

V703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Samuel Haefs
samuel.haefs@tu-dortmund.de

Durchführung: 19.05.2020

Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Aufbau und Wirkungsweise	3
2.3 Totzeit und Nachentladung	4
2.4 Charakteristik des Zählrohres	5
3 Durchführung	6
4 Auswertung	7
4.1 Geiger-Müller Charakteristik	7
4.2 Bestimmung der Totzeit	9
4.3 Bestimmung des Zählrohrstroms	10
5 Diskussion	11
Literatur	12

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist die Untersuchung der Charakteristik des Zählrohrs. Auch die Nachentladung wird analysiert und die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs bestimmt.

2 Theorie

2.1 Einleitung

Das Geiger-Müller-Zählrohr wird zur Messung der Intensität ionisierter Strahlung verwendet. Wird ein α , β oder γ - Teilchen absorbiert, so wird ein Impuls erzeugt. Die Anzahl der Impulse pro Zeit- und Flächeneinheit werden mithilfe eines Impulszählers gemessen.

2.2 Aufbau und Wirkungsweise

Der Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohr ist in Abb. 1 skizziert. Innerhalb eines Kathodenzylinders mit Radius r_k befindet sich ein axial verlaufender Anodendraht mit Radius r_a . Der Zylinder ist mit einem Gasgemisch gefüllt. Wird eine Spannung angelegt, so entsteht ein radialsymmetrisches Feld zwischen Anode und Kathode. Befindet sich ein geladenes

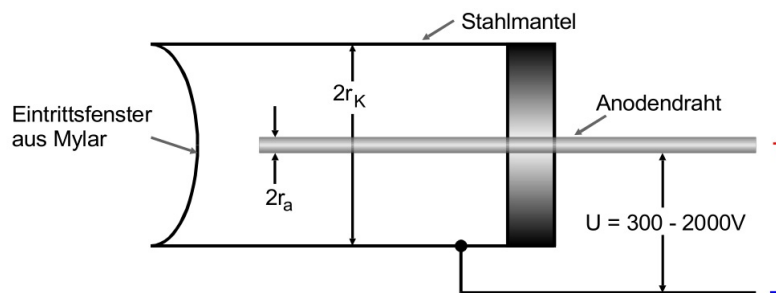


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohr. [2, S. 1]

Teilchen in dem elektrischen Feld, so wächst das Feld in Richtung des Drahtes mit $\frac{1}{r}$. Trifft ein Teilchen in das Zählrohrvolumen, so wird es sich im Gasraum bewegen, bis die Energie durch Ionisationsakte aufgebraucht ist. Die Anzahl der dabei entstehenden Elektronen bzw. positiven Ionen ist proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. Wie in Abb. 2 zu sehen, hängt die Ionisation im Zählrohr von der angelegten Spannung ab.

Bei geringer Spannung (Bereich I) erreicht nur ein geringer Teil der Elektronen den Draht. Viele Elektronen rekombinieren in diesem Spannungsbereich.

Wird die Spannung erhöht (Bereich II), so sinkt die Rekombinationswahrscheinlichkeit und mehr Elektronen gelangen zum Draht. Der Ionisationsstrom zwischen Anode und Kathode ist hier proportional zur Energie/Intensität der einfallenden Teilchen. Dieser Aufbau wird als Ionisationskammer bezeichnet und wird bei hohen Strahlenintensitäten verwendet.

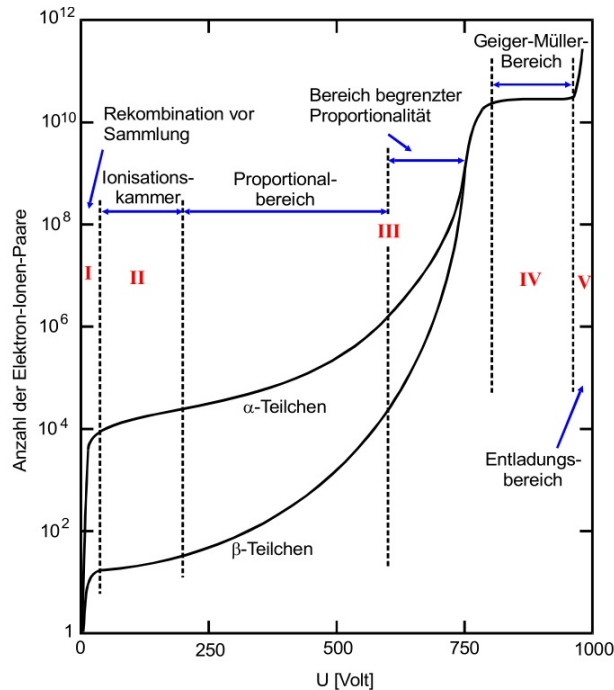


Abbildung 2: Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare in Abhängigkeit der Spannung U . [2, S. 2]

Bei höherer Spannung (Bereich III) können die Atome des Gasgemisch durch Zusammenstöße mit freien Elektronen ionisieren (Stoßionisation). Die Ladung Q pro einfallendes Teilchen ist nun groß genug um gemessen zu werden. Die Ladung ist proportional zur Energie, die das Teilchen an das Gasvolumen abgegeben hat. In diesem Spannungsbereich kann die Strahlenintensität und die Energie gemessen werden.

Im Auslösebereich (Bereich IV) verteilt sich die Entladung längs des gesamten Zählrohrdrahts. Durch Elektronenstöße mit dem Gasgemisch entstehen UV-Photonen, die sich durch die neutrale Ladung senkrecht zum Feld ausbreiten können. Die gesammelte Ladung am Zählrohrdraht hängt nur vom Volumen des Zählrohrs und der Spannung U ab. In diesem Bereich kann nur die Intensität gemessen werden.

2.3 Totzeit und Nachentladung

Während des Entladevorgangs wandern die Elektronen zum Draht Die positiven Ionen bleiben hingegen länger im Gasraum, da sie eine deutlich größere Masse aufweisen. Die Ionen erzeugen in der Zeit eine radialsymmetrische positive Raumladung (Ionenschlauch). Dadurch wird die Feldstärke in der Zeit T verringert (siehe Abb. 3), so dass keine Stoßionisation statt finden. In der Totzeit T kann also kein eintreffendes Teilchen registriert werden. Nach der Zeit T ist die Ladungswolke zum Zählrohrmantel abgewandert und die Impulsmessung ist wieder möglich. Anschließend gibt es eine Erholungszeit T_E (siehe Abb. 3) in der die abgegebenen Ladungsimpulse verringert sind, bis die Ionen vollständig

neutralisiert werden.

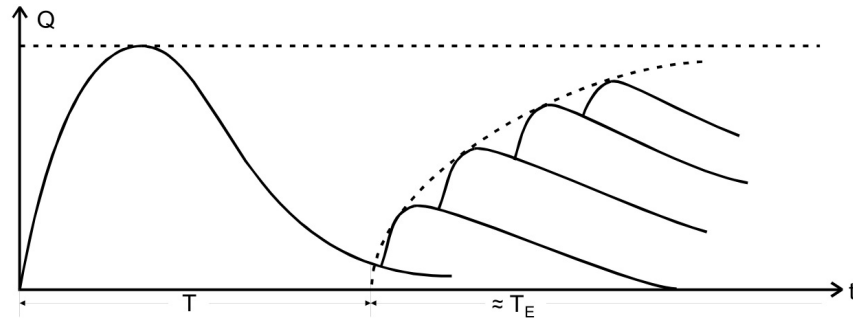


Abbildung 3: Die Totzeit T und Erholungszeit T_E eines Zählrohrs in einen Q - T -Diagramm dargestellt. [2, S. 4]

2.4 Charakteristik des Zählrohrs

Die Charakteristik hat die Gestalt wie in Abb. 4 zu sehen. Ab der Spannung U_E beginnt

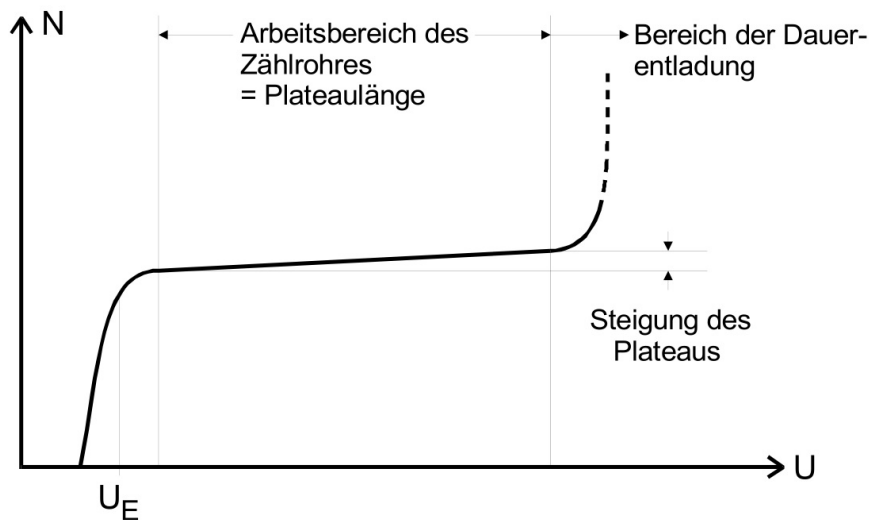


Abbildung 4: Charakteristik eines Zählrohrs bei konstanter einfallender Strahlungintensität. [2, S. 5]

der lineare Teil der Kurve (Plateau). Die Steigung des Plateau wird durch Nachentladung verursacht, die trotz eines Alkoholdampfzusatzes entstehen. Am Ende der Kurve nimmt die Anzahl der Nachentladungen stark zu. Hier kann durch ein einzelnes ionisiertes Teilchen eine Dauerentladung beginnen. Dabei treten hohe Stromdichten auf, welche das Zählrohr zerstören können (Bereich der Dauerentladung).

Zur Untersuchung des Zählstroms wird die Zahl

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (1)$$

der freigesetzten Ladungen pro einfallende Teilchen benötigt. I entspricht hier dem gemessenen mittleren Zählrohrstrom, N der Anzahl der einfallenden Teilchen und e_0 der Elementarladung.

3 Durchführung

Der experimentelle Aufbau ist in Abb. 5 zu sehen. Die gesammelte Ladung Q auf dem

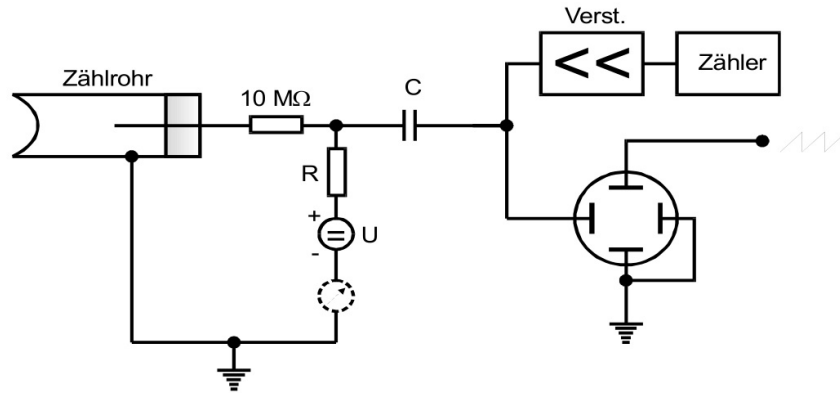


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Messapparatur. [2, S. 7]

Zählendraht fließt in den Widerstand R und erzeugt dort ein Spannungsimpuls. Der Impuls wird über den Kondensator ausgekoppelt und verstärkt. Das Zählgerät registriert den Impuls. Zusätzlich kann dieser auch mithilfe eines Oszillographen sichtbar gemacht werden.

Zuerst soll die Geiger-Müller Charakteristik aufgenommen werden. Dazu wird eine β -Quelle vor das Fenster des Zählrohrs gestellt. Dann wird die Zählrate in Abhängigkeit der Spannung gemessen. Die Spannung wird in $\Delta U = 10\text{ V}$ -Schritten im Bereich von 320 V bis 700 V gemessen. Die Intensität darf nicht über 100 Imp/s steigen, damit das Zählrohr nicht durch Dauerentladungen beschädigt wird. Die Integrationszeit beträgt 60 s . Es ist wichtig eine hohe Anzahl an Impulsen zu messen, damit die gesammelte Ladung nicht mehr von der Primärionisation abhängt. Bei 350 V und jeder weiteren 5-ten Messung wird der Zählstrom I am Amperemeter abgelesen. Die Ablesegenauigkeit beträgt hier $\Delta I = 0,05\text{ }\mu\text{A}$.

Als nächstes wird die Totzeit bestimmt. Hier wird die β -Quelle näher an das Zählrohr gerückt und die Messzeit auf $t = 120\text{ s}$ erhöht, damit eine Totzeitkorrektur zu messen ist. Nun werden die Impulse mit einer Quelle N_1 , mit zwei Quellen N_{1+2} und nur mit der zweiten Quelle N_2 wie in Abb. 6 zu sehen gemessen. Wenn $N_{1+2} < N_1 + N_2$ so hat das Zählrohr eine Totzeit T . Die Totzeit kann nach

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

angenähert werden. Die Näherung ist für $T^2 N_i^2 \ll 1$ mit $i = 1, 2, 1 + 2$ gültig.

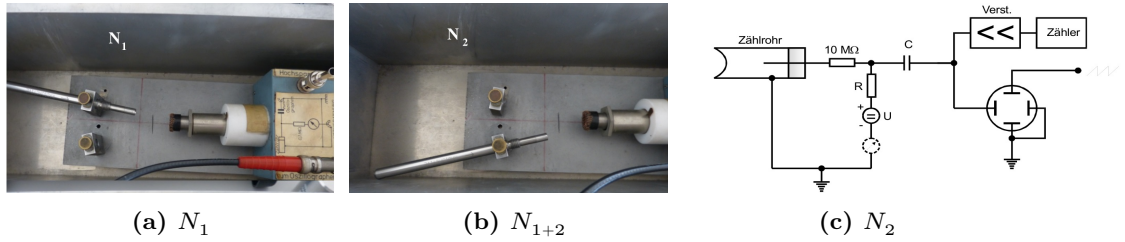


Abbildung 6: Aufbau zur Messung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode. [1, S. 2]

4 Auswertung

4.1 Geiger-Müller Charakteristik

Die Daten zur Untersuchung der Geiger-Müller Charakteristik befinden sich in Tab. 1. Der Messfehler für die Impulse N ist nach $\Delta N = \sqrt{N}$ gegeben. Die Fehler werden mithilfe der Bibliothek „uncertainties“ [6] verrechnet. Werden die gemessenen Impulse durch die Integrationszeit $t = 60$ s geteilt, ergeben sich die Impulse pro Sekunde. Die gemessenen Zerfälle pro Sekunde sind in Abb. 7 graphisch dargestellt. Das Plateau

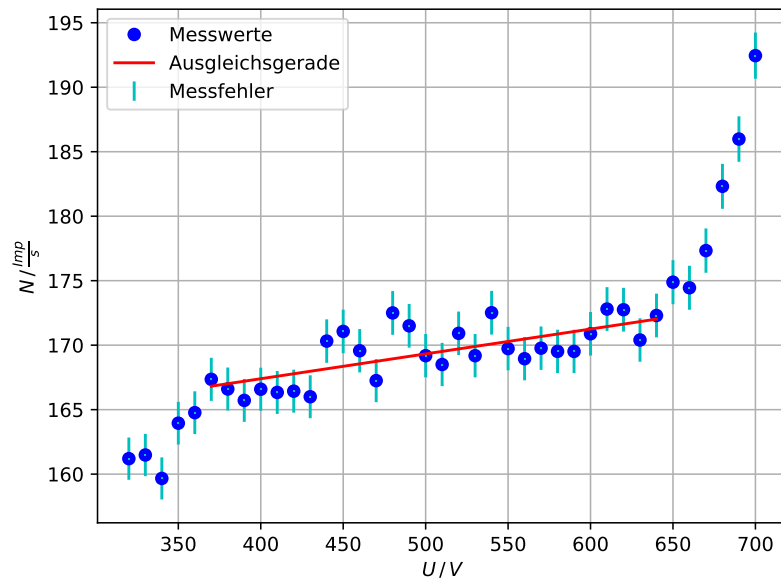


Abbildung 7: Anzahl der Zerfälle N pro Sekunde mit zugehörigem Fehler in Abhängigkeit der Spannung U . Das Plateau wird mit einer linearen Ausgleichsrechnung angenähert. [4] [5] [6] [7]

beginnt bei $U_1 = 370$ V und endet bei $U_2 = 640$ V. Eine lineare Ausgleichsrechnung

$$N(U) = a \cdot U + b \quad (3)$$

U / V	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	$I / \mu\text{A}$	U / V	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	$I / \mu\text{A}$
320	9672		520	10255	
330	9689		530	10151	
340	9580		540	10351	
350	9837	0.3	550	10184	1.0
360	9886		560	10137	
370	10041		570	10186	
380	9996		580	10171	
390	9943		590	10171	
400	9995	0.4	600	10253	1.3
410	9980		610	10368	
420	9986		620	10365	
430	9960		630	10224	
440	10219		640	10338	
450	10264	0.7	650	10493	1.4
460	10174		660	10467	
470	10035		670	10640	
480	10350		680	10939	
490	10290		690	11159	
500	10151	0.8	700	11547	1.8
510	10110				

Tabelle 1: Anzahl der Zerfälle N pro 60 s und der Zählrohrstrom I in Abhängigkeit der Spannung U .

für das Plateau ergibt folgende Parameter:

$$a = (0,019 \pm 0,004) \frac{\text{Imp}}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

$$b = (159,7 \pm 1,9) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$$

Die Plateau-Steigung pro 100 V beträgt

$$P = \frac{N(100 \text{ V}) - b}{b} = (1,21 \pm 0,23) \frac{\%}{100\text{V}}. \quad (4)$$

4.2 Bestimmung der Totzeit

Zur Bestimmung der Totzeit mithilfe der Zwei-Quellen-Methode ergeben sich folgende Zählraten:

$$N_1 = 96\,041 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}}$$

$$N_{1+2} = 158\,479 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}}$$

$$N_2 = 76\,518 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}}$$

Nach der Näherung (2) ergibt sich die Totzeit

$$T = (115 \pm 4) \mu\text{s}. \quad (5)$$

Die Näherung ist gültig, da die folgenden Produkte

$$T^2 N_1^2 = (0,0085 \pm 0,0007) \text{ Imp}^2$$

$$T^2 N_{1+2}^2 = (0,0054 \pm 0,0004) \text{ Imp}^2$$

$$T^2 N_2^2 = (0,0230 \pm 0,0016) \text{ Imp}^2$$

deutlich kleiner als 1 sind.

Als nächstes wird die Totzeit mit dem Oszilloskop in Abb. 8 bestimmt. Die Totzeit beträgt in etwa

$$T_{\text{Osz}} = (100 \pm 100) \mu\text{s}. \quad (6)$$

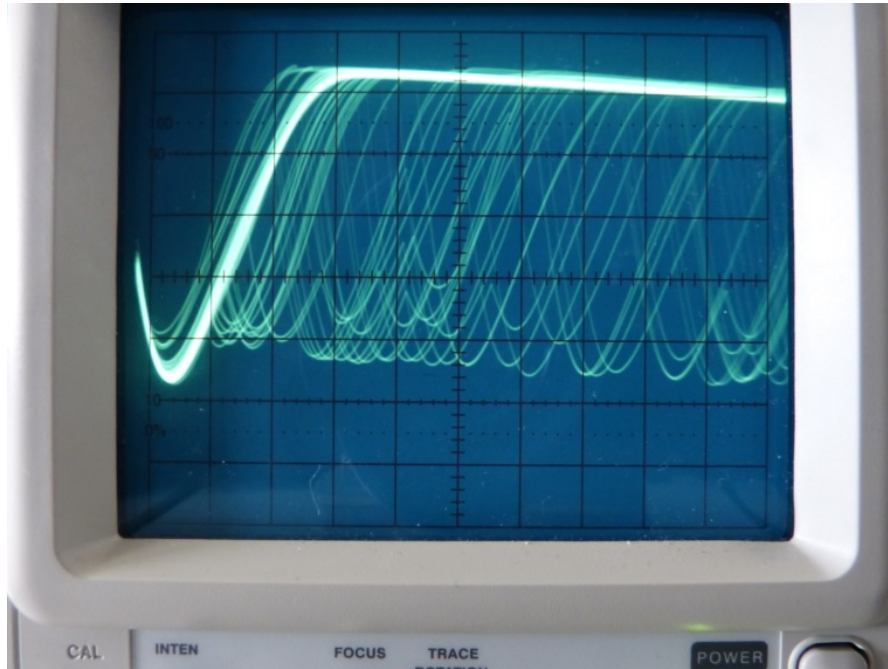


Abbildung 8: Aufnahme eines Oszilloskop. Die Zeitachse ist in $100 \mu\text{s} / \text{DIV}$ unterteilt.
[1, S. 2]

4.3 Bestimmung des Zählrohrstroms

Der gemessene Zählrohrstrom ist in Tab. 1 zu sehen. Der Zählrohrstrom I hat wegen der Ablesegenauigkeit den Fehler $\Delta I = 0,05 \mu\text{A}$. In Tab. 2 befinden sich die Zahlen Z der freigesetzten Ladungen pro einfallende Teilchen (1). Die zur Berechnung notwendige Elementarladung wird der Literatur entnommen. [3]

In der Abb. 9 sind die Zahlen Z in Abhängigkeit vom Zählrohrstrom I dargestellt.

$I / \mu\text{A}$	$Z / 10^9$
$0,30 \pm 0,05$	$11,42 \pm 1,91$
$0,40 \pm 0,05$	$14,99 \pm 1,88$
$0,70 \pm 0,05$	$25,54 \pm 1,84$
$0,80 \pm 0,05$	$29,51 \pm 1,87$
$1,00 \pm 0,05$	$36,77 \pm 1,87$
$1,30 \pm 0,05$	$47,48 \pm 1,89$
$1,40 \pm 0,05$	$49,97 \pm 1,85$
$1,80 \pm 0,05$	$58,38 \pm 1,71$

Tabelle 2: Die berechnete Zahl Z und der gemessene Zählrohrstrom I aufgelistet.

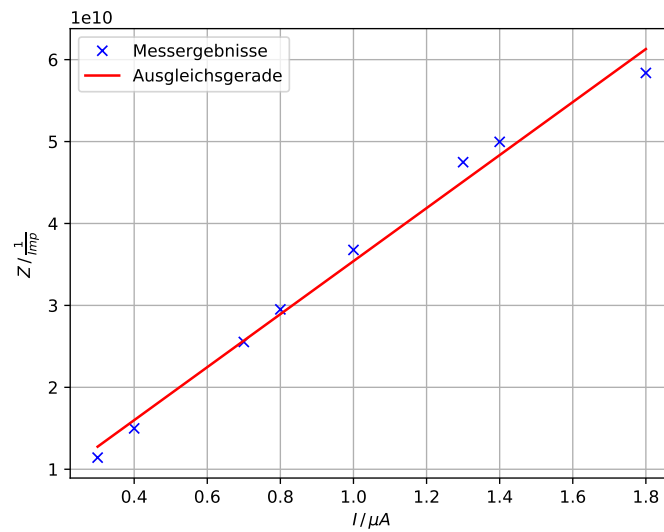


Abbildung 9: Die Zahl Z in Abhängigkeit vom Zählrohrstrom I und eine Ausgleichsgerade. [4] [5] [7]

Eine lineare Ausgleichsrechnung

$$Z = I \cdot a + b$$

ergibt folgende Parameter:

$$a = (3,24 \pm 0,14) \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{Imp} \cdot A}$$

$$b = (3,0 \pm 1,5) \cdot 10^9 \frac{1}{\text{Imp}}$$

5 Diskussion

Die Geiger-Müller Charakteristik (Abb. 7) weist ein typisches Plateau auf. Die Steigung des Plateau

$$P = (1,21 \pm 0,23) \frac{\%}{100V}$$

ist ein Maß der Qualität des Geiger-Müller-Zählrohrs. Die Steigung ist relativ hoch und lässt auf ein nicht qualitativ hochwertiges Zählrohr schließen.

Die Totzeit in Abschnitt 4.2 beträgt nach der Zwei-Quellen-Methode

$$T = (115 \pm 4) \mu s.$$

Mithilfe des Oszilloskop kann eine Totzeit von

$$T_{\text{Osz}} = (100 \pm 100) \mu s$$

ermittelt werden. Die Abweichung beträgt $\Delta T = 15 \mu\text{s}$ und ist der Ablesegenauigkeit des Oszilloskop zu zuschreiben. Insgesamt liegt die Totzeit im erwarteten Bereich. In Abschnitt 4.3 sind die Zahlen Z ermittelt worden. Nach Betrachtung der Abb. 9 kann von einem linearen Zusammenhang zwischen der Zahl Z und dem Zählstrom I ausgegangen werden. Der Zusammenhang kann durch

$$Z = I \cdot (3,24 \pm 0,14) \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{Imp} \cdot \text{A}} + (3,0 \pm 1,5) \cdot 10^9 \frac{1}{\text{Imp}} \quad (7)$$

angenähert werden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Messdaten und Hinweise zum Versuch "Das Geiger-Müller-Zählrohr"*. 2014.
- [2] TU Dortmund. *V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2014.
- [3] *Fundamentale Physikalische Konstanten - Gesamtliste*. URL: <http://www.uni-due.de>.
- [4] 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/>.
- [5] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [6] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [7] 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/>.