

V606

# **Das Geiger-Müller-Zählrohr**

Evelyn Romanjuk  
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo  
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 15.05.18

Abgabe: 22.05.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>7</b>

## 1 Zielsetzung

Der folgende Versuch beschäftigt sich mit der Funktionsweise und den Eigenschaften eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Genauer werden die Charakteristik des Zählrohrs, die Nachentladungen und die freigesetzte Ladungsmenge untersucht, sowie die Totzeit gemessen.

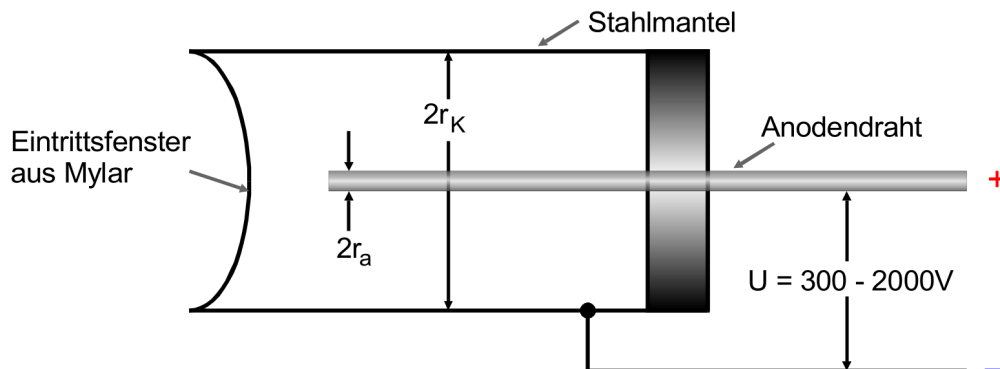
## 2 Theorie

Ein Geiger-Müller-Zählrohr dient zur Messung der Intensität ionisierender Strahlung. Dies geschieht durch Absorption eines  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchens, bzw. eines  $\gamma$ - oder Röntgenquants, welche einen elektrischen Impuls auslösen können, der gemessen werden kann.

Zum Aufbau des Zählrohrs gehört ein mit einem Gasgemisch gefüllter Kathodenzyylinder mit dem Radius  $r_k$ , in dem sich ein Draht mit dem Radius  $r_a$  befindet. Wird eine Spannung  $U$  angelegt, so dient der Draht als Anode und es entsteht ein radialsymmetrisches elektrisches Feld, dessen Feldstärke von  $U$ , den Radien, sowie dem Abstand  $r$  von der Zählrohrachse abhängt:

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

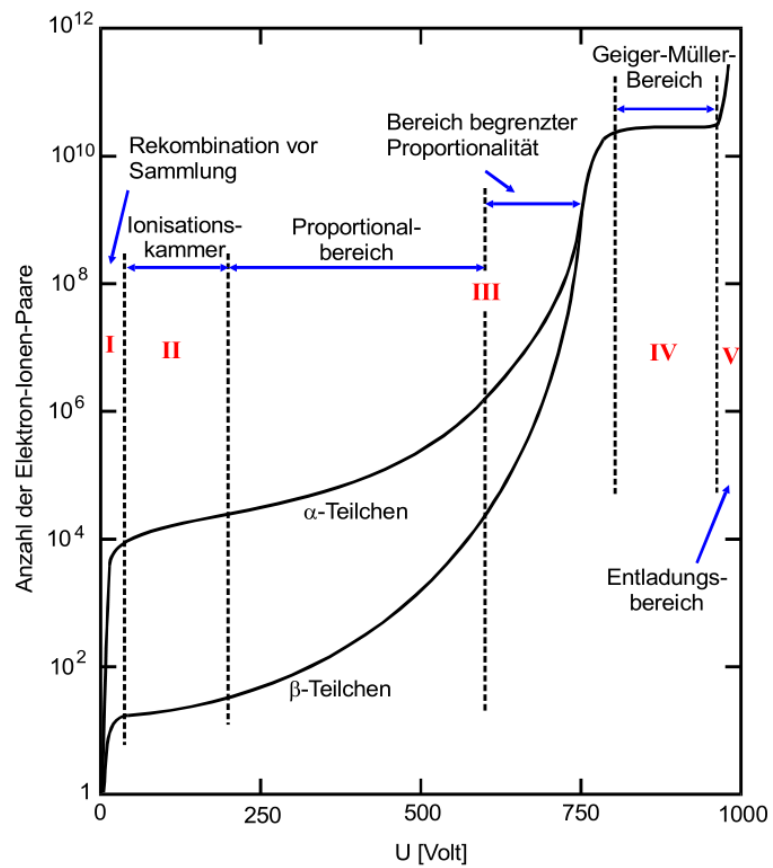
Die Beschleunigung eines geladenen Teilchens in diesem E-Feld ist umso größer, je dünner der Anodendraht ist.



**Abbildung 1:** Aufbau eines Endfenster-Zählrohrs. [1, S. 1]

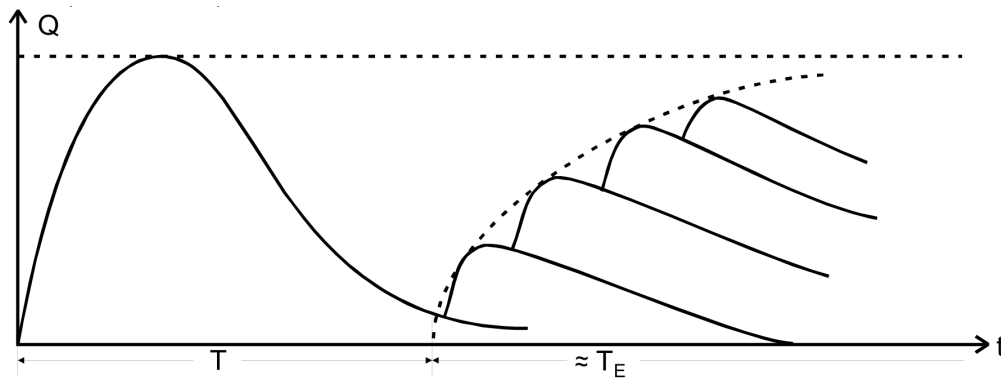
Wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohr gelangt, so kommt es zu Ionisationsakten mit dem Gas, wodurch das geladene Teilchen seine kinetische Energie verliert. Durch die Ionisation entstehen Elektronen und positive Ionen, wobei deren Anzahl proportional zu der Energie ist, die das geladene Teilchen besitzt. Die Elektronen bewegen sich durch das elektrische Feld zur Anode hin, wobei die angelegte Spannung berücksichtigt werden muss:

- Bei geringen Spannungen erreichen nicht alle erzeugten Elektronen den Draht, da sich ein Teil von ihnen wieder rekombiniert und damit nicht zu den zu messenden Impulsen beiträgt.
- Wird die Spannung erhöht, so sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Elektronen rekombinieren. Mit höheren Spannungen kommen also alle Elektronen an der Anode an. Da die Anzahl der entstehenden Elektronen proportional zur Energie und der Intensität der Strahlung ist, ist auch der Ionisationsstrom proportional zu diesen Größen. In diesem Fall wird das Zählrohr Ionisationskammer genannt, die aufgrund der geringen Ströme nur bei hoher Strahlungsintensität verwendet werden kann.
- Bei noch höheren Spannungen kommt es zur sogenannten Townsend-Lawine. Nehmen die Elektronen durch die Stöße mit den Gas-Atomen Energie auf, so sind sie in der Lage ebenfalls ionisieren zu können. Damit nimmt die Anzahl der Elektronen kaskadenförmig zu. Die auf das Zählrohr abgegebene Ladung  $Q$  ist groß genug um gemessen werden zu können. Durch ihre Proportionalität zur Energie, die von den geladenen Teilchen stammt, kann man in diesem Spannungsbereich auch die Energie messen. In diesem Fall wird das Messinstrument Proportionalitätszählrohr genannt.
- Bei Spannungen über dem Proportionalitätsbereich beginnt der Auslösebereich, welcher auch der Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs ist. Hier kommt es bei der Elektronenkaskade zur Entstehung von UV-Photonen, die sich auch senkrecht zum E-Feld bewegen können und imstande sind im gesamten Zählrohr weitere Elektronenlawinen auszulösen. Die Ladung, die sich am Anodendraht ansammelt ist nicht mehr von der Primärionisation abhängig sondern vom Volumen des Rohrs und der Spannung  $U$  und kann gut gemessen werden.



**Abbildung 2:** Anzahl der Elektronen-Ionenpaare in Abhängigkeit von der Spannung.[1, S. 2]

Zu den wichtigen Größen des Geiger-Müller-Zählrohrs gehören die Tot- und Erholungszeit, sowie die Nachentladungen. Wesentlich sind hier die positiven Ionen, die mit den Elektronen zusammen entstehen. Da die Ionen schwerer sind als die Elektronen, bewegen sie sich länger im Gasraum und bilden eine temporäre, radialsymmetrische, positive Raumladung, die Ionenschlauch genannt wird. Diese schwächt das elektrische Feld für die Zeit  $T$  in der Umgebung des Drahtes ab, sodass es zu keinen Stoßionisationen mehr kommen kann. Daraus folgt, dass während der Zeit  $T$  keine elektrischen Impulse mehr gemessen werden können, weshalb  $T$  Totzeit genannt wird. Sobald sich die positive Raumladung zum Mantel des Zählrohrs bewegt, nimmt die Feldstärke zu und es können wieder eintreffende Teilchen registriert werden. Sobald die Ionenwolke neutralisiert wurde, besitzt das Feld seine ursprüngliche Stärke und auch die Zahl der Ladungsimpulse  $Q$  erreicht wieder ihren Ausgangswert. Die Zeit nach der Totzeit, während der die Impulse eine geringere Höhe haben, wird als Erholungszeit  $T_E$  bezeichnet.



**Abbildung 3:** Tot- und Erholungszeit im Ladungs-Zeit-Diagramm.[1, S. 4]

Wenn die Ionen am Mantel neutralisiert werden, so können sie durch Übertragung ihrer Energie Elektronen aus dem Material lösen. Diese Sekundärelektronen können wiederum zusätzliche Impulse auslösen, die Nachentladungen heißen. Weil ihre Laufzeit  $T_L$  größer ist als die Totzeit  $T$  sollen Nachentladungen vermieden werden, da sie nicht vom Durchgang von ionisierenden Teilchen zu unterscheiden sind und dadurch die Zahl der eigentlichen Impulse verfälscht wird. Aus diesem Grunde wird ein Alkoholdampf in das Zählrohr gegeben, damit die positiven Ionen mit ihrer Energie keine Elektronen aus dem Metallmantel herausschlagen können, sondern stattdessen zu Schwingungen angeregt werden. Damit werden vom Zählrohr nur noch Impulse durch einfallende Teilchen aufgenommen.

Wird die registrierte Teilchenzahl  $N$  gegen die angelegte Spannung  $U$  aufgetragen, wobei die Strahlungsintensität konstant gehalten wird, so ergibt sich eine Kurve, die Charakteristik genannt wird.

Ab einer Spannung  $U_E$  beginnt der lineare Teil des Kurvenverlaufs, der Plateau genannt wird und gleichzeitig der Arbeitsbereich des Zählrohrs ist. Das Plateau hat im Idealfall die Steigung Null, in der Realität ist jedoch durch eine geringe Zunahme von  $N$  eine leichte Steigung zu beobachten. Grund dafür sind Nachentladungen, die auch

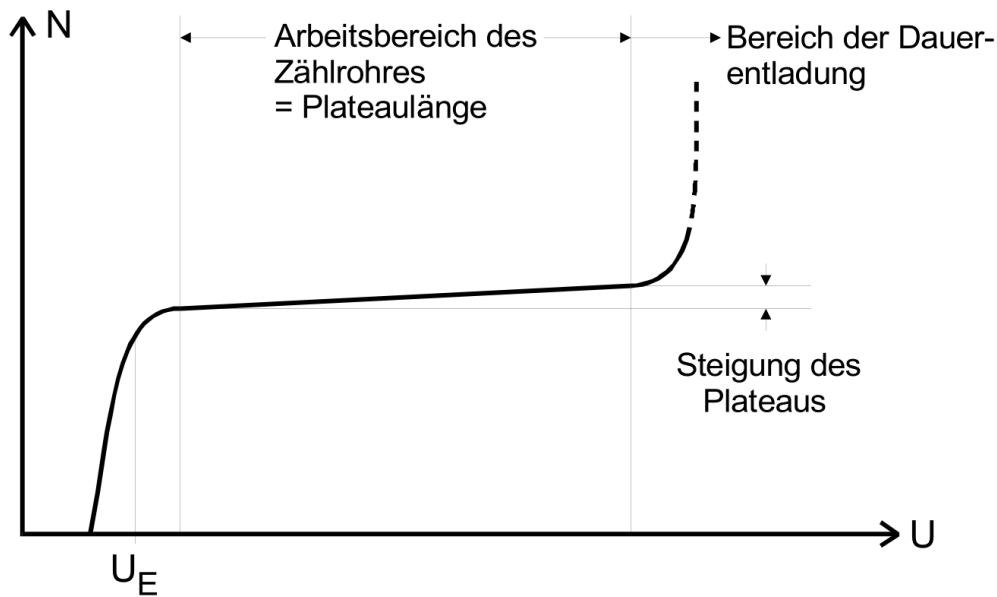


Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik.[1, S. 5]

trotz des Alkoholdampfs auftreten. Eine geringe Steigung und ein längerer Verlauf des Plateaus sprechen für ein qualitatives Zählrohr. Zum Ende hin nimmt die Anzahl der Nachentladungen schlagartig zu, dieser Bereich ist der Bereich der Dauerentladungen.

Als Ansprechvermögen wird die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass ein einfallendes Teilchen im Geiger-Müller-Zählrohr nachgewiesen wird. Für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen beträgt diese Wahrscheinlichkeit fast 100%, bei Photonen allerdings liegt das Ansprechvermögen bei etwa 1%. Um zu erreichen, dass die Teilchen in das Zählrohrvolumen gelangen können, wird eine Endfensterröhre eingesetzt. Bei dieser besteht die Stirnseite aus einem Material mit Atomen kleiner Ordnungszahl, durch die die geladenen Teilchen leicht hindurchtreten können.

### 3 Aufbau und Durchführung

Der generelle Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs wurde bereits im vorherigen Kapitel erläutert. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, fließt die Ladung  $Q$ , die sich am Anodendraht sammelt, über den Widerstand  $R$  und kann dann über einen Kondensator  $C$  und einen Verstärker als Spannungsimpuls gemessen werden. Dieser kann auch über einen Oszillographen dargestellt werden.

In diesem Versuch soll zunächst die Charakteristik des Zählrohrs aufgenommen werden. Dazu wird ein  $\beta$ -Strahler vor dem Zählrohr platziert. In 10 V-Schritten werden für Spannungen zwischen 300 und 700 V für jeweils 60 s die Zählraten gemessen und gegeneinander aufgetragen.

Desweiteren können mithilfe des Oszilloskops die Nachentladungen, die für den Anstieg des Plateaus sorgen, dargestellt werden. Da es aus technischen Gründen nicht möglich

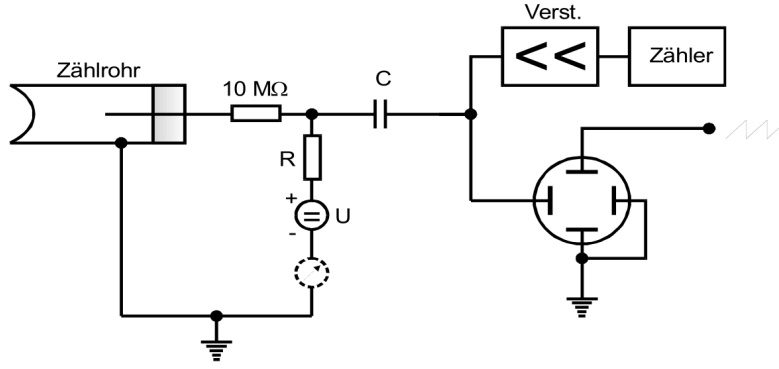


Abbildung 5: Skizze der Messapparatur.[1, S. 7]

ist, die Bilder auf dem Oszilloskop genauer zu analysieren, soll der Verlauf der zu beobachtenden Kurve nur qualitativ erklärt werden.

Zudem soll die Totzeit auf zwei verschiedene Weisen gemessen werden. Die erste Messung erfolgt über das Oszilloskop. Dazu wird die Kurve so verschoben, dass mithilfe des Gitters und den Einstellungen am Oszilloskop die Totzeit abgelesen und die Erholungszeit grob abgeschätzt werden kann. Für die andere Methode wird eine zweite Strahlungsquelle eingesetzt, es handelt sich also um die sogenannte Zwei-Quellen-Methode. Die Grundlage hierfür ist wahre Impulsrate  $N_w$  der eindringenden und absorbierten Teilchen pro Zeiteinheit. Sie ist gegeben durch die registrierte Impulsrate  $N_r$ .  $TN_r$  ist hierbei der Bruchteil der Messzeit, für die das Zählrohr unempfindlich ist:

$$N_w = \frac{\text{Impulsrate}}{\text{Messzeit}} = \frac{N_r \cdot t}{(1 - TN_r) \cdot t} = \frac{N_r}{1 - TN_r} \quad (2)$$

Im Experiment wird zunächst die Zählrate  $N_1$  des ersten Präparats gemessen. Im Anschluss wird ein zweites Präparat hinzugefügt um die Zählrate  $N_{1+2}$  beider Präparate zusammen zu messen, wobei darauf geachtet wird, dass das erste Präparat nicht bewegt wird. Zuletzt wird das erste Präparat wieder aus der Halterung genommen und nur die Zählrate  $N_2$  des zweiten Präparates gemessen. Aus 2 ergeben sich dann die folgenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} N_{w,1} &= \frac{N_1}{1 - TN_1}, \\ N_{w,2} &= \frac{N_2}{1 - TN_2}, \\ N_{w,1+2} &= \frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Mit  $N_{w,1+2} = N_{w,1} + N_{w,2}$  folgt:

$$\frac{N_{w,1+2}}{1 - TN_{w,1+2}} = \frac{N_1}{1 - TN_1} + \frac{N_2}{1 - TN_2}. \quad (4)$$



Da  $N_1$ ,  $N_2$  und  $N_{1+2}$  messbare Größen sind, kann aus ihnen die Totzeit berechnet werden. Dazu kann Gleichung 4 näherungsweise zu

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (5)$$

umgestellt werden.

Im letzten Teil des Versuchs wie die pro Teilchen am Zählrohr freigesetzte Ladungsmenge untersucht. Ist die Impulszahl pro Zeiteinheit bekannt, so kann die Ladungsmenge mithilfe des mittleren Zählrohrstroms  $\bar{I}$ :

$$\bar{I} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{U(t)}{R} dt \quad (6)$$

berechnet werden. Der Zählrohrstrom ist die transportierte Ladungsmenge  $\Delta Q$  pro Zeitintervall  $\Delta t$ , während der  $Z$  Teilchen registriert werden:

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

Dabei soll die Ladung  $\Delta Q$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U$  gemessen werden.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 703: Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf> (besucht am 18.05.2018).