

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	7
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	12
Literatur	12

1 Zielsetzung

Dieser Versuch soll die Wirkungsweise eines Geiger-Müller Zählrohrs zeigen. Zudem werden einige Kenndaten des benutzten Zählers ermittelt. Hierzu zählen die Charakteristik (inkl. Plateauanstieg), die Totzeit und die pro einfallendem Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungen.

2 Theorie

Ein Geiger-Müller Zählrohr wird dazu verwendet ionisierende Strahlung auf die Intensität 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.

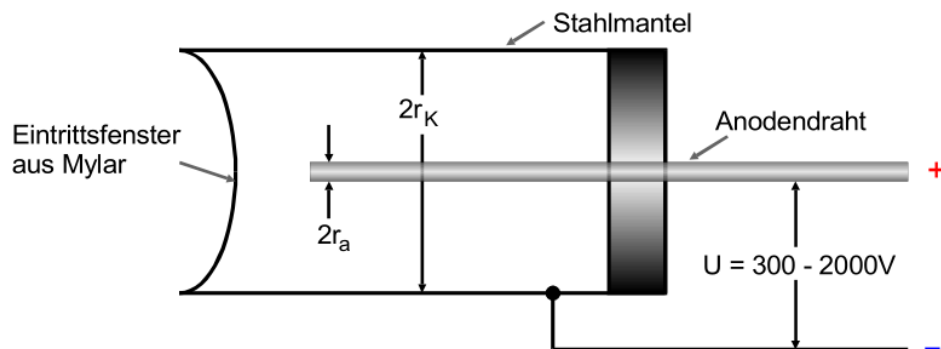


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller Zählrohrs[1]

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)

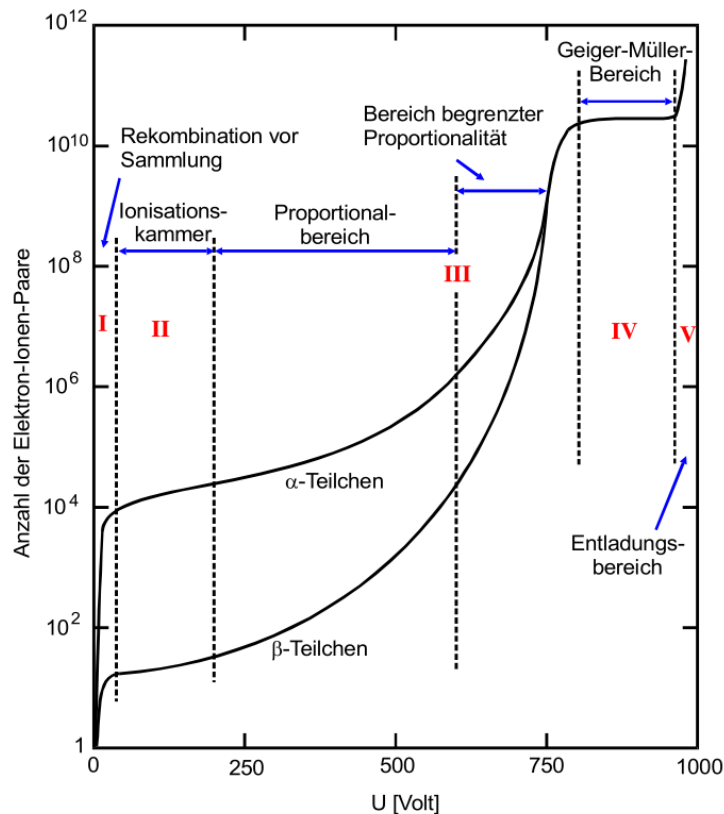


Abbildung 2: Wirkungsweise des Zählrohrs in Abhängigkeit der angelegten Spannung

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 Sekundärelektronen 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, weil es trotz des untergemischten Alkohols noch zu Nachentladungen kommt und je höher die angelegte Spannung ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für auftretende Nachentladungen. 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 die Schaltung aus Abbildung 3 verwendet.

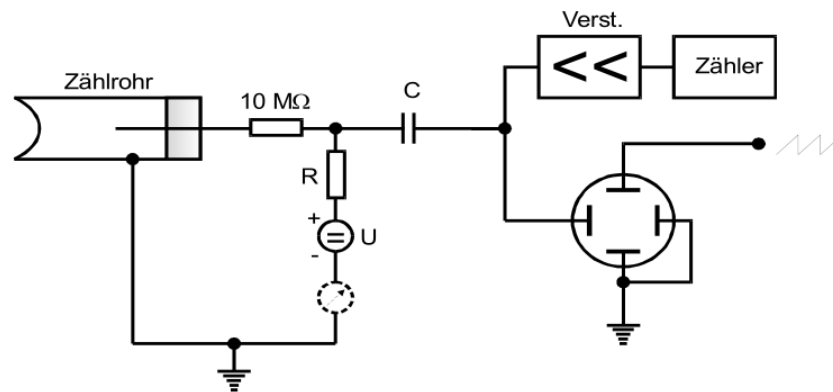


Abbildung 3: Schaltkreis zur Messung der Kenndaten des Geiger-Müller Zählrohrs.[1]

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 platziert, 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. Hier sollte allerdings die Quelle näher an das Zählrohr gerückt werden als bei den Messungen zuvor, damit eine höhere Intensität gemessen wird und diese so hoch ist, dass die Totzeit messbar wird. 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 ± 98	450	$10\,264 \pm 101$	580	$10\,171 \pm 101$
330	9689 ± 98	460	$10\,174 \pm 101$	590	$10\,171 \pm 101$
340	9580 ± 98	470	$10\,035 \pm 100$	600	$10\,253 \pm 101$
350	9837 ± 99	480	$10\,350 \pm 102$	610	$10\,368 \pm 102$
360	9886 ± 99	490	$10\,290 \pm 101$	620	$10\,365 \pm 102$
370	$10\,041 \pm 100$	500	$10\,151 \pm 101$	630	$10\,224 \pm 101$
380	9996 ± 100	510	$10\,110 \pm 101$	640	$10\,338 \pm 102$
390	9943 ± 100	520	$10\,255 \pm 101$	650	$10\,493 \pm 102$
400	9995 ± 100	530	$10\,151 \pm 101$	660	$10\,467 \pm 102$
410	9980 ± 100	540	$10\,351 \pm 102$	670	$10\,640 \pm 103$
420	9986 ± 100	550	$10\,184 \pm 101$	680	$10\,939 \pm 105$
430	9960 ± 100	560	$10\,137 \pm 101$	690	$11\,159 \pm 106$
440	$10\,219 \pm 101$	570	$10\,186 \pm 101$	700	$11\,547 \pm 107$

Die Charakteristik des benutzten Zählrohrs ist in Abbildung 4 dargestellt. Hierbei wurden allerdings die Zählraten in Impulse pro Sekunde aufgetragen, also mit $N_{\text{Plot}} = N_{\text{Tabelle}}/60$, wobei 60 s hier gerade der Messzeit entspricht. 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 absolute Plateauanstieg zu

$$\Delta N_{\text{abs}} = N(U = 640 \text{ V}) - N(U = 370 \text{ V})$$

$$= (5,2 \pm 1,0) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$$

bzw. der relative Plateauanstieg zu

$$\Delta N_{\text{rel}} = \left(\frac{N(U = 640 \text{ V})}{N(U = 370 \text{ V})} - 1 \right) \cdot \frac{100 \text{ V}}{(640 - 370) \text{ V}} \cdot 100$$

$$= (1,15 \pm 0,21) \% / 100 \text{ V}$$

bestimmt werden.

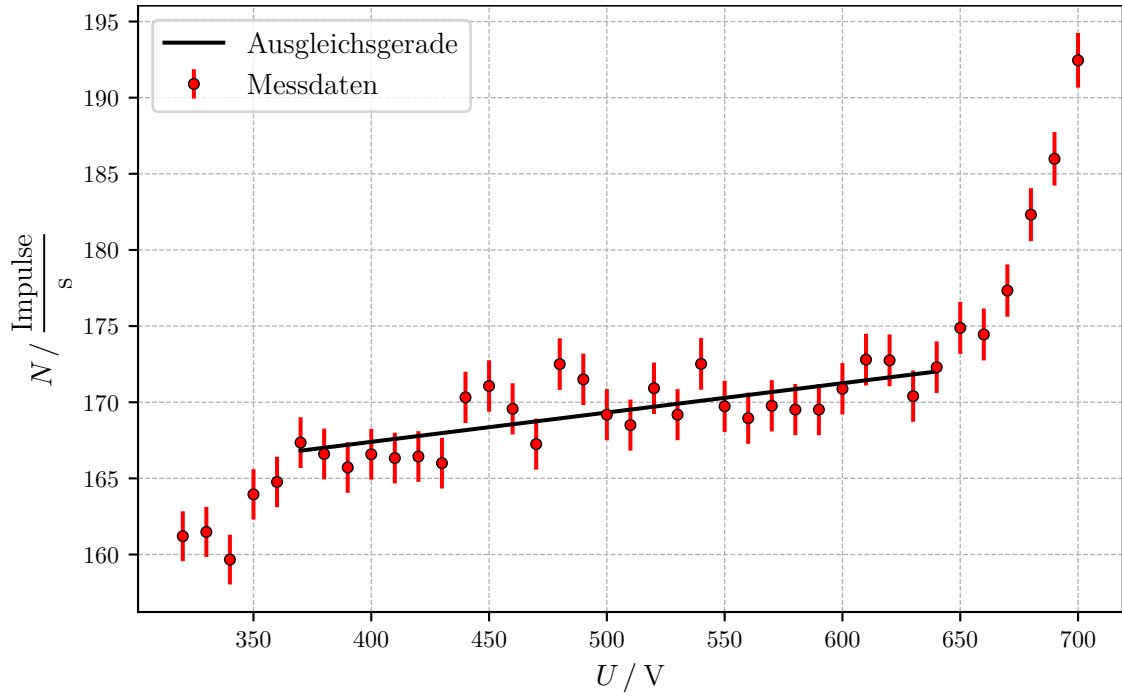


Abbildung 4: Plot der Messergebnisse aus Tabelle 1 mit passendem Fehler $\Delta N = \sqrt{N}$ und Ausgleichsgerade

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

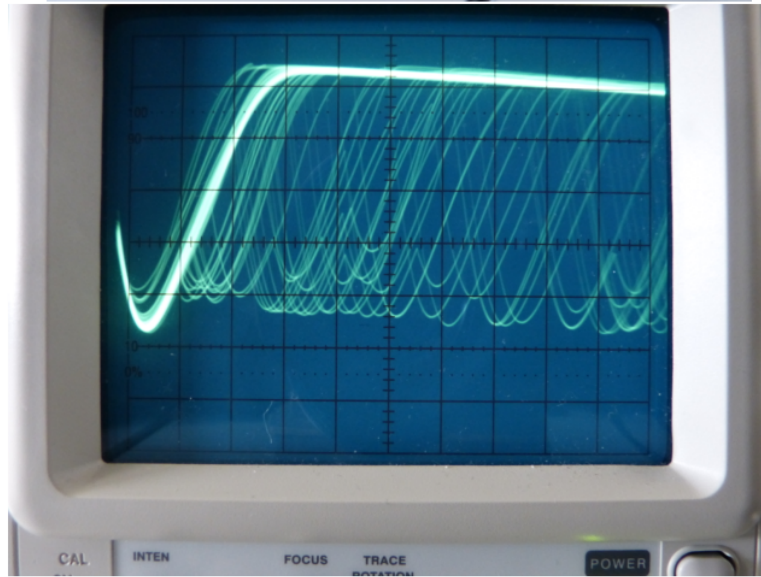


Abbildung 5: Oszillogramm zur Schätzung der Totzeit wobei ein Kästchen horizontal $100 \mu\text{s}$ entspricht

Zeitdifferenz des ersten zum zweiten Puls sehr grob abgelesen werden. So ergibt sich eine Totzeit von

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

4.3 Bestimmung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungen

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.

Tabelle 2: Messergebnisse des Vergleichs der Stromstärke zur Intensität

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

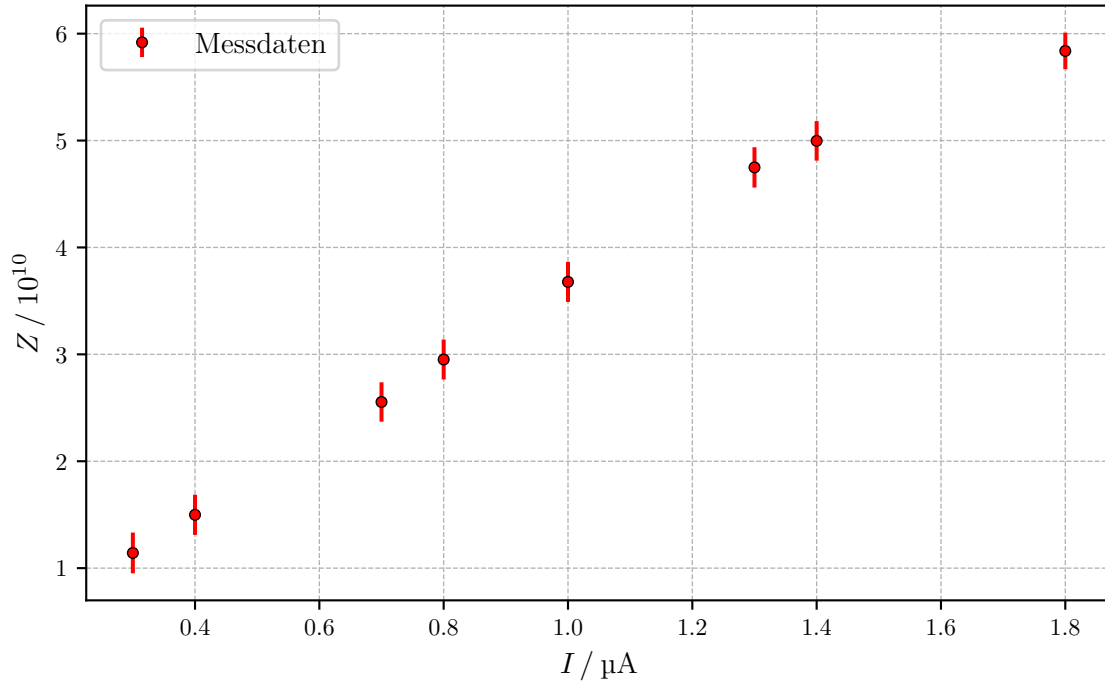


Abbildung 6: Plot der Ergebniss aus Tabelle 2

5 Diskussion

Die Charakteristik in Abbildung 4 zeigt das erwartete Bild und ergibt einen Plateauanstieg von 1,15 %. Der Anstieg ist gering genug um eine effektive Messung der Intensität zu ermöglichen, da die Steigung deutlich geringer zu der Steigung vor oder nach dem Plateau ist. Allerdings sind deutliche statistische Ungenauigkeiten zu sehen und manche Messwerte sind schon bei geringer Spannung so hoch wie die Messpunkte am rechten Rand des Plateaus. Das Zählrohr scheint geeignet für eine Messung der Intensität von hochenergetischer Strahlung zu sein, aber die Präzision zeigt deutliche Defizite.

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. Außerdem scheint der Zusammenhang zwischen Spannung und freigesetzter Ladungen linear steigend zu sein.

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/>.