

Versuch V703

Das Geiger-Müller Zählrohr

Richard Leven
richard.leven@udo.edu

Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau des Geiger-Müller Zählrohres	3
2.2	Funktionsweise eines Zählrohres	3
2.2.1	Verhalten der Elektron-Ion Paare bei steigender Spannung	3
2.2.2	Totzeit	5
2.3	Charakteristik des Zählrohres	6
2.4	Zählrohrstrom	6
3	Durchführung	6
3.1	Charakteristik des Zählrohrs	6
3.2	Totzeitbestimmung mit Zwei-Quellen-Methode	6
3.3	Zählrohrstrom	7
4	Auswertung	8
4.1	Charakteristik des Zählrohrs	8
4.2	Bestimmung der Totzeit	8
4.3	Bestimmung des Zählrohrstroms	8
5	Diskussion	10

1 Ziel

Erstellung einer Charakteristik des Zählrohrs, sowie die Bestimmung der Totzeit und Zählrohrstroms.

2 Theorie

2.1 Aufbau des Geiger-Müller Zählrohrs

Im wesentlichen besteht das Geiger-Müller Zählrohr aus 4 Komponenten.

Das Rohr selbst ist ein metallisch leitender *Zylinder* mit abgedichtetem Boden. Das andere Ende ist eine Membran aus *Mylar*.

Der Hohlraum ist komplett mit einem *Gasgemisch*, meistens Argon und Ethylalkohol, gefüllt. In der Mitte des Rohres ist ein *Metallstab*, der als Anodendraht wirkt. Die Kathode ist der Zylinder.

An den entstehenden zylindrischen Kondensator wird eine Spannung von $300\text{V} - 2000\text{V}$ angelegt.

Abbildung 1 zeigt einen Querschnitt des Geiger-Müller Zählrohrs.

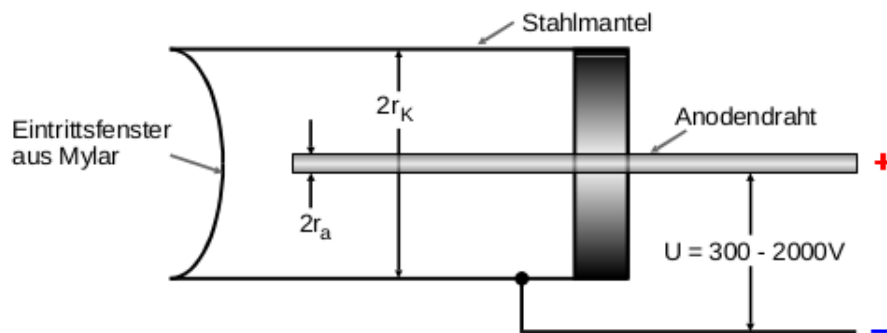


Abbildung 1: Querschnitt eines Geiger-Müller Zählrohrs.

2.2 Funktionsweise eines Zählrohrs

Das Geiger-Müller Zählrohr ist dazu da, um radioaktive Strahlung zu messen und die Intensität zu ermitteln.

Tritt ein α - oder β -Teilchen oder ein Röntgen- oder Gammaquant in den Hohlraum des Rohrs ein, so ionisiert es die Gasatome darin. Das dadurch frei werdende Elektron wird im elektrischen Feld des Kondensators zum Anodendraht hingezogen, wo es beim Auftreffen einen elektrischen Impuls erzeugt. Über elektrische Schaltkreise, die ans Zählrohr angeschlossen sind, lässt sich dieser Impuls messen.

2.2.1 Verhalten der Elektron-Ion Paare bei steigender Spannung

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Ionisation mit zunehmender Spannung am Zählrohr.

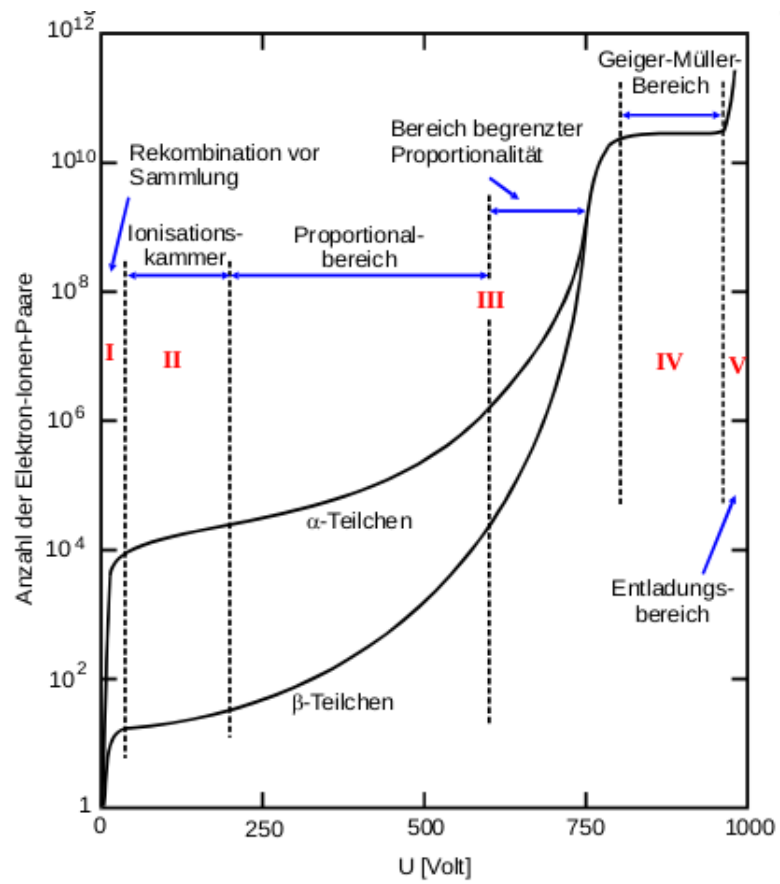


Abbildung 2: Verlauf der Anzahl von Elektron-Ion Paaren mit zunehmender Spannung, mit den jeweiligen Bereichen.

Die Energie des einfallenden Teilchens ist proportional zu der Anzahl an ionisierten Teilchen im Gas. Allerdings hängen die weiteren Verläufe der gelösten Elektronen stark von der Zählrohrspannung ab. Der erste Bereich von 0 - 50 Volt zeigt, dass die entkoppelten Elektronen zu schwach sind, sodass sie rekombinieren bevor sie den Anodendraht erreichen.

Steigt die Spannung weiter an, verhält sich der Ionisationsstrom proportional zur Energie der einfallenden Teilchen. Da solche Ströme sehr gering sind, ist es nur bei sehr hoher Strahlungsbelastung effektiv das Zählrohr mit solcher Spannung zu nutzen. Der assoziierte Bereich ist der II auf Abbildung 2.

Wird nun die Spannung weiter erhöht, können die ionisierten Elektronen ihrerseits Gasatome ionisieren, dessen Elektron das ebenfalls können. Dadurch steigt die Anzahl an ionisierten Paaren exponentiell an und die Ladungsmenge Q ist nun so groß, dass sie einen messbaren elektrischen Impuls in der Drahtanode erzeugen kann. Hierbei sind noch alle erzeugten Elektronen proportional an die Energie des radioaktiven Teilchens gebunden. Daher wird dieser Bereich (Bereich III in 2) Proportionalbereich genannt.

Ab einer Spannung von ca 750V entfällt die Proportionalität und es ist nur noch eine Intensitätsmessung möglich. Ab dieser Energie können ionisierte Elektronen UV-Strahlung durch Einfallen in Argon-Atome erzeugen. Diese kann ihrerseits ebenfalls ionisieren, sodass sich über das gesamte Volumen des Rohres Elektronen verteilen und den Anodendraht überall erreichen. Die Ladung am Draht hängt nur vom Volumen des Zählrohres und der angelegten Spannung ab. Hierbei muss die Elektrik keinen großen Aufwand erbringen, um den Impuls an der Anode nachzuweisen. Dieser Bereich wird Geiger-Müller Bereich genannt, da hier der primäre Nutzen des Gerätes liegt.

2.2.2 Totzeit

Während beim Entladen (Bereich V in 2) die Elektronen durch ihre geringe Masse sehr schnell die Anode erreichen, brauchen die positiv geladenen Atomkerne länger. Daraus resultiert ein sog. Ionenschlauch, der das elektrische Feld

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

um den Draht stark abschwächt. Während dieser Zeit ist keine Stoßionisation möglich und infolge dessen wird kein Teilchen registriert.

Dieser Zeitabschnitt wird *Totzeit* genannt.

Auf die Totzeit folgt die Erholungszeit des Zählrohres, da es dauert bis das ursprüngliche elektrische Feld wieder maximal stark ist. In dieser Erholungszeit entstehen Sekundärelektronen, beim Auftreffen der Kerne auf der Kathode. Diese Elektronen können das gesamte elektrische Feld durchqueren und mehrmals die Zählrohrentladung erneut zünden. Dies wird Nachentladungen genannt.

Die Bestimmung der Totzeit erfolgt mit der zwei Quellen Methode. Die resultierende Gleichung ist:

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

2.3 Charakteristik des Zählrohres

Eine Charakteristik ist die Anzahl der Impulse gegen die Zählrohrspannung aufgetragen. Dabei beginnt der Auslösebereich bei U_E . Nach dem Auslösebereich folgt ein Plateau. Idealerweise müsste es die Steigung null haben, jedoch erzeugen Nachentladungen eine leichte Steigung. Nach dem Plateau beginnt die Dauerentladung. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

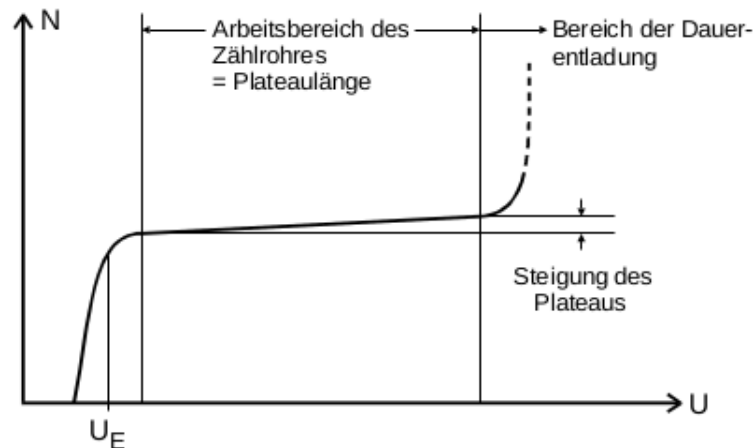


Abbildung 3: Verlauf der Impulse bei zunehmender Spannung.

2.4 Zählrohrstrom

Für die Ermittlung der freigesetzten Ladungen Z pro einfallendem Teilchen benötigt es die Impulsanzahl, sowie den gemessenen Strom über das Zählrohr. Die Ladungen werden dann gemäß 3 berechnet.

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (3)$$

3 Durchführung

3.1 Charakteristik des Zählrohrs

Für die Aufnahme der Charakteristik wird eine β -Quelle vor das Geiger-Müller Zählrohr angebracht. Bei einer Zählrohrspannung von 320 V-700 V und einer Integrationszeit von $t = 60$ s werden in Schritten von 10 V die Impulse gemessen.

3.2 Totzeitbestimmung mit Zwei-Quellen-Methode

Die ^{204}Tl -Quelle wird nun näher ans GM-Zählrohr gebracht und mit einer Integrationszeit von $t = 120$ s aufgenommen. Drauf wird eine zweite Quelle angebracht und erneut gemessen. Zuletzt wird nur die zweite Quelle gemessen. Aus den drei Messwerten lässt sich nach Gleichung 2 die Totzeit bestimmen.

3.3 Zählrohrstrom

Bei einer Integrationszeit von $t = 60\text{ s}$ und bei 350 V - 700 V wird der Zählrohrstrom in Schritten von 50 V gemessen. Hieraus lässt sich die Anzahl an freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen bestimmen.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Zählrohrs

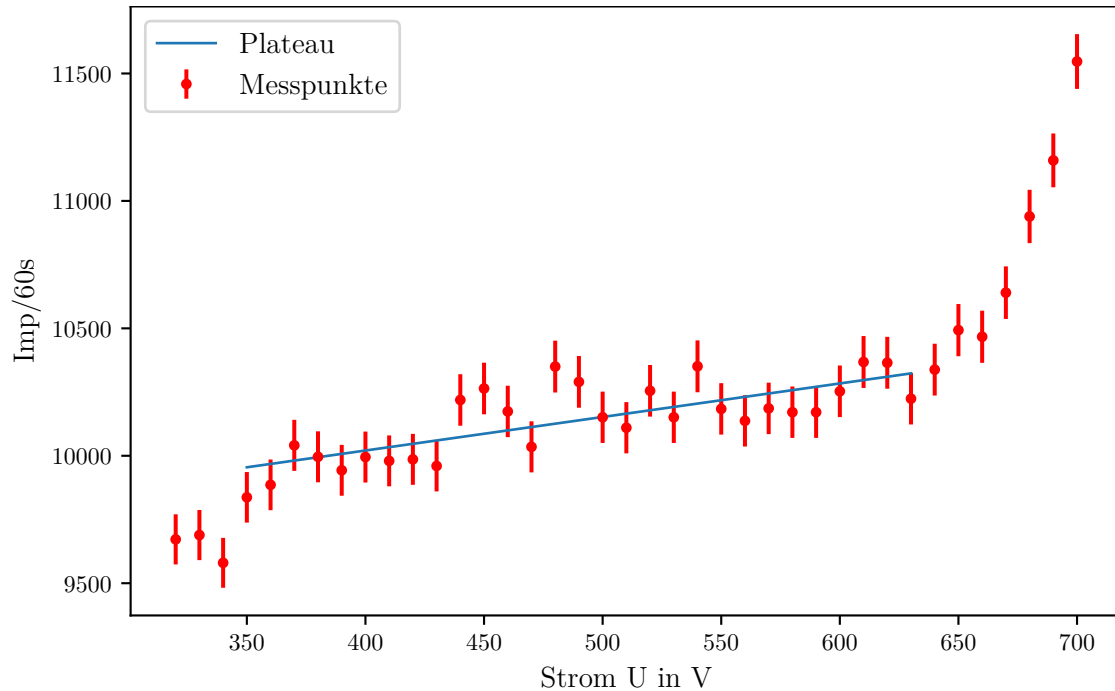


Abbildung 4: Darstellung des Geiger-Plateaus.

In Abbildung 4 sind die Messdaten des Zählrohrs dargestellt. Die Unsicherheiten der Impulse sind Poisson-verteilt, sodass $\Delta N = \sqrt{N}$. Die Steigung des Plateaus (blaue Linie) beträgt 1.316 ± 0.22 Imp/V. Das ergibt eine Steigung von ca 131.6 Impulsen pro 100 V. Die Zählrate im Plateau liegt im Bereich von 10000 und die Integrationszeit bei $t = 60$ s, damit eine Totzeitkorrektur nicht notwendig ist.

4.2 Bestimmung der Totzeit

Die gemessenen Werte für N_1 , N_2 und N_{1+2} sind:

$$N_1 = 96041 \text{ Imp/120s}$$

$$N_2 = 76518 \text{ Imp/120s}$$

$$N_{1+2} = 158479 \text{ Imp/120s}$$

Nach Gleichung 2 liegt die Totzeit bei etwa $957.971 \mu\text{s}$.

4.3 Bestimmung des Zählrohrstroms

Die Werte für die Anzahl Z der freigesetzten Ladungen pro eingefallenem Teilchen stehen in Tabelle 1. Die Unsicherheit der Stromstärke beträgt $\Delta A = 0,05 \mu\text{A}$.

Tabelle 1: Liste der gegebenen Werte, sowie der freigesetzten Ladungen mit Fehler.

Spannung U in V	Strom I in μA	Anzahl Impulse N	Ladungen Z	Fehler von Z
350,0	0,3	9837,0	190 347 943,716	31 724 657,286
400,0	0,4	9995,0	249 785 255,606	31 223 156,951
450,0	0,7	10 264,0	425 668 000,012	30 404 857,144
500,0	0,8	10 151,0	491 893 139,550	30 743 321,222
550,0	1,0	10 184,0	612 874 025,379	30 643 701,269
600,0	1,3	10 253,0	791 374 407,178	30 437 477,199
650,0	1,4	10 493,0	832 756 380,849	29 741 299,316
700,0	1,8	11 547,0	972 955 428,599	27 026 539,683

Das ergibt einen nahezu linearen Anstieg der freigesetzten Ladungen, wie in Abbildung 5 zu erkennen ist.

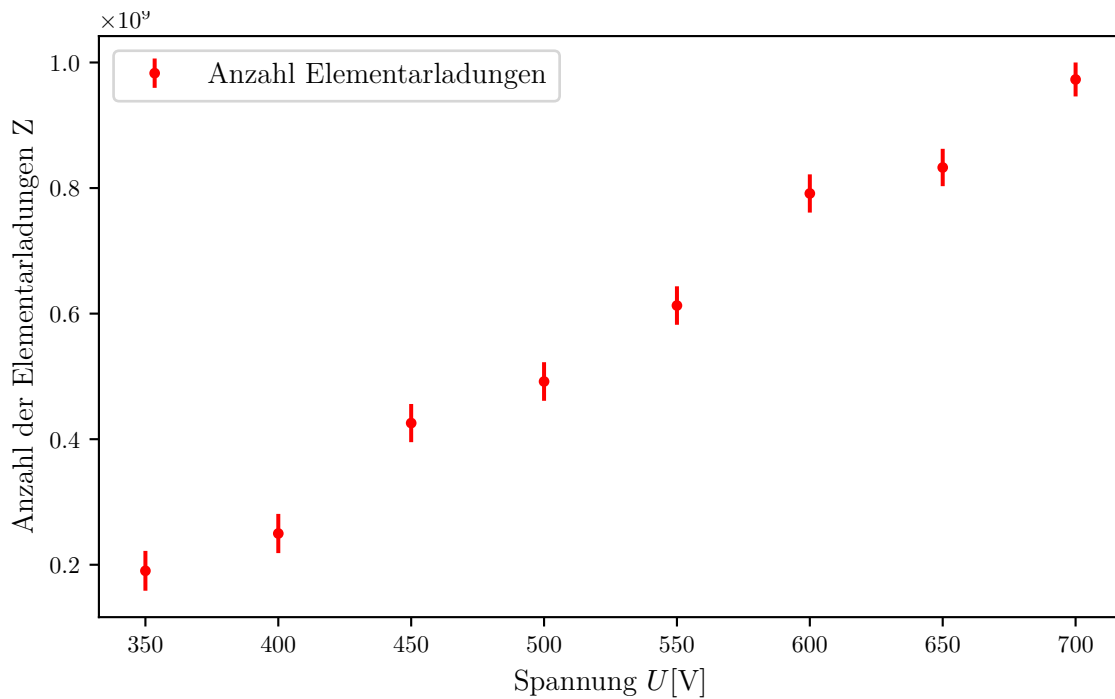


Abbildung 5: Anzahl der freigesetzten Ladungen mit zunehmender Zählrohrspannung.

Die Unsicherheiten wurden mithilfe des Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes ermittelt:

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \frac{dy}{dx} \cdot \Delta x = y + \Delta y \quad (4)$$

5 Diskussion

Die Plateauanstiegung beträgt in der gemessenen Charakteristik 1.316 ± 0.22 Imp/V.

Die mittels Zwei-Quellen Methode ermittelte Totzeit beträgt $957.971\mu\text{s}$.

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass die Anzahl der Ladungen linear mit der Spannung ansteigt.