}} \\N_{1+2} &= 158\,479 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}} \\N_2 &= 76\,581 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}}\end{aligned}$$

aufgenommen. Der Prozess der Messung ist in Abschnitt 3.3 beschrieben worden. Mit diesen Werten kann mit Hilfe von Gleichung (2) die Totzeit T des Geiger-Müller-Zählrohrs bestimmt werden. Bei dem genutzten Zählrohr lässt sich die Totzeit auf

$$T = (115 \pm 4) \mu\text{s}.$$

bestimmen. Zudem wurde versucht die Totzeit durch ablesen an einem Oszilloskop zu bestimmen. Die Peaks sind auf dem Bild nicht gut zu erkennen, dennoch lässt sich die Totzeit durch diese Methode auf

$$T \approx 100 \mu\text{s}$$

bestimmen.

4.3 Freigesetzte Ladung pro eingefallenem Teilchen

Zur Berechnung der freigesetzten Ladung pro eingefallenem Teilchen wurde während der Messung der Impulse, in Abschnitt 3.2 beschrieben, auch die Stromstärke I am Geiger-Müller-Zählrohr gemessen. Die gemessenen Stromstärken sind in der Tabelle 2 zusammen mit den jeweiligen Impulswerten zu sehen. Aus diesen lassen sich mit der Gleichung (1) die Zahl Z berechnen, welche angibt wie viele Ladungen durch ein einfallendes Teilchen freigesetzt wurden. Aus den berechneten Werten wurde im folgenden ein Plot erstellt, dieser ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Regressionsgerade wurde nach dem Schema $f(x) = Ua + b$ erstellt. Der Wert der Steigung a entspricht dabei der gesuchten Zahl Z . Die Werte für a und b entsprechen

$$\begin{aligned}a &= (1,37 \pm 0,06) \cdot 10^{14} \\b &= (-3,78 \pm 0,31) \cdot 10^{16}\end{aligned}$$

Tabelle 2: Die gemessenen Stromstärken und Spannungen zu den passenden Impuls-
werten, zudem die berechneten Werte für Z mit Unsicherheiten.

U / V	I / A	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	$Z \cdot 10^{16}$	$\Delta Z \cdot 10^{16}$
350	0.3	9837	1.14	0.19
400	0.4	9995	1.50	0.19
450	0.7	10264	2.55	0.18
500	0.8	10151	2.95	0.19
550	1.0	10184	3.68	0.19
600	1.3	10253	4.75	0.19
650	1.4	10493	5.00	0.18
700	1.8	11547	5.84	0.17

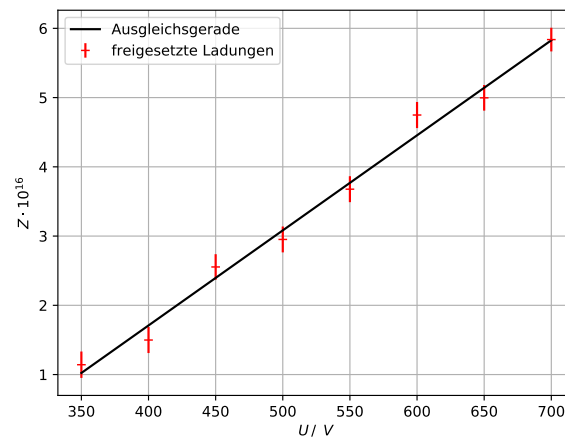


Abbildung 5: Die Zahl der freigesetzten Ladungen pro Teilchen Z aufgetragen gegen
die Spannung U .

5 Diskussion

Die Charakteristik zeigt das zuvor erwartete Bild. Die absolute Steigung des Plateaus der Charakteristik ist

$$a = (1,16 \pm 0,22) \frac{\text{Imp}}{\text{V}}.$$

Die relative Steigung ist $a = (1,7 \pm 0,5) \text{ \%}/100\text{V}$. Damit ist die Steigung gering genug um eine Messung der Intensität zu ermöglichen. Allerdings sind deutliche statistische Unsicherheiten zu erkennen. So sind manche Messwerte im Bereich niedriger Spannung schon so groß wie die Werte am rechtem Rand des Plateaus.

Die Totzeit $T = (115 \pm 4) \mu\text{s}$ ist im Bereich der Totzeit vergleichbarer Zählrohre [1]. Die visuell bestimmte Totzeit von $T \approx 100 \mu\text{s}$ fällt dabei auch in den selben Bereich wie die Totzeit welche durch die Zwei-Quellen-Methode bestimmt wurde.

Die Zahl $Z = (1,37 \pm 0,06) \cdot 10^{14}$ der Freigesetzte Ladung pro eingefallenem Teilchen entspricht nicht genau den Werten von Z welche durch die Berechnung mit der Stromstärke I ermittelt wurden. Dennoch zeigt sich, dass tatsächlich sehr viele Ladungen durch ein Teilchen freigesetzt werden. Es entstehen also viele Townsend-Lawinen durch eine Teilchen. Der Zusammenhang zwischen der angelegter Spannung und den freigesetzten Ladungen ist zudem linear.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 603*. 2014.
- [2] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 702*. 2014.
- [3] 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/>.
- [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/>.