

703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Christopher Krause
christopher2.krause@tu-dortmund.de

Lucas Witthaus
lucas.witthaus@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.05.2018 Abgabe: 19.06.2018
Korrektur

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Funktionsweise	3
2.2	Totzeit, Erholungszeit und Nachentladung	4
2.3	Charakteristik eines Zählrohrs	5
2.4	Freigesetzte Ladungsmenge pro Teilchen	6
3	Durchführung	7
4	Auswertung	8
4.1	Charakteristik	8
4.2	Bestimmung der Totzeit	10
4.3	Bestimmung der freigesetzten Ladungsmenge pro Teilchen	11
5	Diskussion	13
	Literatur	14

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen diverse Eigenschaften wie die Totzeit und die Nachentladung eines Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht werden.

2 Theorie

2.1 Funktionsweise

Das Geiger-Müller-Zählrohr misst die Intensität ionisierender Strahlung. Es besteht aus einem Kathodenzyylinder und einem axialen Anodendraht.

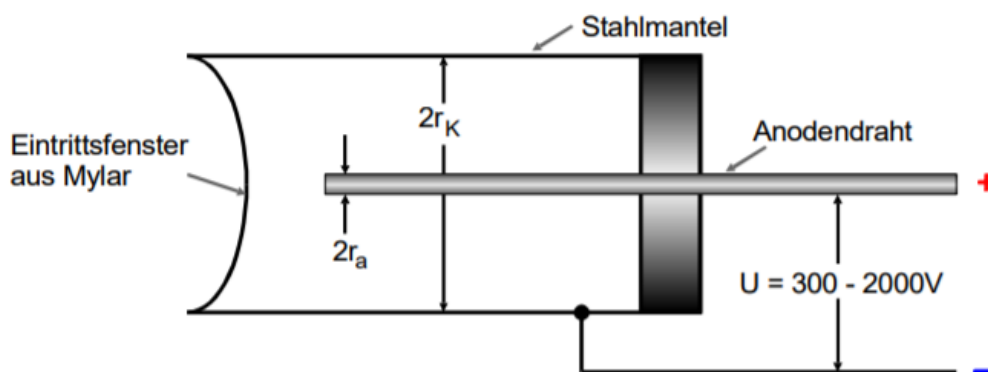


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs [1]

Im Innern ist ein Gasgemisch, welches durch von außen eintretende Teilchen ionisiert werden kann. Ebenfalls wird in Innern ein elektrisches Feld angelegt, damit die durch Ionisation entstehenden Elektronen den Draht erreichen. Ist die angelegte Spannung zu klein, rekombinieren die meisten Elektronen bevor sie den Draht erreichen.

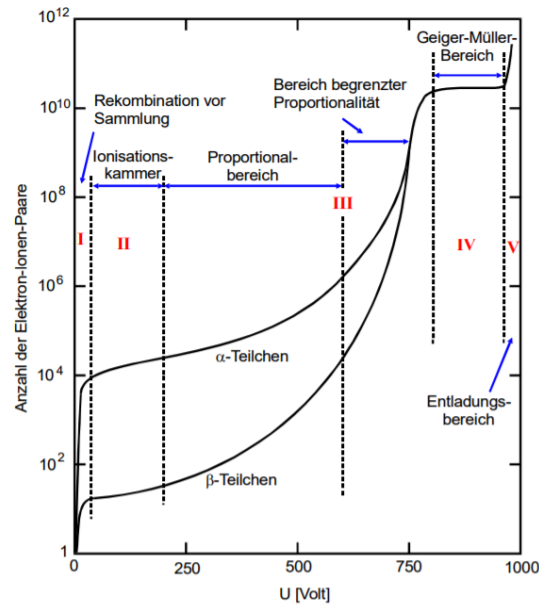


Abbildung 2: Zahl der entstehenden Elektronen in Abhängigkeit von der Spannung.
[1]

In Abbildung 2 ist das Verhältnis zwischen Spannung und entstehenden Elektronen dargestellt. Erst ab Bereich II erreichen so gut wie alle Elektronen den Draht bevor sie rekombiniert werden. Der entstehende Ionisationsstrom ist proportional zur Energie und der Intensität der einfallenden Strahlung.

Bei hinreichend großer Spannung (Bereich III) haben die freigesetzten Elektronen ebenfalls genug Energie um das Argongas zu ionisieren, wodurch die Anzahl an freigesetzten Elektronen stark ansteigt.

Das Zählrohr arbeitet jedoch hauptsächlich in Bereich IV. Bei einer dementsprechenden Spannung bleiben Entladungen nicht auf lokalisierte Elektronenlawinen beschränkt, sondern breiten sich im ganzen Zählrohr aus. Dies liegt an entstehenden UV-Photonen durch die Anregung von Argon-Atomen durch Elektronenstöße. Die Photonen setzen dann weitere Elektronen frei und bilden den Ausgangspunkt für weitere Elektronenlawinen im gesamten Zählrohr. Die daraus folgenden elektrischen Impulse sind groß genug um sie zu messen.

2.2 Totzeit, Erholungszeit und Nachentladung

Die positiven Ladungsträger halten sich, wegen ihrer großen Masse, länger im Zählrohr auf. Sie bauen ein eigenes elektrisches Feld auf, welches dem E-Feld des Geiger-Müller-Zählrohrs entgegenwirkt und somit die Elektronen abbremst. Dadurch können diese nicht mehr ihr um liegendes Gas ionisieren, wodurch ein einfallendes Teilchen in dieser

Zeit nicht registriert werden kann. Diese Zeitspanne T in der kein Teilchen registriert werden kann, wird Totzeit genannt und folgt auf eine Entladung, da dort die positiven Ladungsträger freigesetzt werden. Bei der Zwei-Quellen-Methode (in der Durchführung erläutert) gilt für die Totzeit:

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

Dabei ist N_1 und N_2 die Zählrate für die zwei Strahler und N_{1+2} die Zählrate, wenn beide Strahler eingesetzt werden.

Die Erholungszeit T_E beschreibt den Zeitraum nach der Totzeit, in dem die positive Ladungswolke zu dem Zählrohrmantel abwandert und somit das Feld des Geiger-Müller-Zählrohrs wieder stärker wird. In dieser Zeit haben die Ausgangsimpulse eine geringere Höhe. Der zeitliche Verlauf dieser beiden Zeiten ist in Abbildung 3 dargestellt

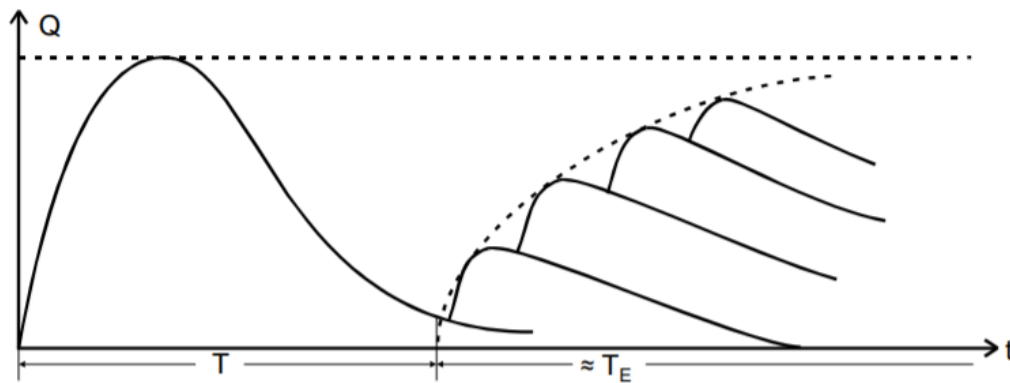


Abbildung 3: Totzeit und Erholungszeit eines Geigerzählers. [1]

Aus dem Zählrohrmantel können weitere Elektronen durch die auftreffenden Ionen ausgelöst werden, diese können eine weitere, zeitlich versetzte Elektronenlawine auslösen. Dadurch wird ein einfallendes Teilchen vorgetäuscht, was zu einer fehlerhaften Messung führt. Dieser Vorgang wird Nachentladung genannt. Um eine Nachentladung zu unterbinden, befindet sich neben dem Argongas zusätzlich Alkoholdampf in dem Geiger-Müller-Zählrohr. Diese Alkoholdämpfe werden von den Ladungsträgern ionisiert und treffen an deren Stelle auf den Zählrohrmantel. Dort werden nun keine Elektronen ausgelöst, sondern lediglich die Alkoholmoleküle zum Schwingen angeregt.

2.3 Charakteristik eines Zählrohrs

Wird für ein Geiger-Müller-Zählrohr die Zahl an registrierten Teilchen bei konstanter Strahlintensität gegen die Spannung aufgetragen, ergibt sich die sogenannte Charakteristik. Diese ist in Abbildung 4 dargestellt.

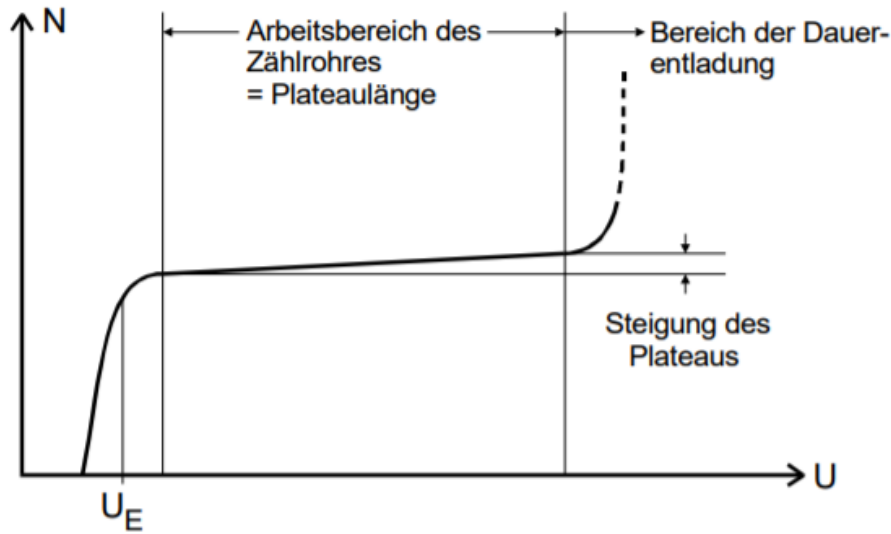


Abbildung 4: Charakteristik eines Zählrohrs [1]

Der Auslösebereich fängt ungefähr bei U_E an. Innerhalb des darauf folgenden Plateaus sollte die Anzahl an gemessenen Teilchen gleich bleiben. In der Realität entstehen jedoch immer wenige Elektronen durch die Nachentladung, da diese nicht vollständig verhindert werden kann.

Bei noch größeren Spannungen löst ein einzelnes Teilchen schon eine Dauerentladung aus, was zu einer schnellen Zerstörung des Zählrohrs führt.

2.4 Freigesetzte Ladungsmenge pro Teilchen

Für den mittleren Zählrohrstrom \bar{I} , welcher in dem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen werden kann gilt:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z \quad (2)$$

Hierbei ist ΔQ die pro Zeitintervall Δt einfallende transportierte Ladung und Z die Anzahl an Teilchen die in diesem Zeitintervall registriert werden.

3 Durchführung

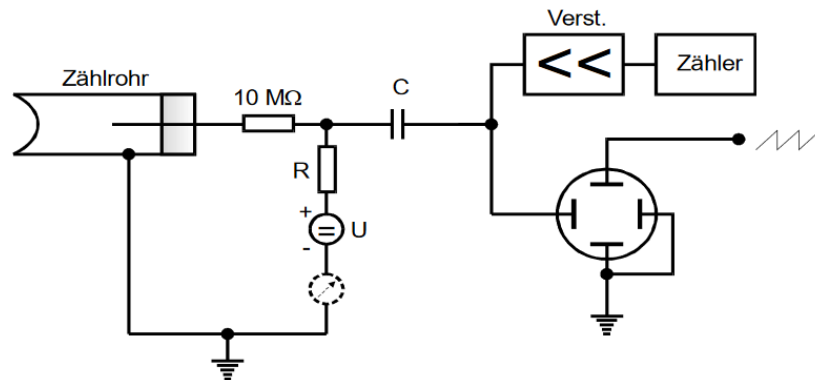


Abbildung 5: Aufbau der Messapparatur [1].

Der Versuch wird mit einer Schaltung gemäß Abbildung 5 durchgeführt. Der durch die Ionisation im Zählrohr entstehende Spannungsimpuls wird dabei über den Kondensator ausgekoppelt und kann schließlich nach Verzögerung im Verstärker mit dem Zählgerät registriert oder alternativ auf dem Bildschirm des Oszilloskops graphisch dargestellt werden.

Zum Aufnehmen der Charakteristik des Zählrohrs wird vor dieses eine β -Strahlungsquelle gesetzt. Bei unterschiedlichen Spannungen zwischen dessen Anode und Kathode (Bereich 300-700 V) wird nun die Zählrate gemessen. Dies geschieht jeweils über einen Zeitraum von 60 Sekunden. Zudem wird bei jeder Spannung auch die entsprechend entstehende Stromstärke am Geiger-Müller-Zählrohr abgelesen.

Anschließend werden die Spannungsimpulse auf dem Oszilloskops dargestellt. Da dabei in etwa ein Bild entsprechend Abbildung 3 entsteht, lassen sich Totzeit und Erholungszeit ungefähr mit dem Auge ablesen.

Zuletzt wird dann, wieder mit dem Zählgerät, die Zwei-Quellen-Messung durchgeführt. Dabei wird als Erstes die Zählrate von lediglich einer Strahlungsquelle über einen Zeitraum von diesmal 120 Sekunden gemessen. Danach wird eine zweite Quelle hinzugefügt und die Messung exakt gleich wiederholt. Schließlich wird die Messung ein drittes mal allein für die als zweites hinzugefügte Quelle durchgeführt, sodass man letztendlich drei unterschiedliche Zählraten gemessen hat (Quelle 1, Quelle 2, Quelle 1 und 2).

4 Auswertung

4.1 Charakteristik

In Tabelle 1 ist die Anzahl an gemessenen Teilchen N in Abhängigkeit von der Spannung U dargestellt. Zusätzlich ist dort auch die gemessene Stromstärke I angegeben. Die Fehler von N betragen dabei \sqrt{N} , da diese nach der Poissonverteilung verteilt sind.

Tabelle 1: Stromstärke und Anzahl an gemessenen Teilchen in Abhängigkeit von der Spannung.

U/V	N	$I/\mu\text{A}$
300	0	0
310	16104 ± 130	0
320	16789 ± 130	0,5
330	16869 ± 130	1,0
340	16774 ± 130	1,0
350	17052 ± 140	1,2
360	16952 ± 140	1,4
370	17137 ± 140	1,6
380	17248 ± 140	1,9
390	17137 ± 140	2,0
400	17237 ± 140	2,1
410	17092 ± 140	2,3
420	17377 ± 140	2,4
430	17272 ± 140	2,6
440	17092 ± 140	2,9
450	17510 ± 140	3,0
460	17521 ± 140	3,0
470	17576 ± 140	3,2
480	17418 ± 140	3,5
490	17401 ± 140	3,7
500	17547 ± 140	4,0
510	17465 ± 140	4,0
520	17400 ± 140	4,2
530	17347 ± 140	4,4
540	17485 ± 140	4,5
550	17601 ± 140	4,7
560	17659 ± 140	5,0
570	17465 ± 140	5,2
580	17750 ± 140	5,4
590	17782 ± 140	5,6
600	17732 ± 140	5,9
610	17823 ± 140	6,0
620	18170 ± 140	6,2
630	18016 ± 140	6,5
640	17992 ± 140	6,7
650	18008 ± 140	7,0
660	18123 ± 140	7,0
670	18441 ± 140	7,2
680	18425 ± 140	7,3
690	18241 ± 140	7,5
700	18646 ± 140	7,7

Aus diesen Messwerten ergibt sich das folgende Diagramm. Der erste Messwert wird dabei nicht aufgetragen, da er für die Analyse des Plateaus irrelevant ist.

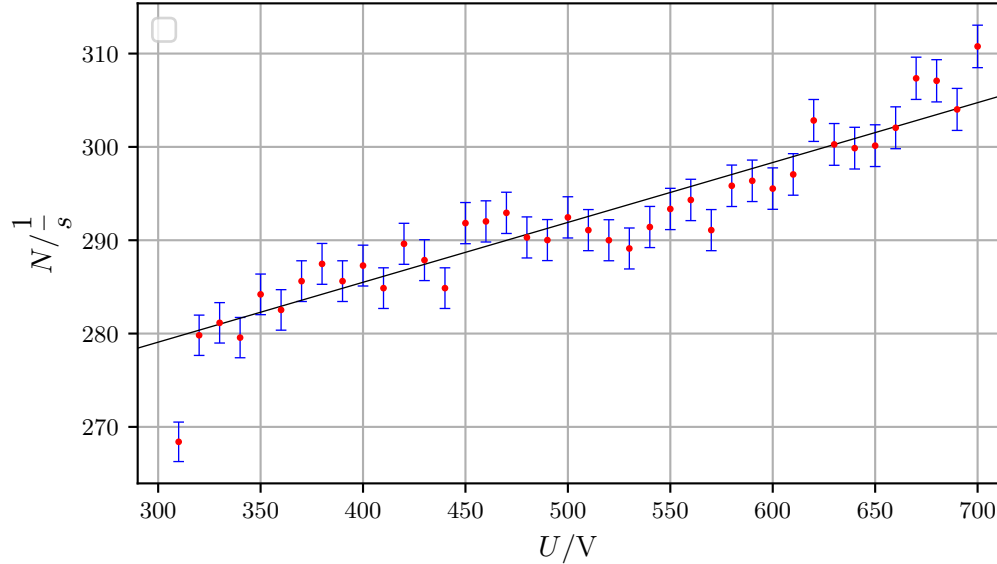


Abbildung 6: Zählraten in Abhängigkeit von der Spannung mit linearer Regression im Plateau-Bereich.

Dabei wird die lineare Regression nur für den Bereich des Plateaus durchgeführt. Die ersten beiden Messwerte werden nicht berücksichtigt. Das Plateau verläuft über einen Bereich von 380 V (700 V - 320 V).

Die Parameter der Geraden $y = ax + b$ werden mit Python berechnet.

$$a = (6,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} \frac{1}{V}$$

$$b = (260 \pm 2) \frac{1}{s}$$

Aus diesen Parametern ergibt sich eine Plateausteigung von:

$$m = (2,3 \pm 0,1) \frac{\%}{100V}$$

4.2 Bestimmung der Totzeit

In Tabelle 2 wird Zählrate N für 2 Beta-Strahler, sowie die Zählrate, wenn beide Strahler gleichzeitig eingesetzt werden. Die Fehler von N betragen hierbei wieder \sqrt{N}

Tabelle 2: Anzahl an gemessenen Teilchen pro Sekunde in Abhängigkeit von dem Strahler

Strahler	N
1. Strahler	311 ± 2
2. Strahler	238 ± 2
Beide Strahler	536 ± 3

Mit Gleichung (1) lässt sich aus diesen Werten die ungefähre Totzeit bestimmen.

$$T_1 \approx (9 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ s} = (90 \pm 30) \mu\text{s}$$

Der Fehler von T wird mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung bestimmt.

$$\sigma_T = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_i \right)^2} = \sqrt{\sigma_a^2 \left(\frac{1}{2ab} - \frac{a+b-c}{2a^2b} \right)^2 + \sigma_b^2 \left(\frac{1}{2ab} - \frac{a+b-c}{2ab^2} \right)^2 + \frac{\sigma_c^2}{4a^2b^2}}$$

Hierbei ist $a = N_1$, $b = N_2$ und $c = N_{1+2}$. Die mit dem Oszilloskop abgeschätzte Totzeit beträgt $T_2 = 50 \mu\text{s}$. Die Abweichung der beiden Totzeiten voneinander beträgt 44,4 %.

Die geschätzte Erholungszeit beträgt 0,8 ms.

4.3 Bestimmung der freigesetzten Ladungsmenge pro Teilchen

Die Ladung ΔQ wird mit Gleichung (2) bestimmt. In Tabelle 3 werden die Werte für Q und die zugehörigen Spannungen dargestellt.

Tabelle 3: Ladung in Abhängigkeit von der Spannung

U/V	$\Delta Q/e_0 \cdot 10^{10}$
300	0 ± 0
310	0 ± 0
320	$1,12 \pm 0,01$
330	$2,22 \pm 0,02$
340	$2,24 \pm 0,02$
350	$2,64 \pm 0,02$
360	$3,10 \pm 0,03$
370	$3,50 \pm 0,03$
380	$4,13 \pm 0,04$
390	$4,38 \pm 0,04$
400	$4,57 \pm 0,04$
410	$5,05 \pm 0,04$
420	$5,18 \pm 0,04$
430	$5,64 \pm 0,05$
440	$6,36 \pm 0,05$
450	$6,42 \pm 0,05$
460	$6,42 \pm 0,05$
470	$6,83 \pm 0,06$
480	$7,54 \pm 0,06$
490	$7,97 \pm 0,06$
500	$8,55 \pm 0,07$
510	$8,59 \pm 0,07$
520	$9,05 \pm 0,07$
530	$9,51 \pm 0,08$
540	$9,65 \pm 0,08$
550	$10,01 \pm 0,08$
560	$10,62 \pm 0,08$
570	$11,17 \pm 0,09$
580	$11,41 \pm 0,09$
590	$11,81 \pm 0,09$
600	$12,48 \pm 0,10$
610	$12,62 \pm 0,10$
620	$12,80 \pm 0,10$
630	$13,53 \pm 0,10$
640	$13,96 \pm 0,11$
650	$14,58 \pm 0,11$
660	$14,48 \pm 0,11$
670	$14,64 \pm 0,11$
680	$14,86 \pm 0,11$
690	$15,42 \pm 0,12$
700	$15,49 \pm 0,12$

Der Fehler von $\Delta Q/e_0$ wird dabei durch mit der Fehlerfortpflanzung berechnet. Die Größe Z hat einen Fehler von \sqrt{Z} . Die Fehlerfortpflanzung sieht dabei wie folgt aus:

$$\sigma_{\Delta Q/e_0} = \sqrt{\frac{\bar{I}^2 \sigma_Z^2}{Z^4} \Delta t^2}$$

Die Ladung wird in Einheiten der Elementarladung e gegen die Spannung aufgetragen.

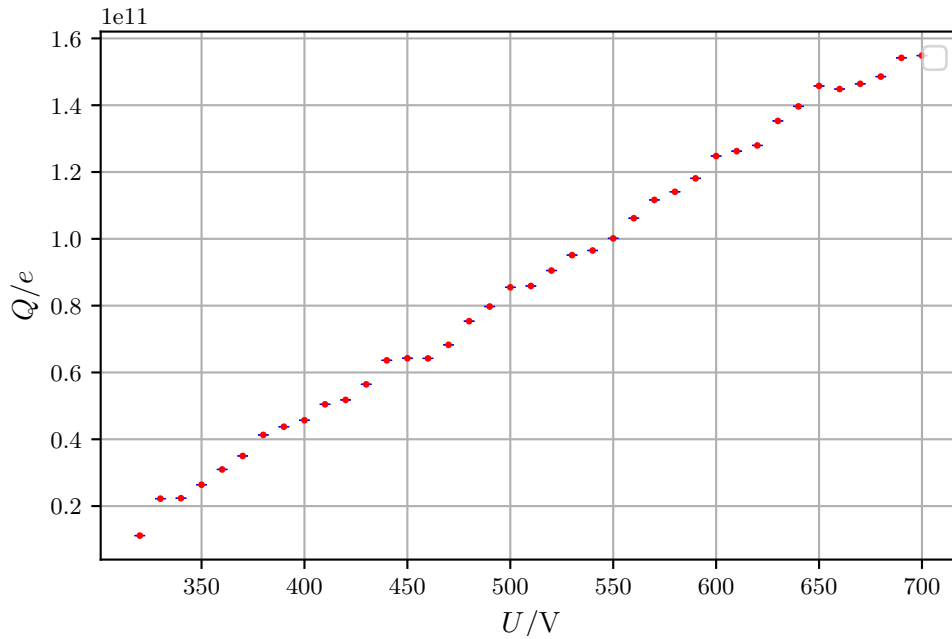


Abbildung 7: Freigesetzte Ladung aufgetragen gegen die Spannung

5 Diskussion

In der gemessenen Charakteristik des Zählrohrs ist deutlich eine Plateau-Steigung zu erkennen. Dies war auch zu erwarten, da es sich natürlich nicht um ein ideales Geiger-Müller-Zählrohr handeln kann. Trotzdem ist das Plateau noch als ein solches erkennbar. Die Steigung ist also nicht unerwartet groß, was darauf schließen lässt, dass die restlichen Versuchsteile bei einer entsprechenden Spannung in dessen Bereich gut durchführbar sind.

Die geschätzte Totzeit weicht von der gemessenen Totzeit deutlich ab. Dies lässt sich durch die qualitative Bestimmung der Totzeit durch das Oszilloskop erklären, da nur eine ungenaue Schätzung möglich ist. Somit ist davon auszugehen, dass die berechnete Totzeit näher an dem tatsächlichen Wert liegt als die abgeschätzte.

Aus Abbildung 7 lässt sich ein proportionaler Zusammenhang zwischen freigesetzter Ladung und Spannung erkennen. Der Größenbereich entspricht dem Bereich IV in Abbildung 2, was zu erwarten ist, da in diesem Bereich das Geiger-Müller-Zählrohr hauptsächlich arbeitet.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung des Versuchs V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2018. 2014.