

Versuch 703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

5. Mai 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	1
2	Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs	1
3	Theorie	2
3.1	Totzeit	2
3.2	Nachentladungen	2
3.3	Charakteristik des Zählrohrs	2
3.4	Zwei Quellen Methode	3
3.5	Messung mittels freigesetzter Ladungsmenge	3
4	Durchführung	4
5	Auswertung	4
5.1	Charakteristik des Zählrohres	4
5.2	Erholungszeit	5
5.3	Totzeit	6
5.4	Ladungsmenge	6
6	Diskussion	7
	Literatur	7
7	Tabellen	7

1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist es die Details im Umgang mit einem Geiger-Müller-Zählrohr zu erlernen. Dazu wird die Charakteristik des Zählrohrs, sowie die Totzeit und Erholungszeit gemessen. Zudem wird die einfallende Ladung bestimmt.

2 Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

Eine schematische Abbildung eines Geiger-Müller-Zählrohrs ist in Abbildung 1 dargestellt. Es besteht aus einem stählernen Hüllenzylinder mit Radius r_K , welcher als Kathode dient. In der Mitte des Zylinders befindet sich ein Anodendraht mit Radius r_a . Die Vorderseite des Zylinders ist mit einer für kleine Teilchen leichtdurchdringbaren Folie (Mylar) versiegelt. Im Inneren des Zählrohrs befindet sich ein Gasgemisch, zumeist ein Edelgas wie zum Beispiel Argon, versetzt mit Ethylalkohol. Um das Zählrohr in Betrieb zu nehmen muss eine Spannung zwischen Kathode und Anodendraht angelegt werden. Sobald eine äußere Spannung angelegt wird, bildet sich im Inneren ein radialsymmetrisches E-Feld aus, welches im Abstand r vom Draht die Feldstärke

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

besitzt.

Dringt ein geladenes Teilchen in das Zählrohr, ionisiert es solange die Gasatome, bis es seine Energie vollständig abgegeben hat. Haben die Elektronen genug Energie können sie mehr als ein Atom ionisieren und es kommt zu sogenannten Townsend-Lawinen. Durch die an den Elektroden auftretenden geladenen Teilchen und den entstehenden Strom kann auf die Energie des ursprünglich einfallenden Teilchens geschlossen werden. Dieser Spannungsbereich wird deswegen auch Proportionalbereich genannt.

Bei höheren Spannungen können UV-Photonen durch Stöße entstehen, diese elektrisch neutralen Teilchen können sich senkrecht zum Feld ausbreiten und dort neue Lawinen auslösen, sodass über die Energie keine Aussage mehr gemacht werden kann, nur noch über die Intensität der einfallenden Strahlung. Dieses ist der normale Bereich für ein Geiger-Müller-Zählrohr. Bei höheren Spannungen werden zu viele Lawinen ausgelöst und das Zählrohr kann dadurch zerstört werden.

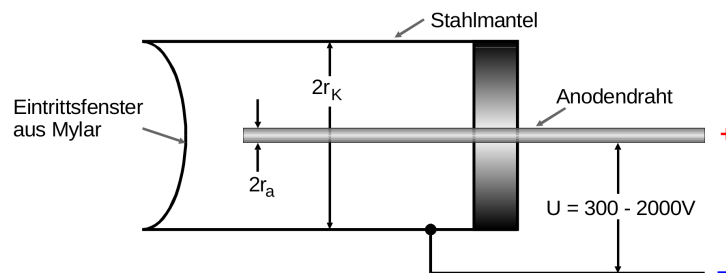


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs [1].

3 Theorie

3.1 Totzeit

Die Totzeit ist diejenige Zeit die verstreichen muss, bis wieder neue Zählungen aufgenommen werden können. Sie kommt daher zustande, dass nach der Ionisation die positiven Ionen, welche deutlich schwerer sind als die Elektronen, sich wesentlich länger im Bereich zwischen Anode und Kathode aufhalten. Sie bauen ein radialsymmetrisches Feld auf, welches das elektrische Feld abschirmt, sodass keine Stoßionisation mehr auftritt und keine Impulse aufgezeichnet werden können. Wenn die Kationen zur Kathode wandern, wird die Feldstärke allmählich größer und es können wieder Impulse detektiert werden.

3.2 Nachentladungen

Nachentladungen treten dann auf, wenn Ionen, die an der Zählrohrhülle neutralisiert werden, dort Elektronen herauslösen. So können durch ein einziges Teilchen mehrere Impulse aufgezeichnet werden, welche also Zählungen vortäuschen. Dieser Effekt wird minimiert, wenn das Edelgas im Inneren des Rohres mit Alkoholdampf vermischt wird. Die Elektronen ionisieren so den Alkohol. Dieser wird dann an der Anode neutralisiert, löst aber keinen Impuls aus. Die Energie wird in die Schwingung dieser vielatomigen Moleküle gesteckt.

3.3 Charakteristik des Zählrohrs

Bei der Charakteristik eines Zählrohrs wird die Anzahl der registrierten Teilchen gegen die angelegte Spannung U aufgetragen. Die so entstehende Kurve, vgl. Abbildung 2, weist einen Bereich mit ungefähr konstanter Steigung auf, welcher Plateau genannt wird. Die Plateaulänge ist dabei ein Maß für den Arbeitsbereich des Zählrohrs. Umso geringer die Steigung des Plateaus ist, desto besser arbeitet das Zählrohr. Aufgrund von Nachentladungen kann die Steigung aber niemals Null werden.

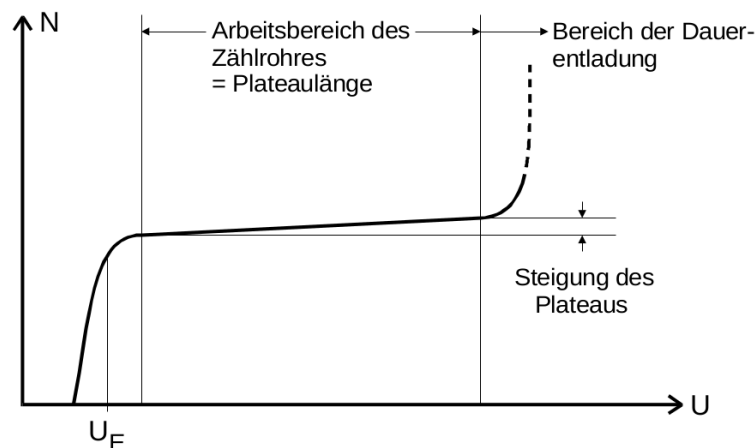


Abbildung 2: Schematische Skizze der Charakteristik eines Zählrohrs. [1]

Zählrohre funktionieren bei α - und β -Strahlung sehr gut, da die Strahlungen ein hohes Ionisationsvermögen aufweisen.

3.4 Zwei Quellen Methode

Die Totzeit führt dazu, dass die Tatsächliche Menge an Zählungen N_r kleiner ist als die Menge der pro Zeiteinheit absorbierten Teilchen

$$N_w = \frac{\text{Impulse}}{\text{Messzeit}} . \quad (2)$$

Bei der Zwei-Quellen-Methode werden für zwei Strahlungsquellen die einzelnen Intensitäten N_1, N_2 , sowie die kombinierte Intensität $N_{1,2}$ gemessen. Es sollte

$$N_{1,2} = N_1 + N_2 \quad (3)$$

gelten, es ist aber

$$N_{1+2} < N_1 + N_2 . \quad (4)$$

Die wahre Teilchenzahl einer Quelle ist

$$N_{1,w} = \frac{N_1}{1 - T_t \cdot N_1} \quad (5)$$

mit der Totzeit T_t Mit der Herleitung aus [1] folgt die Näherung

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} . \quad (6)$$

3.5 Messung mittels freigesetzter Ladungsmenge

Mit einem Amperemeter kann der Zählrohrstrom \bar{I} gemessen werden. Da ein Strom gerade Ladung pro Zeiteinheit ist,

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z \quad (7)$$

kann dadurch die einfallende Ladung ΔQ in Abhängigkeit der Teilchenzahl bestimmt werden.

4 Durchführung

Als erste Messreihe wird die Charakteristik des Zählrohrs aufgenommen. Dabei werden die Impulse pro 60 sec bei einer Spannung zwischen 300 V und 700 V gemessen, sowie die jeweilige Stromstärke.

Im Versuchsaufbau, vgl. Abbildung 3, wird die Stromstärke an einem im Zählrohr eingebauten Amperemeter abgelesen. Oszilloskop und Zählwerk, samt Verstärker, sind über einen Y-Stecker direkt am Zählrohr über Koaxialkabel angeschlossen.

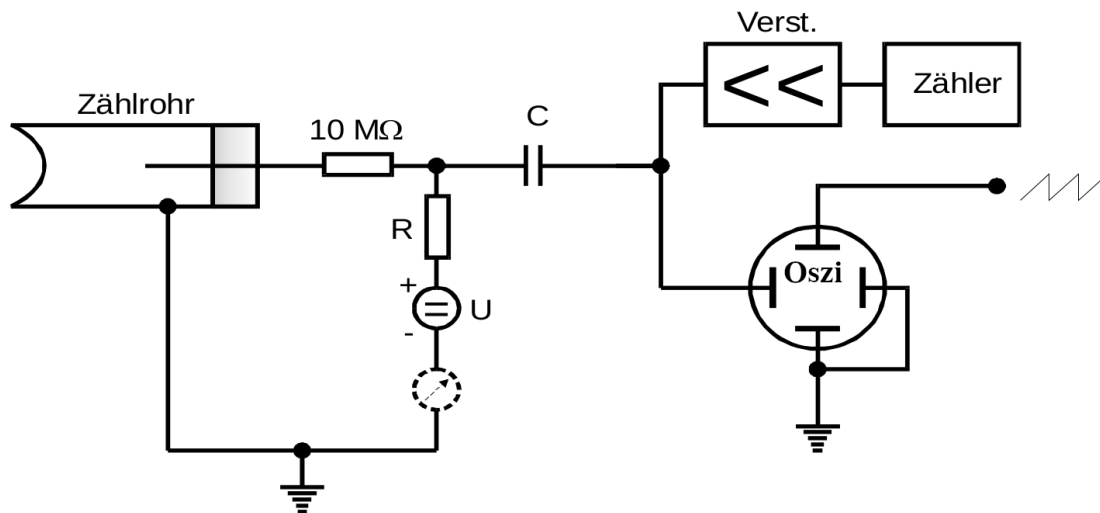


Abbildung 3: Skizze des Versuchsaufbaus. [1]

Im Anschluss werden mithilfe des Oszilloskops die Impulse als Funktion der Zeit auf dem Schirm sichtbar gemacht und für fünf verschiedene Spannungen die Totzeit ausgelesen. Die Nachentladungszeit wird für 4 Spannungen, im Bereich des Plateaus, bestimmt. Als letztes wird die Zwei-Quellen-Methode durchgeführt (siehe 3.4). Es wird in der Reihenfolge $N_1, N_{1,2}, N_2$ gemessen, um die Abstände zwischen Quellen und Zählrohr gleich zu lassen.

5 Auswertung

5.1 Charakteristik des Zählrohrs

Die Messergebnisse der Charakteristik-Messreihe stehen in Tabelle 2 im Kapitel 7, in Abbildung 4 sind die Counts pro Sekunde gegen die angelegte Spannung aufgetragen. Der Fehler des jeweiligen Wertes ist \sqrt{N} . Die Werte der linearen Ausgleichsrechnung nach

$$y = m \cdot x + b \quad (8)$$

im Intervall 390 – 610 V sind

$$m = (0,017 \pm 0,006) \frac{1}{V \cdot s} \quad (9)$$

$$b = (205 \pm 3) \frac{1}{s} . \quad (10)$$

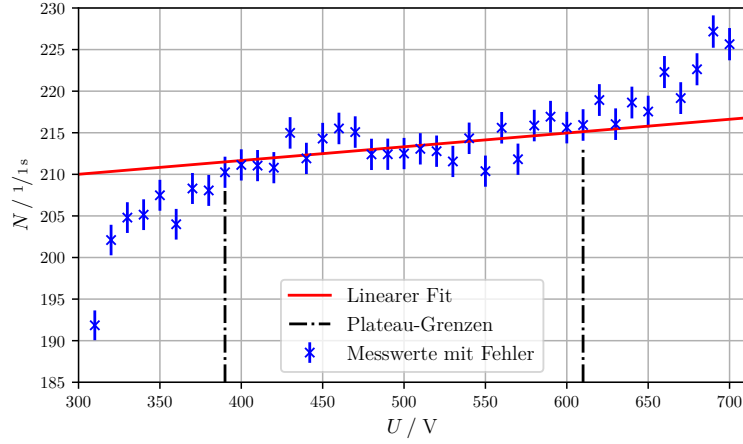


Abbildung 4: Impulsmessung mit Fehlerbalken.

Es ergibt sich aus den Wertepaaren

$$N_{390 \text{ V}} = (210,2 \pm 1,9) \frac{1}{s} \quad (11)$$

$$N_{490 \text{ V}} = (212,4 \pm 1,9) \frac{1}{s} \quad (12)$$

die prozentuale Steigung

$$m_{\%} = 100 \% \cdot \frac{N_{490 \text{ V}} - N_{390 \text{ V}}}{N_{490 \text{ V}}} = (0,94 \pm 0,05) \% , \quad (13)$$

mit dem Fehler nach

$$\Delta m_{\%} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \left(\frac{dm}{dN_j} \Delta y_j \right)^2} \quad (14)$$

$$= \frac{100 \%}{N_{490 \text{ V}}} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{490 \text{ V}} - N_{390 \text{ V}}}{N_{390 \text{ V}}} \right)^2 (\Delta N_{490 \text{ V}})^2 + \left(\frac{\Delta N_{390 \text{ V}}}{N_{490 \text{ V}}} \right)^2} . \quad (15)$$

5.2 Erholungszeit

Die genommen Wertepaare stehen in Tabelle 1a. Mit dem Mittelwert nach

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i \quad (16)$$

und dem Fehler

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=0}^N (x_k - \bar{x})^2} \quad (17)$$

folgt

$$\bar{T}_e = (2,3 \pm 0,7) \text{ ms} . \quad (18)$$

(a) Messwerte der Nachentladung.					(b) Messwerte der Totzeit.					
U / V	350	400	450	500	U / V	400	450	500	550	600
T_e / ms	0,4	2,6	2,5	3,6	$T_t / \mu\text{s}$	160	175	175	200	210

Tabelle 1: Messwerte der Zeitmessungen.

5.3 Totzeit

Die Messwerte der Totzeitmessung mit dem Oszilloskop stehen in Tabelle 1b. Für die Zwei-Quellen-Methode werden in die Formel (6) die Messwerte bei $U = 450 \text{ V}$ eingesetzt:

$$T_{t,2} \approx \frac{(213,9 \pm 1,9) - (468,0 \pm 2,8) + (265,6 \pm 2,1)}{2 \cdot (213,9 \pm 1,9) \cdot (265,6 \pm 2,1)} \text{ s} = (101 \pm 34) \mu\text{s} . \quad (19)$$

Der Fehler folgt mit der Fehlerfortpflanzung nach Gauß, Gleichung (14), zu

$$\Delta T_{t,2} = \sqrt{(\Delta N_1)^2 \left(\frac{1}{2N_1 N_2} - \frac{T_{t,2}}{N_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{1+2}}{2N_1 N_2} \right)^2 + (\Delta N_2)^2 \left(\frac{1}{2N_1 N_2} - \frac{T_{t,2}}{N_2} \right)^2} . \quad (20)$$

Für die Oszilloskop-Messung folgen mit den Formeln (16) und (17)

$$\bar{T}_{t,O} = (184 \pm 9) \mu\text{s} . \quad (21)$$

5.4 Ladungsmenge

Die Werte aus Tabelle 2 werden mit Gleichung (7), umgestellt zu

$$\Delta Q = \frac{\bar{I} \cdot \Delta t}{N} , \quad (22)$$

bestimmt. Mit dem Fehler nach Gleichung (14) folgt

$$\Delta(\Delta Q) = \frac{\bar{I} \cdot \Delta t}{N_{1s}^2} \cdot \Delta N_{1s} . \quad (23)$$

Zur Bestimmung der Ladungsmenge ΔQ , wird für N die Anzahl der Zählungen pro Sekunde mit dem entsprechenden Δt verwendet, da dies die Messzeit des Stromes \bar{I} ist.

6 Diskussion

Die Auswertung der Charakteristik des Zählrohres ergab ein Plateau im Bereich von 390 – 610 V, welches keine einheitliche Steigung aufweist. Demnach ist der Fehler in der linearen Ausgleichsrechnung relativ groß. Der Grund der Fluktuation der Zählungen ist statistischer Natur und rührt daher, dass auch Nachentladungen auftreten, welche zu Unsicherheiten führen. Insgesamt war es zum Zeitpunkt der Durchführung sehr warm im Raum, was zum Ausfall eines anderen Impulszählers führte, die Auswirkungen auf unser Gerät sind unbekannt.

Die Messung der Nachentladungen ergab, dass mit größer werdender Spannung, auch die Dauer der Erholungszeit größer wird. Dieses Ergebnis ist nicht logisch, da die Dauer bis zur Nachentladung davon abhängt, wie schnell die Ionen zur Kathode gelangen und die dann herausgelösten Elektronen die Anode erreichen. Da mit größer werdender Spannung die Teilchenbewegungen schneller werden, ist das aufgenommene Ergebnis ein Widerspruch zur Theorie. Da die Nachentladungen über das Oszilloskop aufgenommen wurden, liegt es vermutlich daran, dass das Oszilloskopbild sehr schwer auszuwerten war. Bei der Totzeitmessung liegen die Ergebnisse der Oszilloskopmessung und der Zwei-Quellen-Methode $40\text{ }\mu\text{s}$, mit maximalen Fehlern, auseinander. Das ist bei einem Wert von $\bar{T}_{t,O} = (184 \pm 9)\text{ }\mu\text{s}$, für die Messung mit dem Oszilloskop, eine große Diskrepanz. Diese ist anscheinend weniger vorteilhaft als die Zwei-Quellen-Methode, basierend auf dem Korrekturkommentar und dem Literaturwert [2], $T_{t,I} = 100\text{ }\mu\text{s}$.

Literatur

- [1] *Anleitung zu v703, Das Geiger-Müller-Zählrohr*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf> (besucht am 14.06.2018).
- [2] *Geiger-Müller-Zählrohr*. URL: <http://www.b-kainka.de/Geiger-M%FCller-Z%E4hler.pdf> (besucht am 13.06.2018).

7 Tabellen

Tabelle 2: Messwerte und umgerechnete Werte der Charakteristik und Ladungsmessung.

	U / V	Impulse/ $_{60\text{s}}$	Impulse/ $_{1\text{s}}$	$I / \mu\text{A}$	$\Delta Q / 10^9 e_0$
	300	0	0 ± 0	0,05	0 ± 0
	310	11 511	192 ± 2	0,1	$3,25 \pm 0,03$
	320	12 126	202 ± 2	0,15	$4,63 \pm 0,04$
	330	12 288	205 ± 2	0,2	$6,10 \pm 0,05$
	340	12 309	205 ± 2	0,2	$6,08 \pm 0,05$
	350	12 449	207 ± 2	0,2	$6,02 \pm 0,05$
	360	12 240	204 ± 2	0,2	$6,12 \pm 0,06$
	370	12 498	208 ± 2	0,2	$5,99 \pm 0,05$
	380	12 484	208 ± 2	0,25	$7,50 \pm 0,07$
Plateau	390	12 615	210 ± 2	0,3	$8,91 \pm 0,08$
	400	12 668	211 ± 2	0,32	$9,46 \pm 0,08$
	410	12 663	211 ± 2	0,39	$11,5 \pm 0,1$
	420	12 648	211 ± 2	0,4	$11,8 \pm 0,1$
	430	12 899	215 ± 2	0,4	$11,6 \pm 0,1$
	440	12 715	212 ± 2	0,4	$11,8 \pm 0,1$
	450	12 858	214 ± 2	0,41	$11,9 \pm 0,1$
	460	12 931	216 ± 2	0,50	$14,5 \pm 0,1$
	470	12 905	215 ± 2	0,55	$16,0 \pm 0,1$
	480	12 744	212 ± 2	0,6	$17,6 \pm 0,2$
	490	12 745	212 ± 2	0,6	$17,6 \pm 0,2$
	500	12 750	213 ± 2	0,6	$17,6 \pm 0,2$
	510	12 784	213 ± 2	0,6	$17,6 \pm 0,2$
	520	12 767	213 ± 2	0,6	$17,6 \pm 0,2$
	530	12 693	212 ± 2	0,65	$19,2 \pm 0,2$
	540	12 860	214 ± 2	0,7	$20,4 \pm 0,2$
	550	12 623	210 ± 2	0,7	$20,8 \pm 0,2$
	560	12 936	216 ± 2	0,8	$23,2 \pm 0,2$
	570	12 709	212 ± 2	0,8	$23,6 \pm 0,2$
	580	12 952	216 ± 2	0,8	$23,1 \pm 0,2$
	590	13 016	217 ± 2	0,85	$24,5 \pm 0,2$
	600	12 937	216 ± 2	0,9	$26,1 \pm 0,2$
	610	12 956	216 ± 2	0,9	$26,0 \pm 0,2$
	620	13 136	219 ± 2	1,0	$28,5 \pm 0,2$
	630	12 962	216 ± 2	1,0	$28,9 \pm 0,3$
	640	13 118	219 ± 2	1,0	$28,5 \pm 0,2$
	650	13 053	218 ± 2	1,0	$28,7 \pm 0,3$
	660	13 338	222 ± 2	1,1	$30,9 \pm 0,3$
	670	13 150	219 ± 2	1,0	$28,5 \pm 0,2$
	680	13 358	223 ± 2	1,1	$30,8 \pm 0,3$
	690	13 630	227 ± 2	1,2	$33,0 \pm 0,3$
	700	13 539	226 ± 2	1,2	$33,2 \pm 0,3$