

V703

Das Geiger-Müller Zählrohr

Nico Guth
nico.guth@tu-dortmund.de

Abgabe: 26.05.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Spannungsabhängigkeit des Zählrohrs	3
2.2 Einige Kenndaten des Zählrohrs	5
3 Durchführung	6
3.1 Aufnahme der Charakteristik der Zählrohrs	6
3.2 Bestimmung der Totzeit	6
4 Auswertung	7
4.1 Charakteristik des Zählrohrs	7
4.2 Totzeit des Zählrohrs	9
4.3 Bestimmung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungen	10
5 Diskussion	11
Literatur	11

1 Zielsetzung

Dieser Versuch soll die Wirkungsweise eines Geiger-Müller Zählrohrs zeigen. Zudem werden einige Kenndaten des benutzten Zählers ermittelt.

2 Theorie

Ein Geiger-Müller Zählrohr wird dazu verwendet ionisierende Strahlung auf Eigenschaften wie die Intensität oder Energie zu untersuchen. Im wesentlichen besteht es aus einem Hohlzylinder aus Metall, welcher die Kathode ist und einem Draht in der Mitte des Zylinders, welcher die Anode ist. (Siehe Abbildung 1) Somit wird im Hohlzylinder bei angelegter Spannung U ein radialsymmetrisches elektrisches Feld erzeugt. Gefüllt ist das Rohr mit einem Gasgemisch, welches meistens aus überwiegend Argon mit etwas Alkohol besteht. Geschlossen wird das Zählrohr meistens mit einer sogenannten Mylar-Folie, also einer Polyester Folie, welche auch α -Strahlung durchlässt. Außerdem wird das Rohr mit einem Spannungsmesser/Stromzähler verbunden.

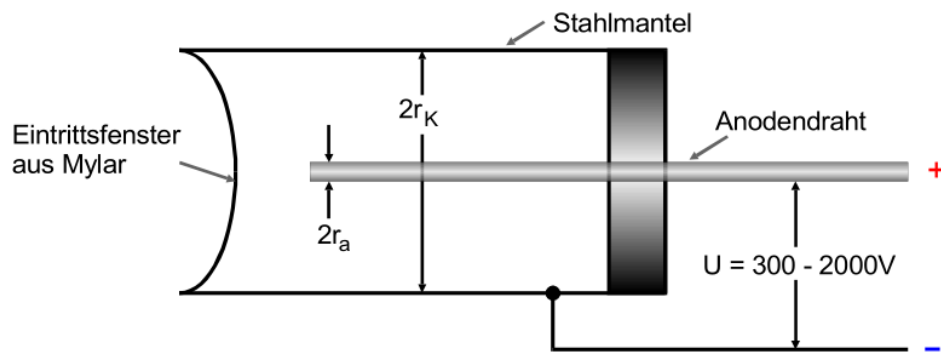


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller Zählrohrs[1]

2.1 Spannungsabhängigkeit des Zählrohrs

Betrachte werden ionisierende Teilchen, also Teilchen, welche genug Energie besitzen um von bestimmten Atomen ein Elektron zu lösen und somit ein Teilchenpaar mit positiver und negativer Ladung erzeugen. Die Energie um beispielsweise ein Argon Atom zu ionisieren liegt bei etwa 26 eV wobei die typische Teilchenenergie der betrachteten Strahlung bei über 100 keV liegt. Wenn also ein einfallendes Teilchen auf ein Argon Atom trifft, wird ein Ionenpaar erzeugt, das Teilchen verliert einen Teil seiner Energie und fliegt weiter im Gasgemisch. Es wird also solange Ionenpaare erzeugen, solange es noch genug Energie besitzt.

Durch das elektrische Feld werden so erzeugte positive Ionen zum Zylindermantel beschleunigt. Entsprechend werden die erzeugten Elektronen zum Anodendraht beschleunigt und erzeugen hier einen Ionisationsstrom zur Kathode. Wie nun aus diesen Ionenpaaren eine Messung geschehen kann hängt stark von der angelegten Spannung ab und kann grob in fünf Spannungsbereiche unterteilt werden. (Siehe Abbildung 2)

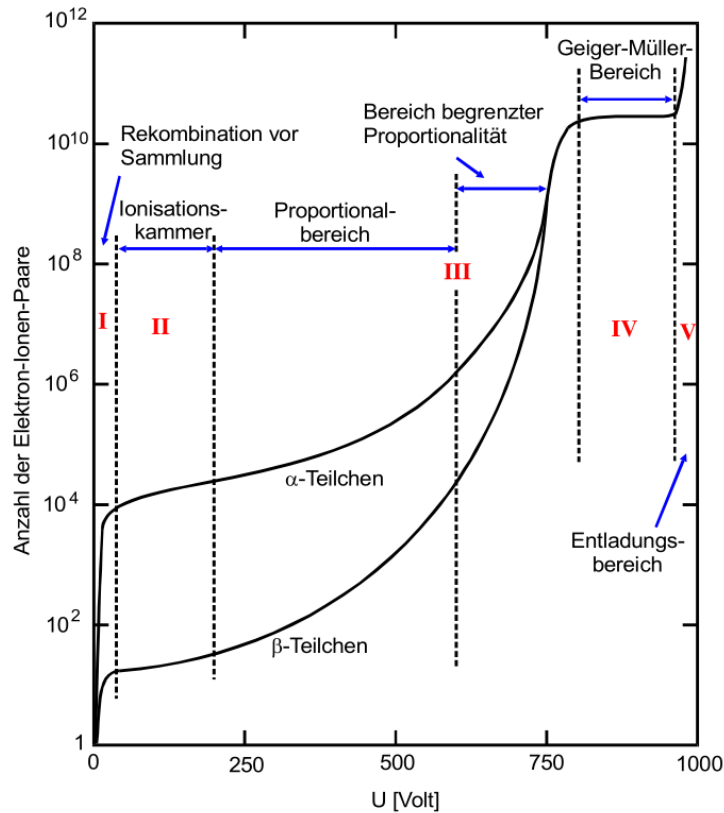


Abbildung 2: Wirkungsweise des Zählrohrs in Abhängigkeit der angelegten Spannung

Im ersten Bereich, also bei sehr niedriger angelegter Spannung ist die Beschleunigung nicht groß genug um die Ladungen dauerhaft zu trennen. Hier führen Rekombinationsprozesse dazu, dass nur einige der Ionen die Anode oder Kathode erreichen. Den Zähler in diesem Spannungsbereich zu verwenden ist also wenig sinnvoll.

Erhöht man die Spannung werden immer weniger Ionenpaare aufgrund von Rekombination neutralisiert. Und man kann nahezu alle erzeugten Ladungen an der Anode/Kathode erwarten. Somit ist der Ionisationsstrom abhängig von der Energie und Intensität der einfallenden Strahlung. Dieser Spannungsbereich wird für sogenannte Ionisationskammern verwendet.

Bei noch höherer Spannung (Bereich 3 in Abbildung 2) werden mehr Ionenpaare erzeugt, als die Energie des einfallenden Teilchens erzeugen kann. Dies geschieht dadurch, dass die erzeugten Elektronen im elektrischen Feld nahe der Anode so beschleunigt werden, dass

diese ebenfalls ionisierend werden und somit weitere Ionenpaare erzeugen, welche wiederum ionisierend wirken können. Dieser lawinenartige Vorgang wird auch Townsend-Lawine genannt. Allerdings ist die Anzahl der erzeugten Ionenpaare trotzdem abhängig von der Energie der einfallenden Strahlung. Hier spricht man von einem Proportionalzählrohr.

Ab einer bestimmten Spannung ist die Anzahl der erzeugten Ionenpaare nicht mehr Abhängig von der Energie der einfallenden Strahlung. Dieser Bereich (Bereich 4 in Abbildung 2) wird als Auslösebereich bezeichnet und ist der Bereich, in dem man von einem Geiger-Müller Zählrohr spricht. Hier werden die erzeugten Elektronen so stark beschleunigt, dass sie beim Stoß mit einem Argon Atom zusätzlich ionisierende Photonen erzeugen können, welche senkrecht zum elektrischen Feld fliegen können. Somit werden durch den Ionisationsprozess des einfallenden Teilchens über das ganze Zählrohr Ionenpaare erzeugt und die Anzahl ist nicht mehr abhängig von der Energie der einfallenden Strahlung. Hier kann nur noch die Intensität der einfallenden Strahlung gemessen werden, also wie viele Teilchen pro Zeit ins Zählrohr absorbiert werden.

Im letzten Spannungsbereich führt ein Ionisierungsprozess zu dauerhaften Nachentladungen und das Zählrohr ist praktisch nutzlos.

2.2 Einige Kenndaten des Zählrohrs

Aufgrund ihrer höheren Masse werden die positiven Ionen im elektrischen Feld deutlich langsamer beschleunigt als die Elektronen. Somit kommt es nach einer gewissen Zeit zu einem Überschuss positiver Ladungen im Zylinder und das elektrische Feld in Drahtnähe wird so abgeschwächt, dass nur noch wenige Townsend-Lawinen ausgelöst werden können. Also kann in einem gewissen Zeitabschnitt nach Messung eines einfallenden Teilchens kein weiteres Teilchen gemessen werden. Dieser Zeitabschnitt wird Totzeit genannt.

In der Erholungszeit danach werden Ionen welche auf die Kathode treffen mit Elektronen rekombiniert und somit neutralisiert. Somit entsteht nach der Erholungszeit wieder ein neutral geladenes Gasgemisch im Zählrohr. Diese Zeit kann allerdings dadurch unterbrochen werden, dass der Rekombinationsprozess Photonen aussendet welche wiederum eine Townsend-Lawine auslösen können. Dies sind dann Nachentladungen und imitieren somit fälschlicherweise einen Prozess, der als einfallendes Teilchen gedeutet werden kann. Um die Nachentladungen so gering wie möglich zu halten wird dem Argongas ein Alkoholgas untergemischt. Auf dem Weg zur Kathode stoßen die positiven Ionen dann mit den Alkoholmolekülen zusammen und geben einen Großteil ihrer Energie ab. Diese werden zwar ionisiert, aber der Rekombinationsprozess kann aufgrund einer niedrigeren Ionisierungsenergie keine Townsend-Lawine mehr auslösen, sondern es werden Schwingungen ausgelöst.

Der Arbeitsbereich des Geiger-Müller Zählrohrs ist der nahezu konstante Bereich 4 in Abbildung 2 und wird auch Plateau genannt. Da allerdings kein Zählrohr perfekt arbeitet, steigt das Plateau an. Je geringer der Anstieg ist, desto qualitative hochwertiger wird das Zählrohr eingeschätzt.

Das sogenannte Ansprechvermögen des Zählrohrs beschreibt wie häufig ein Teilchen zwar in das Zählrohr einfällt aber nicht detektiert wird. Je geringer die Energie der Strahlung, desto geringer ist das Ansprechvermögen.

3 Durchführung

Für alle nachfolgend beschriebenen Durchführungen wird der Versuchsaufbau aus Abbildung 3 verwendet.

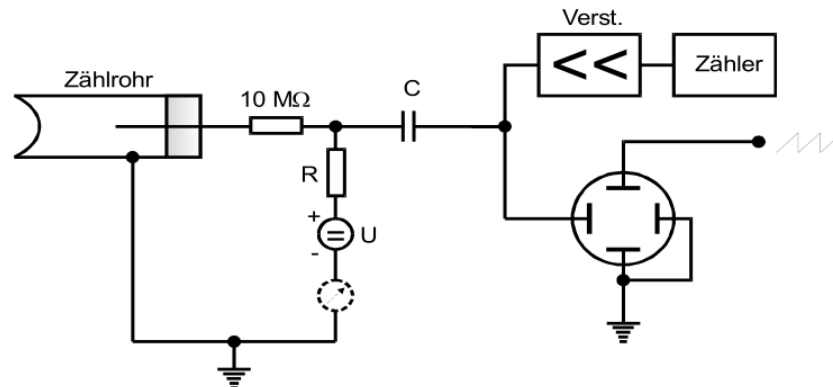


Abbildung 3: Schaltkreis zur Messung der Kenndaten des Geiger-Müller Zählrohrs.[1]

3.1 Aufnahme der Charakteristik der Zählrohrs

Um den Plateauanstieg des Geiger-Müller Zählrohrs zu messen wird vor diesen eine Probe (hier ^{204}Tl) gestellt, welche β -Strahlung aussendet. Nun wird in Abhängigkeit von der angelegten Spannung U die Zählrate am Zähler abgelesen. Dazu wird die Probe so plaziert, dass etwa 100 Impulse/s gemessen werden, da sonst die Totzeit mit beachtet werden muss. Die Spannung sollte in einem passenden Bereich variiert werden, jedoch nicht ca. 700 V überschreiten, da höhere Spannungen das Zählrohr beschädigen können. Die Messzeit pro Spannung sollte etwa 60 s betragen, damit die Standardabweichung der Poisson-Verteilung bei unter 1 % bleibt.

Wird bei der Messung zusätzlich die Ionisierungsstromstärke gemessen, kann die freigesetzte Ladungsmenge pro einfallendem Teilchen bestimmt werden.

3.2 Bestimmung der Totzeit

Die Totzeit wird auf zwei verschiedene Arten bestimmt.

Für die Erste werden zwei Strahlungsquellen einzeln und zusammen gemessen. Die Messzeit sollte in etwa doppelt so hoch wie zuvor sein, damit der statistische Fehler geringer ist. Also wird als die Strahlung von Quelle 1 gemessen, dann wird Quelle 2 hinzugefügt ohne die erste Quelle zu bewegen. Als letztes wird nur Quelle 2 vermessen.

Die zweite Messmethode verwendet nur eine Quelle und ein Oszilloskop. Wenn die Strahlintensität der Quelle hoch genug ist, kann die Totzeit bestimmt werden indem die Zeitdifferenz zweier Impulse auf dem Oszilloskop abgelesen werden.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Zählrohrs

Tabelle 1: Messergebnisse der Charakteristik des Zählrohrs

U / V	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	U / V	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$	U / V	$N / \frac{\text{Imp}}{60\text{s}}$
320	9672	450	10 264	580	10 171
330	9689	460	10 174	590	10 171
340	9580	470	10 035	600	10 253
350	9837	480	10 350	610	10 368
360	9886	490	10 290	620	10 365
370	10 041	500	10 151	630	10 224
380	9996	510	10 110	640	10 338
390	9943	520	10 255	650	10 493
400	9995	530	10 151	660	10 467
410	9980	540	10 351	670	10 640
420	9986	550	10 184	680	10 939
430	9960	560	10 137	690	11 159
440	10 219	570	10 186	700	11 547

Die Charakteristik des benutzten Zählrohrs ist in Abbildung 4 dargestellt. Um den Plateauanstieg zu bestimmen wird eine Ausgleichsgerade durch das Plateau (also von $U = 370 \text{ V}$ bis 640 V) gelegt. Dazu wird

$$N(U) = aU + b$$

und die Funktion `curve_fit` der Python Bibliothek SciPy verwendet.[2] Damit ergeben sich die Parameter

$$a = (0,019 \pm 0,004) \frac{1}{\text{V}}$$

$$b = 160 \pm 2.$$

Nun kann der Plateauanstieg zu

$$\begin{aligned}\Delta N &= N(U = 640 \text{ V}) - N(U = 370 \text{ V}) \\ &= (5,2 \pm 1,0) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}\end{aligned}$$

bzw.

$$\begin{aligned}\Delta N &= \left(\frac{N(U = 640 \text{ V})}{N(U = 370 \text{ V})} - 1 \right) \cdot \frac{100 \text{ V}}{(640 - 370) \text{ V}} \cdot 100 \\ &= (1,15 \pm 0,21) \% / 100 \text{ V}\end{aligned}$$

bestimmt werden.

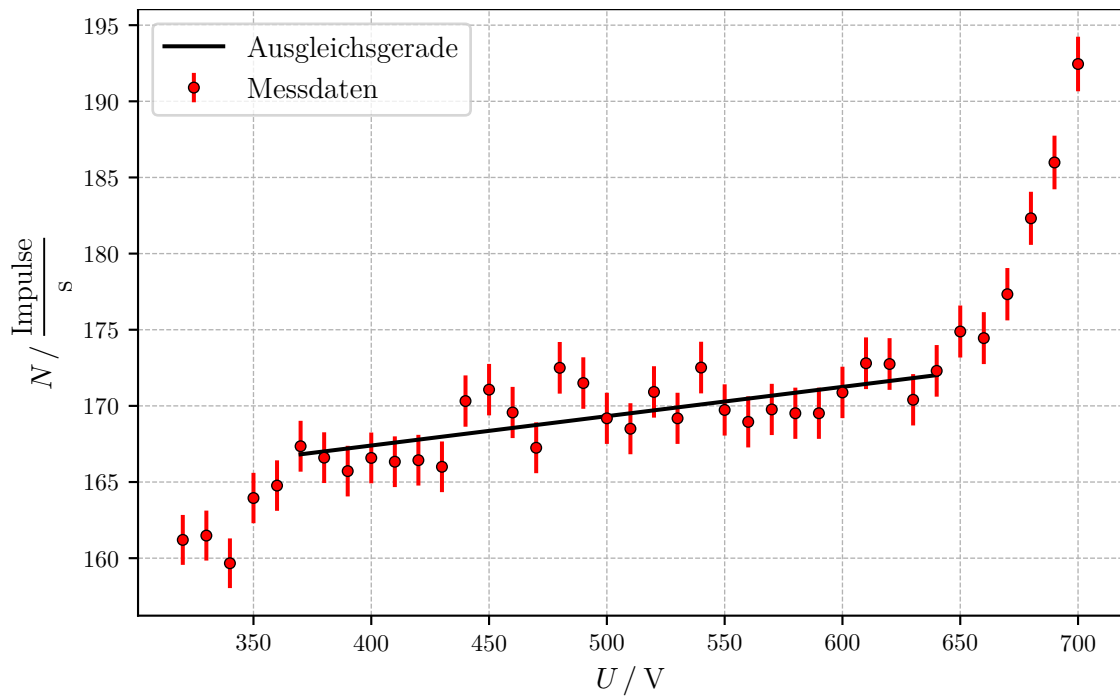


Abbildung 4: Plot der Messergebnisse aus Tabelle 1 mit passendem Fehler $\Delta N = \sqrt{N}$ und Ausgleichsgerade

4.2 Totzeit des Zählrohrs

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben wurde zunächst die Zwei-Quellen-Methode zur Untersuchung der Totzeit verwendet. Hier ergab die Messung

$$\begin{aligned}N_1 &= 96\,041 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}} \\N_{1+2} &= 158\,479 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}} \\N_2 &= 76\,518 \frac{\text{Imp}}{120\text{s}}.\end{aligned}$$

Nun kann wegen der Totzeitkorrektur

$$N_{\text{geschätzt}} = \frac{N_{\text{gemessen}}}{1 - T \cdot N_{\text{gemessen}}} \quad (1)$$

und

$$N_{1+2,\text{geschätzt}} = N_{1,\text{geschätzt}} + N_{2,\text{geschätzt}} \quad (2)$$

die Totzeit über

$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2 \cdot N_1 \cdot N_2} \quad (3)$$

abgeschätzt werden. Somit ergibt sich aus der Zwei-Quellen-Methode eine Totzeit

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

Die zweite in Abschnitt 3.2 beschriebene Methode führt zur Abbildung 5. Hier kann die Zeitdifferenz des ersten zum zweiten Puls sehr grob abgelesen werden. So ergibt sich eine Totzeit von

$$T = (100 \pm 100) \mu\text{s}.$$

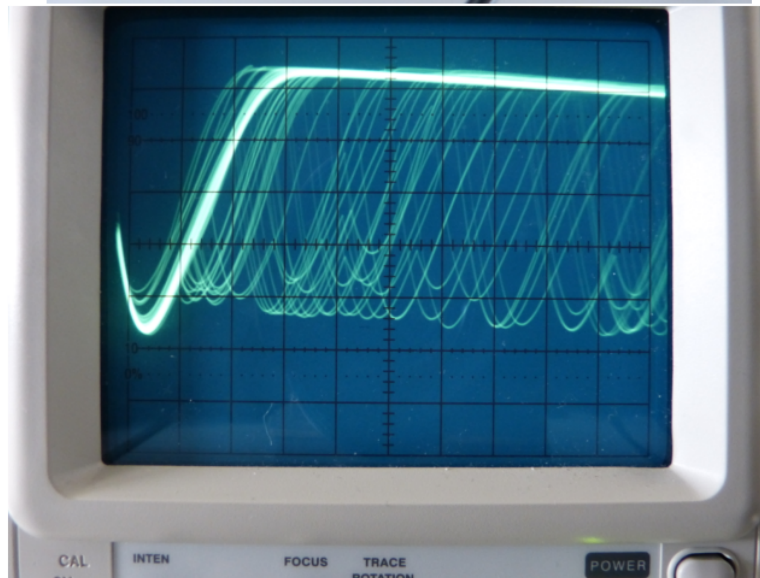


Abbildung 5: Oszillogramm zur Schätzung der Totzeit wobei ein Kästchen horizontal $100\mu\text{s}$ entspricht

4.3 Bestimmung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungen

Tabelle 2: Messergebnisse des Vergleichs der Stromstärke zur Intensität

$N / \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$	$I / \mu\text{A}$	$Z / 10^{10}$
$163,9 \pm 1,7$	$0,30 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,2$
$166,6 \pm 1,7$	$0,40 \pm 0,05$	$1,5 \pm 0,2$
$171,1 \pm 1,7$	$0,70 \pm 0,05$	$2,6 \pm 0,2$
$169,2 \pm 1,7$	$0,80 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,2$
$169,7 \pm 1,7$	$1,00 \pm 0,05$	$3,7 \pm 0,2$
$170,9 \pm 1,7$	$1,30 \pm 0,05$	$4,7 \pm 0,2$
$174,9 \pm 1,7$	$1,40 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,2$
$192,4 \pm 1,8$	$1,80 \pm 0,05$	$5,8 \pm 0,2$

Beim Aufnehmen der Charakteristik wurde zusätzlich noch im Abstand von 50 V die Ionisierungsstromstärke I gemessen. Aus den gemessenen Werten kann die Zahl der freigesetzten Ladungen pro detektiertem Teilchen über

$$Z = \frac{I}{e \cdot N} \quad (4)$$

berechnet werden, wobei $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ die Elementarladung ist. Die so berechneten Z sind in Tabelle 2 aufgelistet und in Abbildung 6 dargestellt.

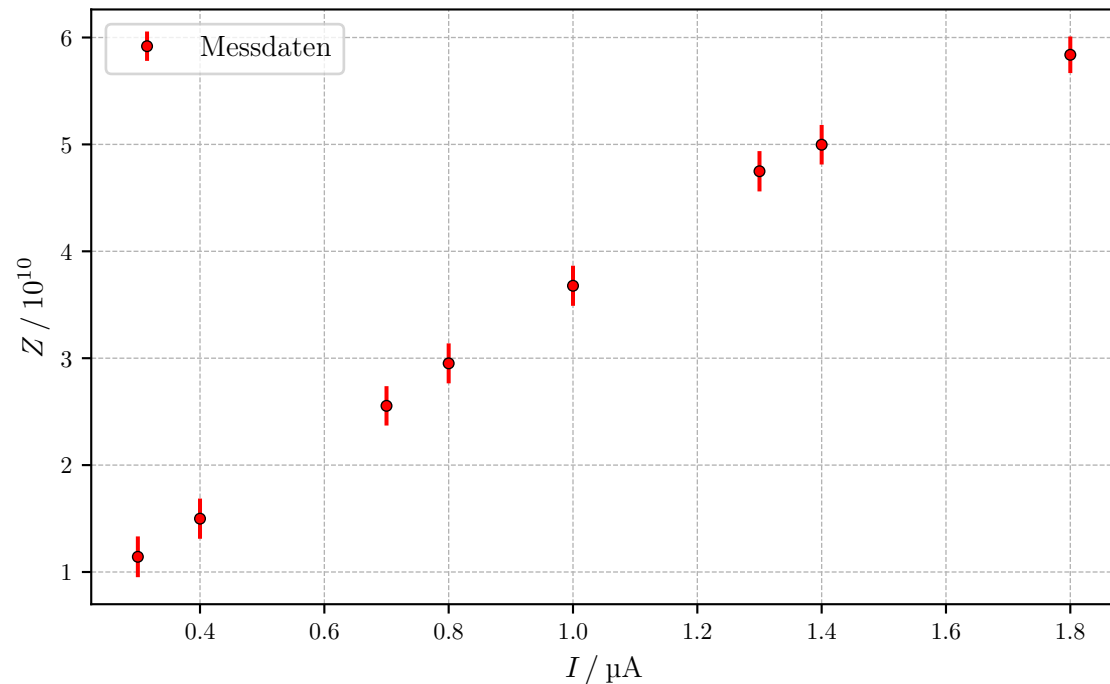


Abbildung 6: Plot der Ergebnisse aus Tabelle 2

5 Diskussion

Die Charakteristik in Abbildung 4 zeigt das erwartete Bild und ergibt einen Plateauanstieg von 1,15 %. Somit scheint das Zählrohr geeignet für eine Messung der Intensität von hochenergetischer Strahlung.

Auch die bestimmte Totzeit $T = 115 \mu\text{s}$ hat die erwartete Größenordnung. Allerdings ist eine Bestimmung dieser Totzeit über die visuelle Analyse des Oszillograms zu ungenau, um eine gute Aussage über die Totzeit machen zu können.

Die in Tabelle 2 aufgelisteten Anzahlen der freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen zeigen, dass ein einfallendes Teilchen tatsächlich sehr viele Townsend-Lawinen auslöst.

Aufgrund großer Schwankungen in der Intensitätsmessung und Strommessung können alle bestimmten Werte nur als Schätzung angesehen werden und die tatsächliche Bestimmung der Kenngrößen des Zählrohrs, würde ein deutlich genaueres Messverfahren verlangen.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 703 Geiger-Müller Zählrohr*. 2020.

- [2] 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/>.