

# **V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr**

Jan Herdieckerhoff  
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff  
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 28.05.2019, Abgabe: 04.06.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Aufbau und Wirkungsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs . . . . .	3
2.2 Totzeit, Nachentladung . . . . .	4
2.3 Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	5
2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs . . . . .	5
<b>3 Fehlerrechnung</b>	<b>6</b>
<b>4 Durchführung</b>	<b>6</b>
4.1 Untersuchungen am Zählrohr . . . . .	6
4.2 Messung der Charakteristik . . . . .	7
4.3 Messung der Totzeit . . . . .	7
4.3.1 Messung mit dem Oszillographen . . . . .	7
4.3.2 Messung mit der Zwei-Quellen-Methode . . . . .	7
<b>5 Auswertung</b>	<b>8</b>
<b>6 Diskussion</b>	<b>8</b>
<b>Literatur</b>	<b>9</b>

# 1 Ziel

Das Ziel dieses Versuchs ist es die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs kennenzulernen. Es soll die Zählrohr-Charakteristik aufgenommen werden. Außerdem werden die pro einfallendem Teilchen freigesetzte Ladung sowie die Totzeit des Zählrohrs bestimmt. Die Totzeit soll auf zwei Arten bestimmt werden.

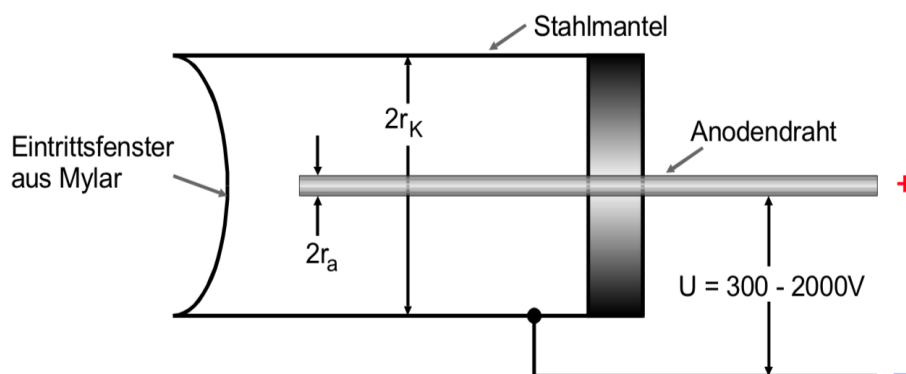
## 2 Theorie

### 2.1 Aufbau und Wirkungsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs

Das Zählrohr besteht wie in Abb. 1 zu erkennen aus einem Kathodenzyylinder mit Radius  $r_k$  und einem Anodendraht mit Radius  $r_a$ . Im Inneren befindet sich ein Gasgemisch. Indem an das Äußere des Rohrs und den Draht eine äußere Spannung angelegt wird, entsteht ein radiales E-Feld. Die Feldstärke beträgt

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

Die Beschleunigung des Teilchens kann somit beliebig groß werden, wenn der Radius des Drahtes beliebig klein gewählt wird.



**Abbildung 1:** Zu sehen ist der Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Der äußere Zylinder ist die Kathode und der Draht die Anode. Das Eintrittsfenster besteht aus einer durch den Druck nach innen gewölbten Mylar-Folie.  
[1]

Durch die Energie des eindringenden Teilchens werden Atome ionisiert und Elektronen werden losgelöst. Je nach angelegter Spannung können dann verschiedene Phänomene auftreten. Ein Gerät, das nur so viel Spannung benutzt, dass der Ionisationsstrom proportional zur Energie und Intensität der einfallenden Strahlung ist, ist eine Vorstufe zum Zählrohr und wird Ionisationskammer genannt.

Wenn die Energie der Elektronen groß genug ist, um ihrerseits Atome zu ionisieren, wird dieser Vorgang Stoßionisierung genannt. Wenn lawinenartig die Zahl der freien Elektronen

zunimmt, wird dies eine Townsend-Lawine genannt. Die Ladung ist dann so groß, dass sie als Ladungsimpuls gemessen werden kann. Eine Proportionalität zwischen der Ladung  $Q$  und der Primärteilchenenergie definiert das Zahlrohr dann als Proportionalitätszählrohr. Sobald der Proportionalitätsbereich überschritten ist, wird der Auslösebereich erreicht, der eigentliche Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs. Die dabei entstehenden UV-Photonen können sich auch senkrecht zu den Feldlinien bewegen und so auch an anderen Stellen noch zusätzliche Elektronen loslösen. So entstehen im gesamten Zählrohr weitere Lawinen.

## 2.2 Totzeit, Nachentladung

Während die Elektronen schnell zum Draht wandern, bleiben die positiven Ionen aufgrund der größeren Masse länger im Gasraum. Sie bauen vorübergehend einen sogenannten "Ionenschlauch" auf. Für eine bestimmte Zeit sind dann keine Stoßionisationen mehr möglich, da die Feldstärke dadurch verringert wird. Diese Zeit wird Totzeit genannt, weil währenddessen kein Teilchen registriert werden kann.

Die Totzeit kann mithilfe der Zählraten zweier Präparate bestimmt werden

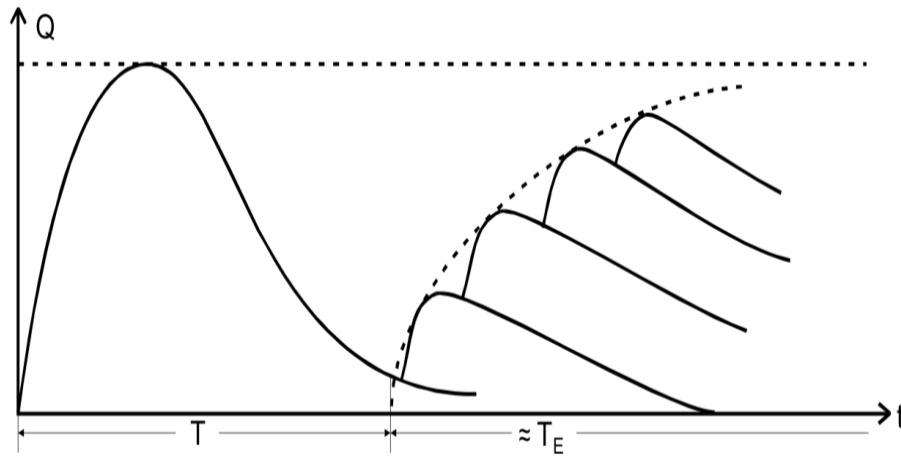
$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2 N_1 N_2}. \quad (1)$$

Dabei ist  $N_1$  die Zählrate des ersten,  $N_2$  die des zweiten Präparats und  $N_{1+2}$  ist die Zählrate mit beiden Präparaten.

Den Zeitraum, der sich an die Totzeit anschließt, bis die Registrierung von Teilchen wieder möglich ist, wird Erholungszeit genannt.

Auf den Zählrohrmantel auftreffende Ionen können dort Elektronen aus der Oberfläche befreien. Diese "Sekundärelektronen" können die Zählrohrentladung erneut zünden, sodass durch den Durchgang nur eines Teilchens mehrere zeitlich versetzte Ausgangsimpulse entstehen können. Diese Impulse werden Nachentladungen genannt. Um diese Impulse zu verhindern, sind Gase im Inneren des Rohres vorhanden. Die Edelgasionen stoßen dann nämlich mit den Atomen den Gasmolekülen zusammen und ionisieren diese. Die haben dann aber weniger Energie und können somit nicht zu Nachentladungen führen.

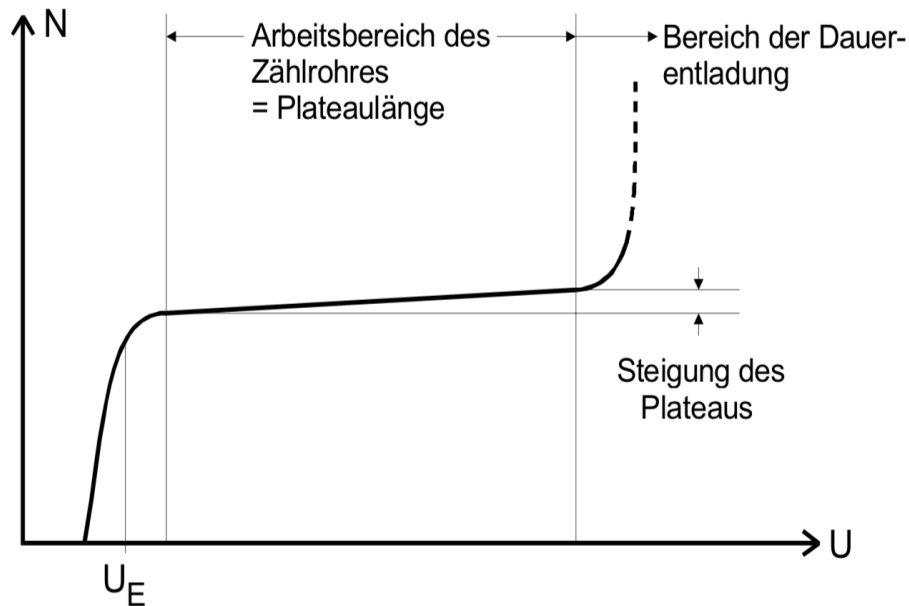
Die Totzeit, Erholungszeit und die Nachentladungen sind in Abb. 2 zu sehen.



**Abbildung 2:** Es ist die Ladung gegen die Zeit aufgetragen. Dabei ist die Totzeit gekennzeichnet. Anschließend folgen die Nachentladungen. [1]

### 2.3 Charakteristik des Zählrohrs

Wenn die Teilchenzahl  $N$  bei konstanter Strahlungsintensität gegen die angelegte Spannung  $U$  aufgetragen wird, entsteht eine Charakteristik wie in Abb. 3. Bei der Spannung  $U_E$  setzt der Auslösebereich ein. Der darauf folgende lineare Teil wird Plateau genannt. Die Steigung des Plateaus sollte am besten null sein. Am Ende des Plateaus nimmt die Anzahl der Nachentladungen extrem zu. Sie geht über in den Bereich der selbstständigen Gasentladung, der sehr schädlich ist für ein Strahlrohr.



**Abbildung 3:** Es ist die Zählrohrcharakteristik zu sehen. Die Zählrate  $N$  wird dabei gegen die angelegte Spannung  $U$  aufgetragen. Durch die vertikalen Linien werden der Arbeitsbereich des Zählrohrs und der Bereich der Dauerentladung gekennzeichnet. Es ist außerdem die Steigung des Plateaus eingezeichnet. [1]

Die Steigung des Plateaus kann mittels

$$s = \frac{N_2 - N_1}{N_A} \cdot \frac{100\%}{100\text{ V}} \quad (2)$$

bestimmt werden. Dabei ist  $N_A$  die Zählrate bei der Arbeitsspannung  $U_A$ . Die Zählraten  $N_1$  und  $N_2$  sind die der Spannungen  $U_A \mp 50\text{ V}$ .

## 2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Das Ansprechvermögen ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Teilchen im Zählrohr nachgewiesen wird. Für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen liegt diese bei fast 100 %. Wichtig ist, dass die Teilchen überhaupt in das Rohr gelangen. Es wird eine Mylar-Folie als Fenster verwendet. Diese Folie ist leicht nach innen gewölbt, durch den Unterdruck im Inneren des Rohres.

## 3 Fehlerrechnung

Der Mittelwert einer Stichprobe von  $N$  Werten wird durch

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

bestimmt.

Die Standardabweichung der Stichprobe wird berechnet mit

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

Die relative Abweichung zwischen zwei Werten kann durch

$$f = \frac{x_a - x_r}{x_r}$$

bestimmt werden.

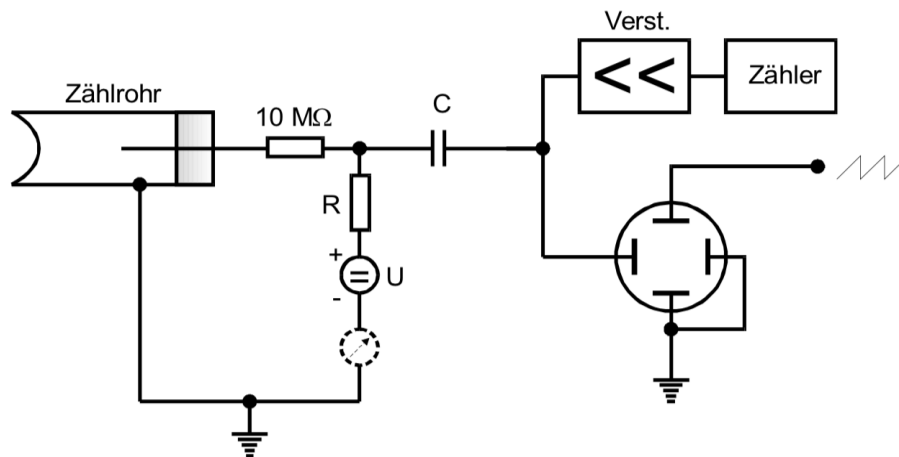
Die allgemeine Formel für eine lineare Regression ergibt sich mit der Steigung  $m$  und dem  $y$ -Achsenabschnitt  $n$  zu

$$y = m \cdot x + n. \quad (3)$$

## 4 Durchführung

### 4.1 Untersuchungen am Zählrohr

Die Anordnung sieht wie in Abb. 4 dargestellt aus. Durch die gesammelten Ladungen  $Q$  entsteht ein messbarer Spannungsimpuls. Dieser wird über den Kondensator ausgekoppelt und nach der Verstärkung im Zählgerät registriert.



**Abbildung 4:** Zu sehen ist der Aufbau der Apparatur. Das Zählrohr ist an einer Spannungsquelle angeschlossen. Der Strom kann durch ein Mikroamperemeter gemessen werden. Außerdem sind ein Verstärker und ein Zähler angeschlossen. [1]

### 4.2 Messung der Charakteristik

Eine  $\alpha$ -Quelle wird vor das Zählrohr gestellt und die Zählrate wird in Abhängigkeit von der Betriebsspannung  $U$  gemessen. Dabei wird zwischen Quelle und Zählrohr ein Stück

Papier gestellt, um die Strahlungsintensität zu schwächen.  
Die Spannung wird zunächst auf 320 V gestellt und in 20 V Schritten auf 680 V erhöht.  
Mithilfe eines Strommessgeräts wird dabei der mittlere Zählrohrstrom gemessen.

### **4.3 Messung der Totzeit**

#### **4.3.1 Messung mit dem Oszillographen**

Die Strahlintensität wird wieder erhöht, indem das Papier entfernt wird. Die Spannung wird auf 500 V gestellt, damit die Messung etwa in der Mitte des Plateaus stattfindet. Die Zeitablenkung des Oszillographen wird durch die Anstiegsflanke getriggert, sodass die Totzeit abgelesen werden kann. Diese entspricht dabei der Strecke auf der  $x$ -Achse, die mit dem Anfang der Kurve beginnt und bei dem gedachten Schnitt der ersten Nachentladungskurve mit der Achse endet (siehe Abb. 2).

#### **4.3.2 Messung mit der Zwei-Quellen-Methode**

Es wird die Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode gemessen. Dafür wird bei einer Spannung von 500 V die Anzahl der registrierten Teilchen pro 60 s des ersten Präparats gemessen. Anschließend wird ein zweites Präparat hinzugefügt. Die Zählrate wird wieder gemessen. Zum Schluss wird das erste Präparat entfernt und die Zählrate des zweiten Präparats wird gemessen.

## **5 Auswertung**

Abbildung 5: <++>

## **6 Diskussion**



## Literatur

- [1] TU Dortmund. 2019. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf>.
- [2] 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/>.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. „SciPy: Open source scientific tools for Python“. Version 0.16.0. In: (). URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. „Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties“. Version 2.4.6.1. In: (). URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] 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/>.