

V703

Das Geiger-Müllerzählrohr

Yanick Sebastian Kind
yanick.kind@udo.edu

Till Willershausen
till.willershausen@udo.edu

Abgabe: 26.01.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Aufbau und Funktionsweise	3
1.2	Totzeit und Nachentladung	5
2	Durchführung	6
2.1	Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik	6
2.2	Totzeitbestimmung	6
2.3	Bestimmung des Zählrohrstroms	6
3	Auswertung	7
3.1	Geiger-Müller Charakteristik	7
3.2	Bestimmung der Totzeit	8
3.3	Bestimmung der freigesetzten Ladung	9
4	Diskussion	10
	Literatur	11

1 Theorie

Alle Bilder und Informationen wurden aus dem Dokument [2] entnommen. Das Geiger-Müller-Zählrohr wird in der Kernphysik verwendet, um die Intensität ionisierender Strahlung zu messen. Dabei werden elektrische Impulse erzeugt, wenn α - , β - oder γ -Teilchen absorbiert werden. In dem Versuch werden einige Kenndaten eines Zählrohrs experimentell ermittelt.

1.1 Aufbau und Funktionsweise

Der schematische Aufbau eines Zählrohrs ist in Abbildung 1 zu erkennen. Es besteht aus

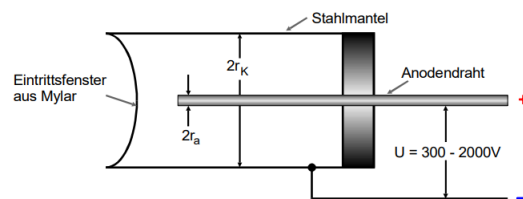


Abbildung 1: Querschnitt eines Endfenster-Zählrohrs

einem Kathodenzyylinder und einem darin axial verlaufenden Anodendraht. Im inneren befindet sich ein Gasgemisch. Bei dem Anlegen einer äußeren Spannung entsteht ein radialsymmetrisches Feld. Ein geladenes Teilchen, welches in das Zählrohrvolumen eindringt, wird sich solange durch den Gasraum bewegen, bis seine Energie durch Ionisationsakte aufgebraucht ist. Es werden freie Elektronen und Ionen erzeugt. Die Anzahl der entstehenden Elektronen ist dabei Proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. In Abbildung 2 ist erkennbar, dass die Anzahl der erzeugten Elektronen von der Zählrohrspannung U abhängt. Dabei werden fünf Bereiche unterschieden. Im ersten Bereich ist die angelegte Spannung nicht ausreichend, damit alle Elektronen den Draht erreichen, da viele negative Ladungsträger durch Rekombination verloren gehen. Bei ausreichender Spannung ist der Ionisationsstrom proportional zur Energie der einfallenden Strahlung. Dieser Bereich wird als Ionisationskammer bezeichnet. Jedoch kann diese Kammer praktisch nur für hohe Strahlintensitäten genutzt werden, da die Ströme sehr gering sind. Der dritte Bereich wird als Proportionalitätsbereich bezeichnet. In diesem Bereich haben die Elektronen genügend Energie um durch Stoßionisation ihrerseits ionisieren zu können. Die erzeugten freien Elektronen können ebenfalls ionisieren. Die Anzahl an freien Elektronen steigt damit lawinenartig an. Dieser Prozess wird als Townsend-Lawine bezeichnet. Die gesammelte Ladung Q ist proportional zur Primärteilchenenergie. Somit lässt sich das Proportionalitätsrohr zur Energiemessung der einfallenden Strahlung verwenden. Bei weiterer Erhöhung der Betriebsspannung wird die Ladung Q unabhängig von der Primärionisation. Die Ladung hängt nur noch von dem Volumen und der Spannung ab. Dieser Effekt erscheint durch die Entstehung von ungeladenen UV-Photonen, die sich auch senkrecht zum E-Feld ausbreiten können, wodurch weitere Lawinen im gesamten Zählrohrvolumen ausgelöst werden. Das Geiger-Müller-Zählrohr kann nur noch zur Intensitätsmessung

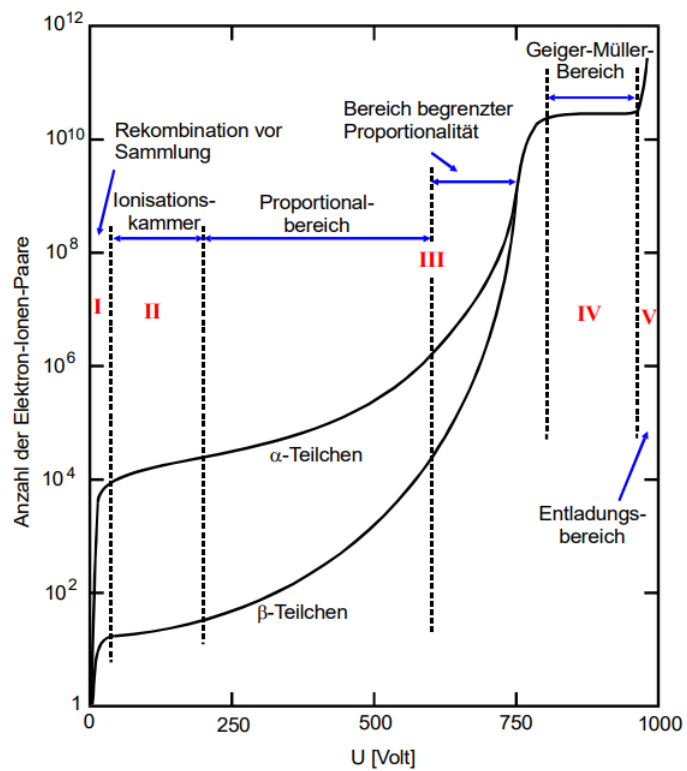


Abbildung 2: Detektierte Elektronen in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung

benutzt werden. Der lineare Anteil in diesem Bereich wird als Plateau bezeichnet. Dabei weisen hochwertigere Geiger-Müller-Zählrohre ein längeres und flacheres Plateau auf. Wird die Spannung weiter erhöht, wird durch ein einzelnes Teilchen die Dauerentladung gezündet. Dies zerstört schnell das Zählrohr.

1.2 Totzeit und Nachentladung

Nach einer Entladung halten sich die positiven Ionen wegen ihrer größeren Masse länger als die Elektronen im Gasraum auf und bilden eine vorübergehend radialsymmetrische, positive Raumladung. Diese reduziert die effektive Feldstärke in Drahtnähe und verhindert somit die Stoßionisation für eine Zeit T . Da in diesem Zeitraum keine weiteren Teilchen detektiert werden können, wird T als Totzeit des Zählrohrs bezeichnet. Nach der Totzeit wird ein weiterer Zeitraum T_E zur vollständigen Neutralisation der Ionen benötigt. Dieser Zeitraum wird Erholungszeit genannt, da der Entladungsimpuls erst nach dieser seine ursprüngliche Höhe erreicht. Wie in Abbildung 3 zu sehen, folgt die Erholungszeit auf die Totzeit. Es ist möglich mit einem Oszilloskop die Kurve sichtbar zu machen, wodurch

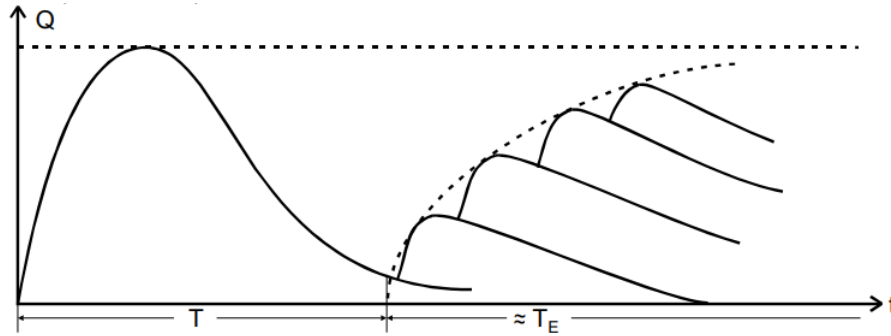


Abbildung 3: Qualitative Darstellung der Tot- und Erholungszeit eines Zählrohrs

die Totzeit T direkt ablesen werden kann. Außerdem kann man mit der Zwei-Quellen-Methode die Totzeit T bestimmen. Dabei werden von zwei Präparaten die Impulse pro Zeit N_1 , N_2 und die Impulsrate N_{1+2} bestimmt (Beide Präparate Strahlen gleichzeitig). Die Totzeit lässt sich durch

$$T_T \approx \frac{n_1 + n_2 - n_{1+2}}{2n_1n_2}. \quad (1)$$

berechnen. Es kann zu sogenannten Nachentladungen während der Erholungszeit kommen. Diese entstehen dadurch, dass Ionen beim Neutralisieren am Zählrohrmantel Elektronen herauslösen und somit neue Elektronenlawinen auslösen. Zur Reduzierung dieses Problems, kann dem Gas ein Alkoholzusatz beigemischt werden, welcher die Ionen im Gasraum neutralisiert. Die positiv geladenen Alkoholmoleküle bewegen sich anstelle der Ionen zum Zählrohrmantel. Diese können jedoch keine Elektronenlawinen mehr auslösen und werden am Zählrohrmantel neutralisiert. Mit der Gleichung

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (2)$$

lässt sich die Zahl der freigesetzten Ladungen pro einfallenden Teilchen berechnen. Dabei ist I der mittlere Zählrohrstrom und e_0 die Elementarladung.

2 Durchführung

Die Informationen, so wie die Bilder wurden aus den Dokumenten [1] und [2] entnommen. Die Messapparatur wird wie in Abbildung 4 aufgebaut. Die durch ein einfallendes Teilchen verursachte Ladung Q fließt über den Widerstand R ab und erzeugt einen Spannungsimpuls. Der Impuls wird über den Kondensator C ausgekoppelt, verstärkt und im Zählgerät registriert oder mit Hilfe eines Oszilloskops sichtbar gemacht. Für den Versuch wurde eine ^{204}Tl -Quelle genutzt. Eine Zählrate von 100 Imp/s wurde nicht überschritten, da dies zur Vermeidung von Totzeit-Korrekturen führt.

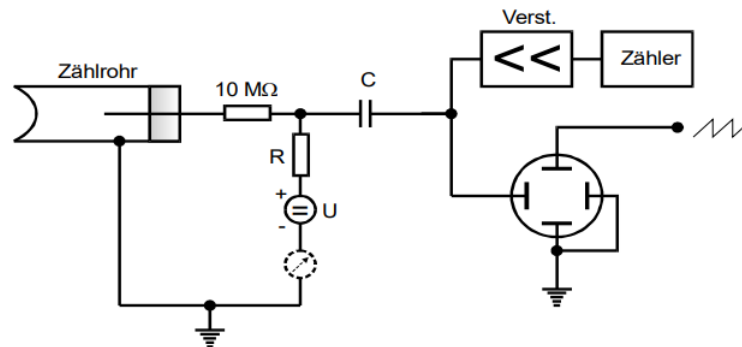


Abbildung 4: Skizze der Messapparatur

2.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

Für die Analyse der Charakteristik wurde die Anzahl der Zerfälle pro Zeitintervall in Schritten von $\Delta U = 10 \text{ V}$ gemessen. Die Integrationszeit pro Zählrohrspannung betrug $t = 60 \text{ s}$, damit die Zählrate im Geiger-Plateau in der Größenordnung von $N = 10000 \text{ Imp}$ liegt. Da der Fehler mit $\Delta N = \sqrt{N}$ gegeben ist und somit für $N = 10000$ der Fehler jedes Messpunkts unter 1% liegt.

2.2 Totzeitbestimmung

Um eine Totzeitkorrektur zu erhalten, wurde die ^{204}Tl -Quelle näher an das Zählrohr gestellt. Die Messzeit wurde auf $t = 120 \text{ s}$ erhöht, damit mehr Präzision erzielt werden kann. Die zwei Quellen wurden wie in Abbildung 5 nacheinander positioniert, wonach die Zählraten gemessen wurden. Eine weitere Messung wurde mit einem angeschlossenen Oszilloskop durchgeführt. Die Zeitachse wurde auf $100 \mu\text{s}/\text{DIV}$ eingestellt.

2.3 Bestimmung des Zählrohrstroms

Der Zählrohrstrom wurde mit dem Amperemeter alle 50 V abgelesen.

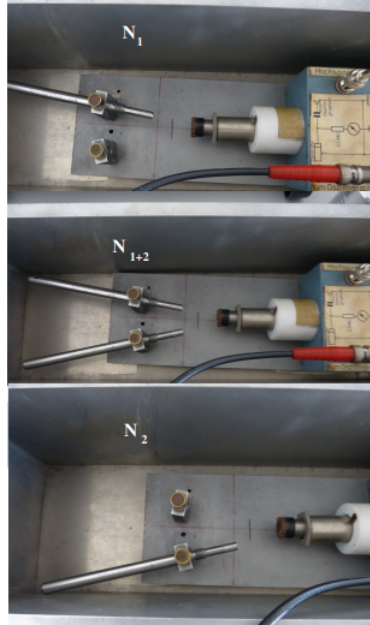


Abbildung 5: Schritte des Zwei-Quellen-Verfahrens

3 Auswertung

Jegliche Fehlerrechnung wurde mit der python-Bibliothek uncertainties [4] absolviert. Trotz dessen sind die Formeln für die Unsicherheiten in den jeweiligen Abschnitten angegeben. Allgemeine Rechnungen wurden mit der python-Bibliothek numpy [5] automatisiert. Die graphischen Unterstützungen wurden mit Hilfe der python-Bibliothek matplotlib [3] erstellt.

3.1 Geiger-Müller Charakteristik

Die Parameter zur Bestimmung der Charakteristik sind in in Abschnitt 2.1 gegeben. Dazu wurde die Teilchenanzahl pro Zeitintervall N gemessen. Zur Berechnung der Plateau-Ausgleichsgerade wurde das Intervall 370 V bis 630 V gewählt. Somit besitzt die Charakteristik eine Plateau-Länge von

$$U_{\text{Plateau}} = 260V.$$

Die Zählrate ist gegen die Spannung in Abbildung 6 aufgetragen. Mittels Rechnungen in python lassen sich die Parameter der Ausgleichsgerade

$$N = aU + b \quad (3)$$

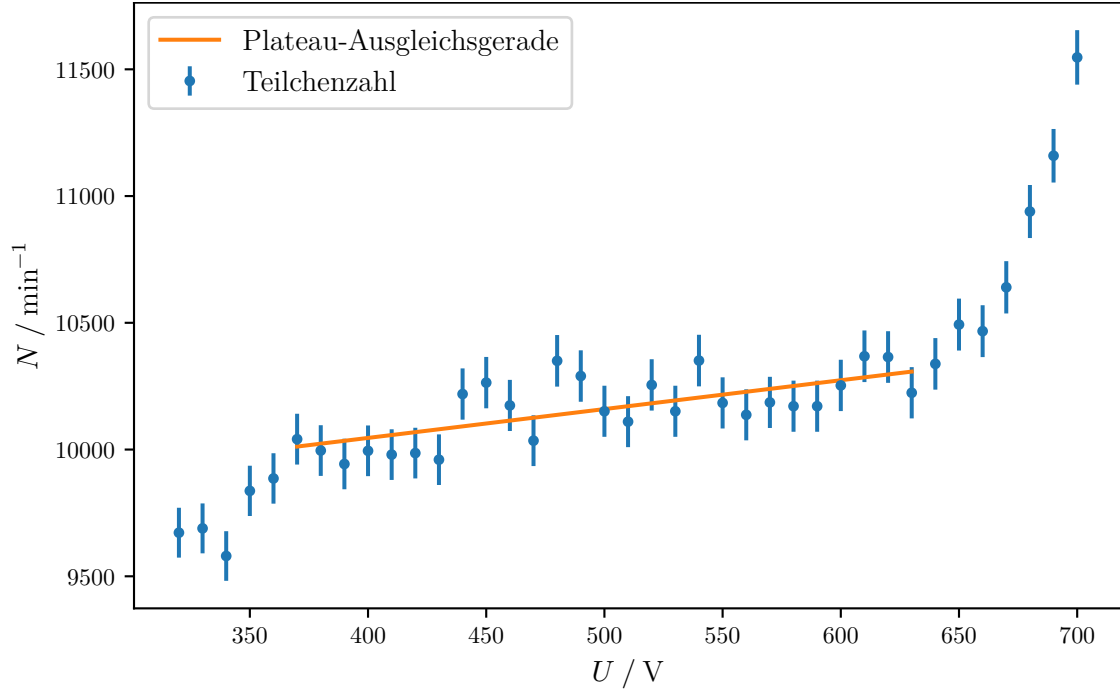
zu

$$a = (1,1378 \pm 0,2407) \frac{1}{\text{min V}} = (13,78 \pm 2,40) \frac{\%}{100 \text{ min V}}$$

$$b = (9590,7346 \pm 121,8237) \frac{1}{\text{min}}$$

bestimmen. Die Unsicherheit lässt sich mit Hilfe der Beziehung

Abbildung 6: Charakteristik des Halogenzählrohrs



$$\Delta N = \sqrt{N} \quad (4)$$

ermitteln.

3.2 Bestimmung der Totzeit

In der Tabelle 1 sind die gemessenen Impulse pro 120 Sekunden N aufgetragen, wobei sich N_1 auf die gemessenen Impulse der ersten Quelle und N_2 auf die gemessenen Impulse der zweiten Quelle bezieht. N_{1+2} beschreibt die Impulse, welche von beiden Quellen gleichzeitig ausgestrahlt werden. Mittels Gleichung (1) lässt sich die Totzeit T zu

$$T \approx (110 \pm 50) \mu\text{s}$$

bestimmen. Die Unsicherheit der Totzeit wird mit Hilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\Delta T = \sqrt{\left(1 + \frac{2n_2 - 2n_{1+2}}{4n_1^2 n_2}\right)^2 n_1 + \left(1 + \frac{2n_1 - 2n_{1+2}}{4n_1 n_2^2}\right)^2 n_2 + \frac{n_{1+2}}{n_1^2 n_2^2}} \quad (5)$$

Tabelle 1: Gemessene Impulse der Konfigurationen

$N_1 / (120\text{s})^{-1}$	$N_2 / (120\text{s})^{-1}$	$N_{1+2} / (120\text{s})^{-1}$
96 041	76 518	158 479

An dem Oszilloskop kann eine Totzeit von

$$T \approx 160 \mu\text{s}$$

abgelesen werden.

3.3 Bestimmung der freigesetzten Ladung

Für die freigesetzten Ladungen pro einfallendes Teilchen Z in Abhängigkeit des Zählrohrstroms I ergibt sich die Tabelle 2. Ebenfalls sind die freigesetzten Ladungen pro einfallendes Teilchen in Abbildung 7 gegen den Zählerrohrstrom aufgetragen. Der Fehler

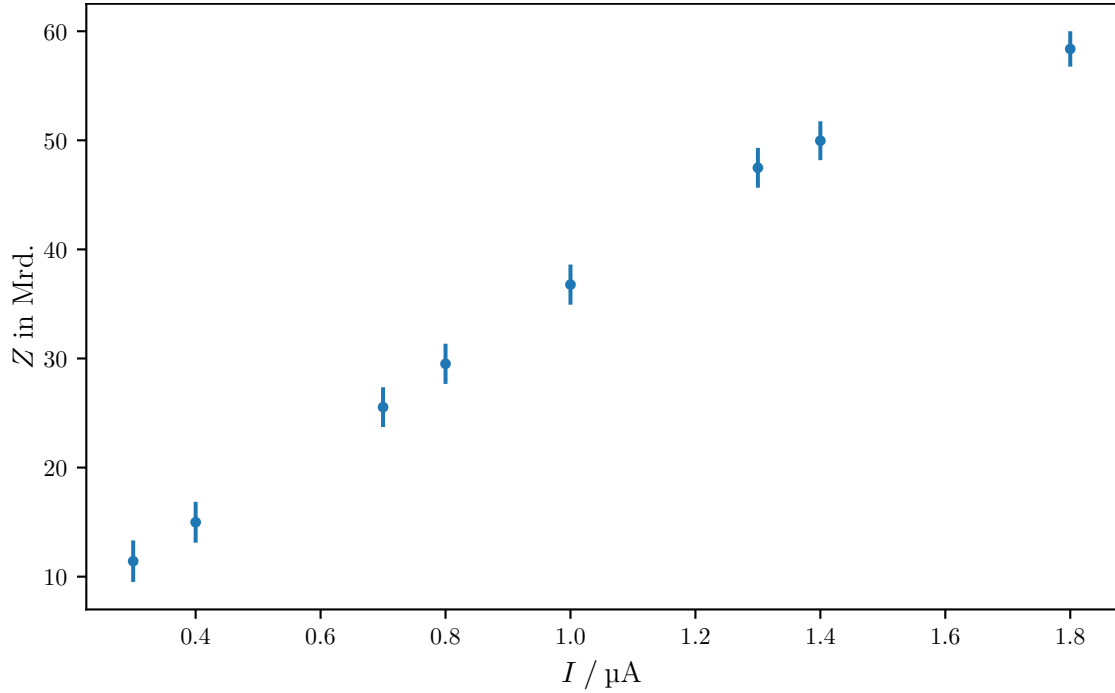
Tabelle 2: Freigesetzte Ladungen pro einfallendes Teilchen

$I / \mu\text{A}$	Z in Mrd.
$0,3 \pm 0,05$	$11,4209 \pm 2,1021$
$0,4 \pm 0,05$	$14,9871 \pm 2,2041$
$0,7 \pm 0,05$	$25,5401 \pm 2,6722$
$0,8 \pm 0,05$	$29,5136 \pm 2,9242$
$1,0 \pm 0,05$	$36,7724 \pm 3,3686$
$1,3 \pm 0,05$	$47,4824 \pm 4,0656$
$1,4 \pm 0,05$	$49,9654 \pm 4,1785$
$1,8 \pm 0,05$	$58,3773 \pm 4,5097$

lässt mich mittels Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnen.

$$\Delta Z = \frac{1}{e_0} \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{N}\right)^2 + \frac{I^2}{N^3}} \quad (6)$$

Abbildung 7: Freigesetzte Ladungen pro eingefallendes Teilchen



4 Diskussion

Zunächst wird auffällig, dass das Verhältnis aus der mit dem Oszilloskop bestimmten und der errechneten Totzeit klein ist, da das Verhältnis

$$\frac{T_{\text{berechnet}}}{T_{\text{Oszilloskop}}} = 68,75 \% .$$

beträgt. Im Hinblick auf die Problematik könnte die Ursache an dem Oszilloskop liegen. Die dortige Visualisierung zeugt von geringer Genauigkeit, denn die einzelnen Kurven sind nicht komplett gebündelt, sondern weichen von einander ab. Somit liegt die Vermutung nahe, dass die optimalen Ablesepunkte zur Bestimmung der Totzeit woanders liegen und somit eine relativ große Abweichung zu Stande kam. Andererseits könnte die starke Abweichung an der Tatsache liegen, dass eine Annäherung zur Berechnung der Totzeit verwendet wurde.

Neben der Totzeit wird die Plateau-Steigung negativ auffällig, da diese größer als eins ist ($\approx 1,13/(\text{min V})$). Jedoch ist die Plateau-Länge nur sehr schwierig zu bestimmen, da der Graph in Abbildung 6 schweren Schwankungen unterliegt. Somit ist der Beginn des Plateaus nicht ganz eindeutig, wodurch eine optimale Wahl der Plateau-Länge schwierig zu bestimmen ist.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Messdaten und Hinweise zu Versuch: Das Geiger-Müller Zählrohr*.
- [2] TU Dortmund. *V703, Das Geiger-Müller-Zählrohr*.
- [3] 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/>.
- [4] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. 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/>.