

Durchführung: 29.05.2018
Abgabe: 05.06.2018

PRAKTIKUMSPROTOKOLL V703

DAS GEIGER-MÜLLER-ZÄHLROHR

Carolin Harkort¹,
Jacqueline Schlingmann²

¹carolin.harkort@tu-dortmund.de

²jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

1 Einleitung

Durch das Anschließen des Geiger-Müller-Zählrohrs an einen elektronischen Impulszähler kann die Intensität ionisierender Strahlungen gemessen werden. Wird im Inneren des Zählrohrs ein Teilchen absorbiert, entsteht ein elektrischer Impuls anhand dessen die Intensität der Strahlung bestimmt wird.

In folgendem Versuch wird die Tot- und Erholungszeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs bestimmt.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Wirkungsweise

Der Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs ist in Abbildung 1 dargestellt. Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzyylinder mit einem axial verlaufenden Anodendraht. Im Inneren ist ein Gasgemisch enthalten, welches die Nachladungsimpulse verringern soll. Ein radialsymmetrisches Feld zwischen Kathode und Anode entsteht durch das Anlegen einer äußeren Spannung.

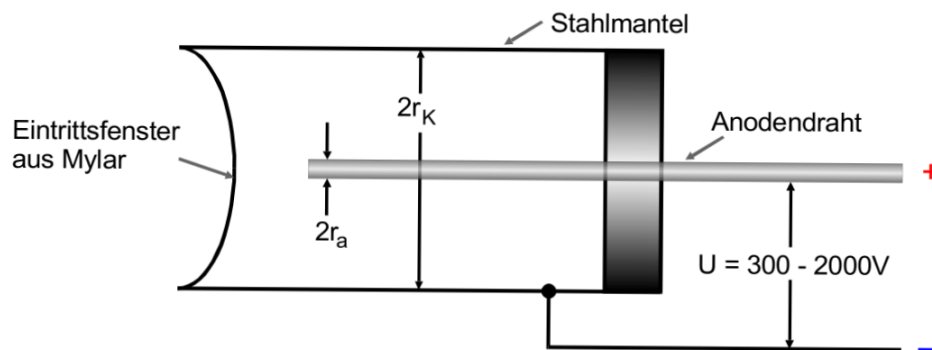


Abbildung 1: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs.[1]

Dringt ein Teilchen in das Zählrohrvolumen ein, sind die nach der Primärionisation ablaufenden Vorgänge stark abhängig von der außen angelegten Spannung. Wird eine geringe Spannung angelegt, geht ein großer Teil der Elektronen durch Rekombination verloren. Bei größeren Spannungen hingegen nimmt die Rekombinationswahrscheinlichkeit ab, weshalb nahe zu alle Elektronen den Anodendraht erreichen. Ionisationskammern werden bei diesen Spannungsbereichen verwendet. In diesem Bereich (Abb.2, Bereich II) ist der fließende Ionisationsstrom proportional zur Strahlungsenergie und Strahlungsintensität. Durch weitere Erhöhung der Spannung kommt es zum Vorgang der Stoßionisation. Hierbei können die freigesetzten Elektronen genügend Energie aufnehmen, um ihrerseits ionisieren

zu können. Bei hinreichend hoher Spannung kommt es zum Vorgang der Townsend-Lawine, bei dem die Anzahl der freigesetzten Elektronen stark zunimmt. In diesem Fall ist die pro Teilchen gesammelte Ladung Q so groß, dass der Ladunsimpuls als Maß für die Teilchenenergie angesehen werden kann. Wegen der Proportionalität zwischen Ladung und Teilchenenergie wird ein Proportionalitätsrohr als Detektor verwendet (Abb.2, Bereich III)

Der Auslösebereich ist der eigentliche Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs (Abb.2, Bereich IV). In diesem Bereich ist die angelegte Spannung so groß, dass die Ladung unabhängig von der Primärionisation ist. Die Entladungen breiten sich aufgrund von der hohen Anzahl entstandener UV-Photonen im gesamten Zählrohrvolumen aus. Dadurch ist die gesammelte Ladung nicht mehr von der Primärionisation abhängig, sondern vom Zählrohrvolumen und der angelegten Spannung. Aufgrund der nicht mehr vorhandenen Energieabhängigkeit können in diesem Bereich nur Intensitätsmessung und keine Energiemessungen durchgeführt werden.

Durch die vielen Nachentladungen kann es bei nur einem ionisierenden Teilchen schon zu Dauerentladung kommen. Dies ist der Bereich der selbstständigen Gasentladung (Abb.2, Bereich V), bei dem die hohen Stromdichten schnell zur Zerstörung des Zählrohrs führen können.

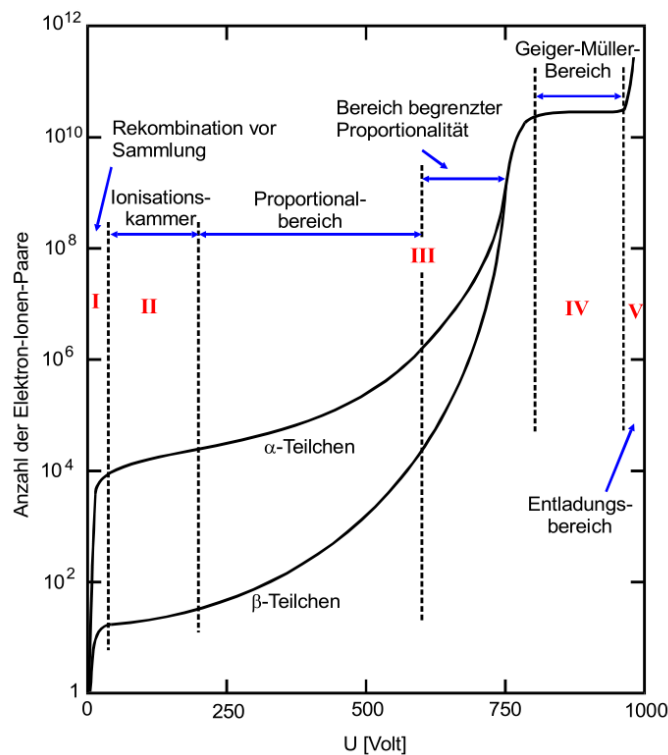


Abbildung 2: Bereiche abhängig von der Spannung.[1]

2.2 Einfluss der positiven Ionen

In Abbildung 3 ist der Einfluss der positiven Ionen innerhalb des Zählrohrs zu sehen. Die positiven Ionen bauen vorübergehend eine positive Radialladung zwischen Kathode und Anode auf. Dies führt dazu, dass nahe des Drahts die Feldstärke für einige Zeit verringert wird, weshalb es zu keiner Stoßionisation kommen kann. In der so genannten Totzeit T des Zählrohrs können eintreffende Teilchen nicht registriert werden. An die Totzeit schließt sich die Erholungszeit T_E an, bei der sich die positive Ladung verringert und eine Lawinenbildung stufenweise möglich wird. Während dieser Zeit haben die Ausgangsimpulse eine geringere Höhe. Erst im Anschluss an die Totzeit können die Ladungsimpulse wieder ihre ursprüngliche Höhe erreichen.

Ein weiterer Einfluss der positiven Ionen sind Nachentladungen. Diese sind zusätzlich auftretende Impulse, die durch die Freisetzung von „Sekundärelektronen“ entstehen. Sekundärelektronen entstehen, wenn Ionen aus der Metalloberfläche Elektronen freisetzen. Diese Nachentladungen täuschen allerdings den Durchgang von ionisierenden Teilchen vor. Durch die erwähnte Zugabe von Alkoholdämpfen im Zählrohr kann dieser Effekt verringert werden. Die Ionen stoßen dann hauptsächlich mit Alkoholmolekülen. Die freiwerdende Energie führt dann zur Schwingungsanregung der Alkoholmoleküle. Somit wird unter Zugabe der Alkoholdämpfe die freiwerdende Energie nicht für die Emission eines Elektrons verwendet, sondern in Bewegungsenergie umgewandelt.

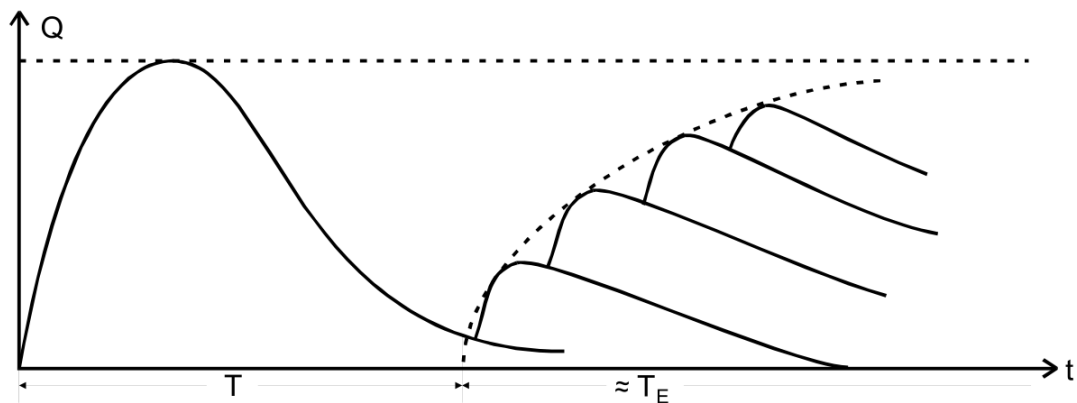


Abbildung 3: Tot- und Erholungszeit innerhalb eines Zählrohrs.[aneleitung]

2.3 Charakteristik des Zählrohrs

Für die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs wird die registrierte Teilchenzahl N gegen die angelegte Spannung U aufgetragen. Dies ist in Abbildung 4 zu sehen. Der Auslösebereich beginnt ungefähr bei der Spannung U_E , der dann durch den linearen Teil der Kurve, das so genannte Plateau, fortgesetzt wird. Anhand der Steigung und der Länge des Plateaus kann eine Aussage über die Qualität des Zählrohrs getroffen werden. Im optimalen Fall wäre die Plateausteigung null. Trotz der Zugabe von Alkoholdämpfen

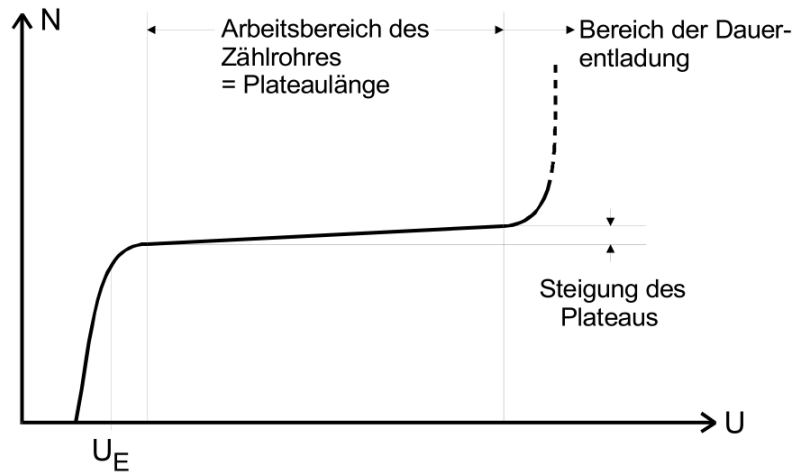


Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik bei konstanter Strahlungsintensität.[1]

ist dies durch Nachentladungen nicht möglich. Mit immer größer werdender Spannung nimmt auch die Anzahl der Nachentladungen sehr stark zu. An diesem Punkt geht es in den Bereich der Dauerentladung über.

2.4 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Das Ansprechvermögen ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein einfallendes Teilchen im Zählrohr nachgewiesen wird. Bei geladenen Teilchen, wie α - und β -Teilchen ist das Ansprechvermögen bei nahezu 100 %. Jedoch werden sie durch ihre hohen Wechselwirkungen mit der Materie im Zählrohrmantel vollständig absorbiert. Deshalb kommen Endfensterröhren zum Einsatz an deren Stirnseite Mylar-Folie angebracht ist, welche aus Atomen mit niedriger Ordnungszahl besteht. Hier können selbst α -Teilchen die Folie durchdringen und werden nicht absorbiert.

3 Durchführung

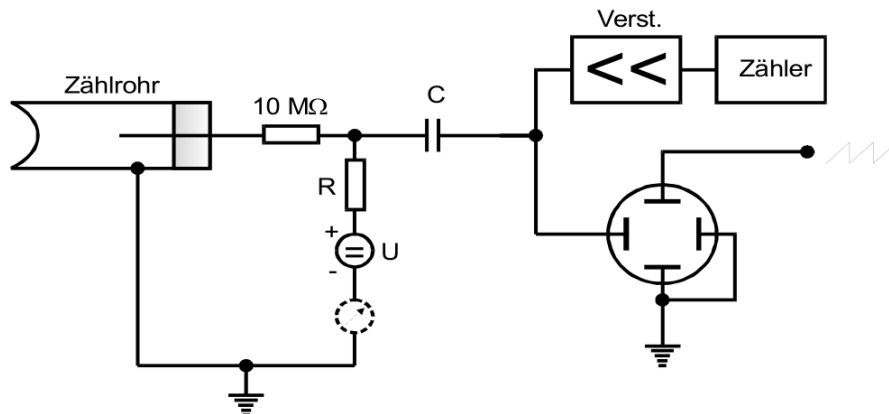


Abbildung 5: Versuchsaufbau.[1]

Der Versuch wird wie in Abbildung 5 aufgebaut. Dabei fließt die auf dem Zählrohr gesammelte Ladung Q über den Widerstand R ab. Es entsteht ein Spannungsimpuls, der über einen Kondensator C ausgekoppelt, im Verstärker vergrößert, im Zählgerät registriert und auf dem Oszillographen sichtbar gemacht wird.

Zuerst soll die Zählrate in Abhängigkeit von der Betriebsspannung bestimmt werden. Dafür wird β -Quelle vor das Fenster der Zählrohres gestellt. Wichtig zu beachten ist, dass die maximale Impulsrate nicht über 100/s steigt. Die Ionisierungsstrom und die Zählrate wird in Abhängigkeit von der Spannung notiert.

Nun wird mithilfe des Oszillographen die Totzeit abgelesen und daraus die Erholungszeit bestimmt.

Als letztes wird mit der Zwei-Quellen-Methode die Totzeit bestimmt. Dafür wird die Zählrate N_1 zuerst alleine gemessen, danach zusammen mit der Zählrate N_2 und zum Schluss die Zählrate N_2 alleine.

4 Auswertung

4.1 Zählrohr-Charakteristik

In Abbildung 6 sind die im Versuch gemessenen Werte aufgetragen. Die Werte für die Zählrate wurden aus Tabelle 1 entnommen und dafür durch die Messzeit von 60 s geteilt. Die Fehler ergeben sich durch $\sqrt{N}/60$.

Der Beginn und das Ende des Plateau-Bereiches wurde aus den Messwerten entnommen. Das Plateau liegt in dem Bereich von 340 V bis 650 V.

In Abbildung 7 ist der Plateau-Bereich aufgetragen und es wurde eine lineare Regression mit

$$\frac{N}{\Delta t} = a \cdot U + b$$

Tabelle 1: Gemessene Werte für die Spannung, Zählrate und den Strom

| U/V | N/ $\frac{1}{\text{min}}$ | $\bar{I} / \mu\text{A}$ |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 310 | 12443 | 0,2 |
| 310 | 13282 | 0,2 |
| 330 | 13400 | 0,2 |
| 340 | 13647 | 0,2 |
| 350 | 13371 | 0,2 |
| 360 | 13655 | 0,2 |
| 370 | 13613 | 0,2 |
| 380 | 13671 | 0,3 |
| 390 | 13910 | 0,3 |
| 400 | 13659 | 0,4 |
| 410 | 13686 | 0,4 |
| 420 | 13894 | 0,4 |
| 430 | 13783 | 0,4 |
| 440 | 14058 | 0,4 |
| 450 | 13954 | 0,5 |
| 460 | 13752 | 0,6 |
| 470 | 13802 | 0,6 |
| 480 | 13659 | 0,6 |
| 490 | 13907 | 0,6 |
| 500 | 13858 | 0,6 |
| 510 | 14033 | 0,7 |
| 520 | 13722 | 0,7 |
| 530 | 13912 | 0,8 |
| 540 | 13872 | 0,8 |
| 550 | 14125 | 0,8 |
| 560 | 14188 | 0,8 |
| 570 | 14223 | 0,8 |
| 580 | 14231 | 0,8 |
| 590 | 13926 | 0,9 |
| 600 | 14324 | 0,9 |
| 610 | 14042 | 1,0 |
| 620 | 14326 | 1,0 |
| 630 | 14142 | 1,0 |
| 640 | 14380 | 1,0 |
| 650 | 14367 | 1,1 |
| 660 | 14553 | 1,1 |
| 670 | 14578 | 1,2 |
| 680 | 14745 | 1,2 |
| 690 | 14741 | 1,2 |
| 700 | 14802 | 1,2 |

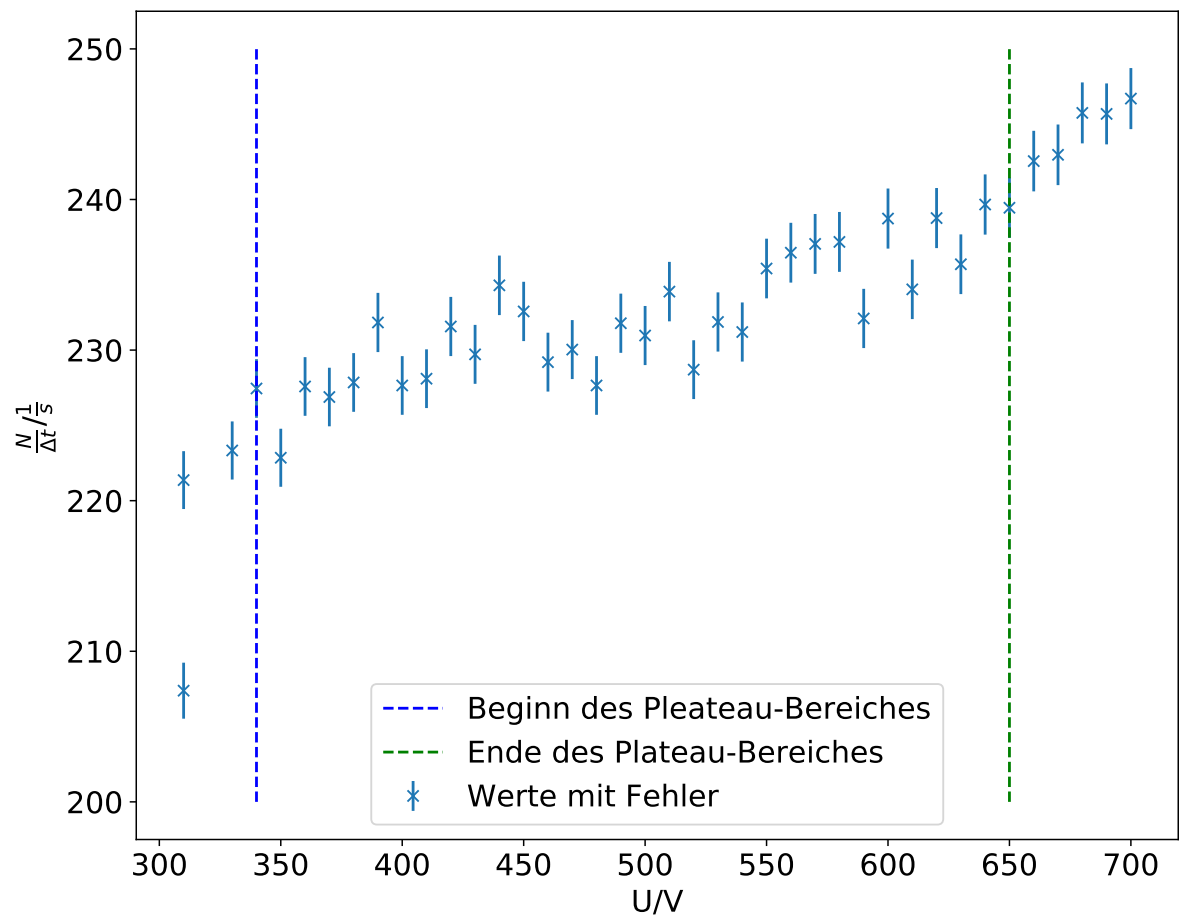


Abbildung 6: Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs

Dabei ist N die Zählrate pro 60 s. Die Parameter der Regression lauten:

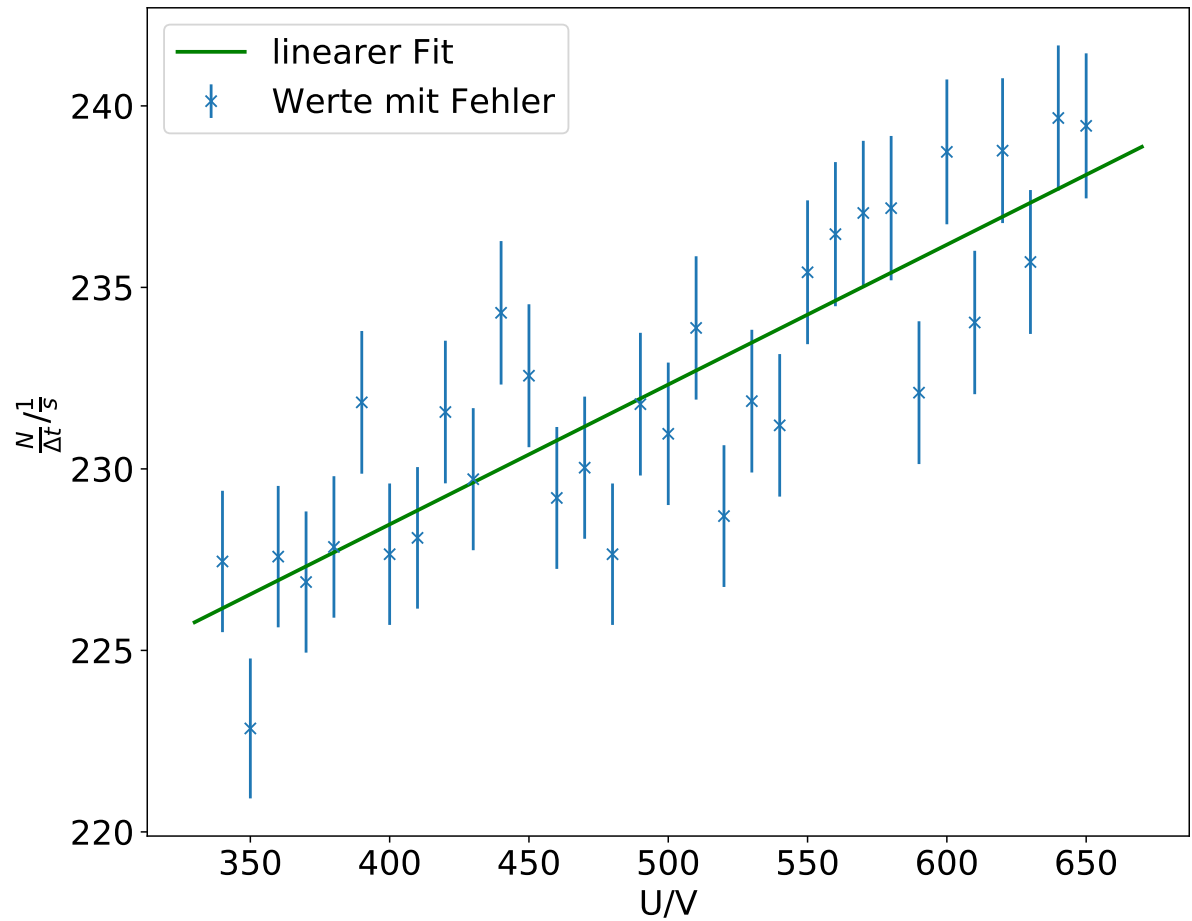


Abbildung 7: Plateau mit linearer Regression

$$a = (0,039 \pm 0,004) \frac{1}{V_s}$$

$$b = (213,1 \pm 2,2) \frac{1}{s}$$

In Prozent entspricht das einer Steigung von $(1,7 \pm 1,8) \%$.

4.2 Messung der Totzeit mit zwei unterschiedlichen Methoden

4.2.1 Bestimmung mit Hilfe des Oszillographen

Zunächst wird die Totzeitbestimmung über den Oszillographen durchgeführt. Die Werte sind in Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2: Totzeit und Erholungszeit

| U/V | Totzeit/ μs | Erholungszeit/ms |
|-----|------------------------|------------------|
| 500 | 200 | 0,86 |
| 520 | 210 | 1,28 |
| 540 | 230 | 1,08 |

Die Totzeit hat somit einen Wert von

$$T = (2,13 \pm 0,09) \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Die Erholungszeit wird ebenfalls mit den Werten aus Tabelle 2 bestimmt und hat einen Wert von

$$E_z = (1,073 \pm 0,121) \text{ ms}$$

Die Formel für die Standardabweichung lautet

$$\sigma_{T,E_z} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum (x_{T,E_z} - \bar{x}_{T,E_z})^2}$$

Der Mittelwert berechnet sich mit

$$\bar{x}_{T,E_z} = \frac{1}{3} \cdot \sum x_{T,E_z}$$

4.2.2 Bestimmung mit der zwei-Quellen-Methode

Für diese Methode wurden zunächst die Zählraten N_1 , N_2 und N_{1+2} aufgenommen. Die Werte sind in Tabelle 3 aufgelistet. Die Bedingung

Tabelle 3: Totzeit und Erholungszeit

| | $N/\frac{1}{\text{min}}$ | $N/\frac{1}{\text{s}}$ | ΔN |
|-----------|--------------------------|------------------------|------------|
| N_1 | 13703 | 228,38 | 1,95 |
| N_2 | 17646 | 294,10 | 2,21 |
| N_{1+2} | 30720 | 512,00 | 2,92 |

$$N_{1+2} < N_1 + N_2$$

ist somit erfüllt. Die Totzeit T kann näherungsweise geschrieben werden als

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

$$T \approx (7,8 \pm 3,4) \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Der Fehler berechnet sich mit

$$\sigma T = \sqrt{\left(\frac{-N_1^2 + N_2N_{1+2}}{2N_1^2N_2^2} \cdot \sigma_{N_2}\right)^2 + \left(\frac{-N_2^2 + N_1N_{1+2}}{2N_1^2N_2^2} \cdot \sigma_{N_1}\right)^2 + \left(-\frac{1}{2N_1N_2} \cdot \sigma_{N_{1+2}}\right)^2}$$

4.3 Bestimmung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge

Um die Ladungsmenge bestimmen zu können werden die Werte für den mittleren Zählerstrom benötigt. Diese werden aus Tabelle 1 entnommen. Die Ladungsmenge bestimmt sich mit Formel:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot Z$$

$$\Delta Q = \frac{\bar{I} \cdot \Delta t}{Z}$$

Z ist die Teilchenzahl. ΔQ ist die Transportierte Ladungsmenge pro $\Delta t = 60 \text{ s}$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Der Fehler berechnet sich mit Formel:

$$\sigma Q = I \cdot \left(\frac{\Delta t}{Z}\right)^2 \cdot \frac{\sqrt{Z}}{\Delta t}$$

Tabelle 4: Freigesetzte Ladungsmenge

| U/V | $N/\frac{1}{\text{min}}$ | $\bar{I}/\mu\text{A}$ | $\frac{\Delta Q}{e_0} \cdot 10^9$ |
|-----|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 310 | 12443 | 0,2 | $(6,019 \pm 0,054)$ |
| 310 | 13282 | 0,2 | $(5,639 \pm 0,049)$ |
| 330 | 13400 | 0,2 | $(5,589 \pm 0,048)$ |
| 340 | 13647 | 0,2 | $(5,488 \pm 0,047)$ |
| 350 | 13371 | 0,2 | $(5,602 \pm 0,048)$ |
| 360 | 13655 | 0,2 | $(5,485 \pm 0,047)$ |
| 370 | 13613 | 0,2 | $(5,502 \pm 0,047)$ |
| 380 | 13671 | 0,3 | $(8,218 \pm 0,070)$ |
| 390 | 13910 | 0,3 | $(8,077 \pm 0,068)$ |
| 400 | 13659 | 0,4 | $(10,967 \pm 0,094)$ |
| 410 | 13686 | 0,4 | $(10,945 \pm 0,094)$ |
| 420 | 13894 | 0,4 | $(10,781 \pm 0,091)$ |
| 430 | 13783 | 0,4 | $(10,868 \pm 0,093)$ |
| 440 | 14058 | 0,4 | $(10,656 \pm 0,090)$ |
| 450 | 13954 | 0,5 | $(13,419 \pm 0,114)$ |
| 460 | 13752 | 0,6 | $(16,339 \pm 0,140)$ |
| 470 | 13802 | 0,6 | $(16,280 \pm 0,140)$ |
| 480 | 13659 | 0,6 | $(16,450 \pm 0,141)$ |
| 490 | 13907 | 0,6 | $(16,157 \pm 0,137)$ |
| 500 | 13858 | 0,6 | $(16,214 \pm 0,138)$ |
| 510 | 14033 | 0,7 | $(18,680 \pm 0,158)$ |
| 520 | 13722 | 0,7 | $(19,104 \pm 0,163)$ |
| 530 | 13912 | 0,8 | $(21,535 \pm 0,183)$ |
| 540 | 13872 | 0,8 | $(21,597 \pm 0,183)$ |
| 550 | 14125 | 0,8 | $(21,210 \pm 0,178)$ |
| 560 | 14188 | 0,8 | $(21,116 \pm 0,177)$ |
| 570 | 14223 | 0,8 | $(21,064 \pm 0,177)$ |
| 580 | 14231 | 0,8 | $(21,052 \pm 0,176)$ |
| 590 | 13926 | 0,9 | $(24,202 \pm 0,205)$ |
| 600 | 14324 | 0,9 | $(23,530 \pm 0,197)$ |
| 610 | 14042 | 1,0 | $(26,669 \pm 0,225)$ |
| 620 | 14326 | 1,0 | $(26,141 \pm 0,218)$ |
| 630 | 14142 | 1,0 | $(26,481 \pm 0,223)$ |
| 640 | 14380 | 1,0 | $(26,042 \pm 0,217)$ |
| 650 | 14367 | 1,1 | $(28,673 \pm 0,239)$ |
| 660 | 14553 | 1,1 | $(28,306 \pm 0,235)$ |
| 670 | 14578 | 1,2 | $(30,826 \pm 0,255)$ |
| 680 | 14745 | 1,2 | $(30,477 \pm 0,251)$ |
| 690 | 14741 | 1,2 | $(30,486 \pm 0,251)$ |
| 700 | 14802 | 1,2 | $(30,360 \pm 0,250)$ |

5 Diskussion

Im ersten Versuchsteil wurde die Charakteristik des Zählrohres bestimmt. Die Parameter für die durchgeführte Regression weisen nur geringe Fehler auf. Die Merkmale eines Geiger-Müller-Zählrohrs sind im großen und ganzen zu erkennen. Lediglich der zu erwartende exponentielle Anstieg nach Ende des Plateau-Bereiches ist nicht genau heraus zu sehen.

Die Bestimmung der Totzeit wurde mit Zwei Methoden durchgeführt. Die beiden Ergebnisse für die Totzeit lauten:

$$T = (2,13 \pm 0,08) \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$T = (7,8 \pm 3,4) \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Der große Unterschied zwischen den beiden Werten ist mit der Messmethode mit Hilfe des Oszillographen zu erklären. Diese ist sehr ungenau, da der Wert sehr stark schwankte.

Die Ergebnisse für die freigesetzte Ladung sind, wie in Abbildung 2 zu sehen, in der zu erwartenden Größenordnung, sodass davon ausgegangen werden kann, dass keine größeren Fehler gemacht wurden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 408*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf> (besucht am 04.06.2018).