

V703 Das Geiger-Mueller-Zaehlrohr

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

25. Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Aufbau und prinzipielle Funktionsweise	3
2.2	Totzeit und Nachentladungen	5
2.3	Charakteristik des Zaehlrohrs	6
2.4	Ansprechvermoegen eines Zaehlrohres	6
3	Experimentelle Untersuchungen am Zaehlrohr	7
3.1	Aufnahme der Charakteristik	7
3.2	Sichtbarmachung von Nachentladungen	7
3.3	Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode	8
3.4	Messung der freigesetzten Ladungsmenge pro Teilchen	8
4	Auswertung	9
4.1	Länge des Plateau-Bereichs	9
4.2	Plateau-Steigung	10
4.3	Totzeit	10
4.4	Freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen	11
5	Diskussion	12
5.1	Länge des Plateau-Bereichs	12
5.2	Plateau-Steigung	12
5.3	Totzeit	13
5.4	freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen	13
5.5	Fazit	13
6	Literaturangaben	14
7	Tabellen	16

1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird das Geiger-Mueller-Zaehrohr untersucht, welches ionisierende Strahlung detektieren und messen kann. Es ist in der Lage einen elektrischen Impuls auszugeben, sollte ein α - oder β -Teilchen im Inneren detektiert werden. Dieser Impuls kann dann von einem Impulszaehler gezaehlt werden und die pro Zeit- und Flaecheneinheit einfallenden Teilchen bzw. Quanten messen und dadurch die Intensitaet bestimmen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Aufbau und prinzipielle Funktionsweise

Der prinzipielle Aufbau des Zaehrohrs ist in 1 zu sehen.

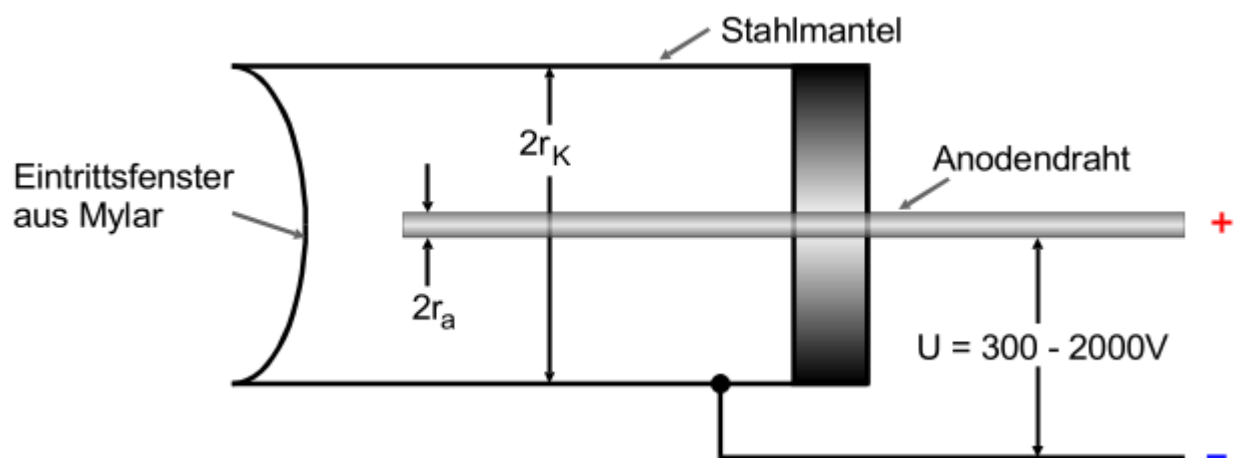


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Mueller-Zaehrohrs mit Endfenster

Das Zaehrohr besteht aus einem Stahlzylinder mit dem Radius r_k , welcher die Kathode darstellt. In seinem Inneren befindet sich ein Draht, welcher die Anode (Radius r_a) darstellt. Der Zylinder ist versiegelt und mit einem Gasgemisch gefuellt. Durch das Anlegen einer ausseren Spannung U (ca. 300 bis 2000V) bildet sich ein elektrisches, radialsymmetrisches Feld aus. Die Feldstaerke betraegt im Abstand r von der Mittelachse $E(r) = \frac{U}{r \ln(\frac{r_k}{r_a})}$. Wenn ein geladenes Teilchen in das Zaehrohr eintritt, wird es in dem E-Feld beschleunigt. Diese Beschleunigung steigt bei Annaeherung an den Draht mit $\frac{1}{r}$ mit ($r_a < r < r_k$). Theoretisch kann diese als beliebig gross werden, wenn nur der Drahtradius r_a hinreichend klein gewaehlt wird.

Sollte nun ein geladenes Teilchen ins Zaehrohr gelangen, bewegt es sich so lange durch den Gasraum bis seine Energie durch Ionisation aufgebraucht ist. Da eine Ionenpaarbildung im Mittel nur etwa 26eV benoetigt, gegenueber einer Teilchenenergie von etwa 100keV, ist die Anzahl der positiven Ionen und Elektronen proportional zur Energie des ins Zaehrohr eingefallenen Teilchens. Die angelegte Spannung hat nun einen grossen Einfluss auf die

nach der Primaerionisation stattfindenden Prozesse. Eine Visualisierung findet sich in dem Diagramm in 2.

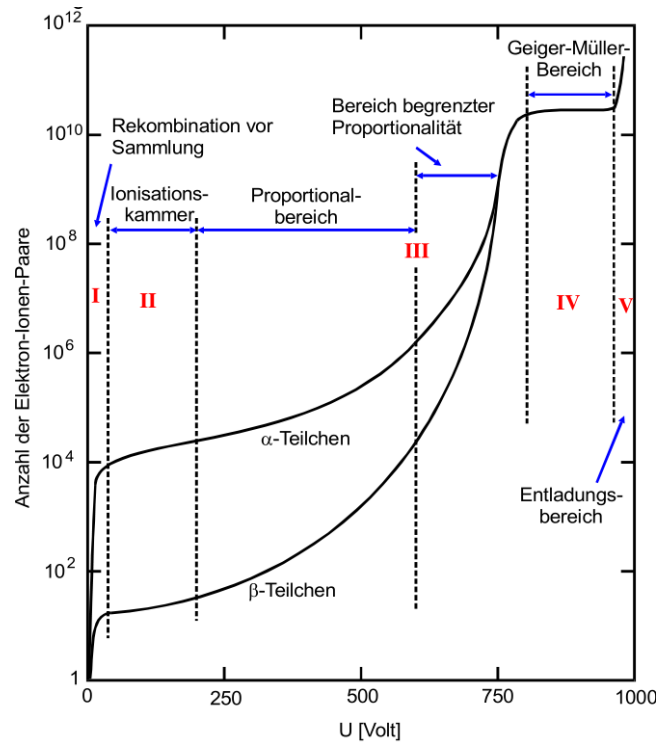


Abbildung 2: Anzahl der erzeugten Ionenpaare gegenueber der angelegten Spannung

Das Diagramm laesst sich dabei in verschiedene Bereiche einteilen. Zu Beobachten ist zum Beispiel der Bereich fuer sehr kleine Spannungen. Dabei werden die Ionen nicht stark genug beschleunigt, um den Draht zu erreichen. Viele rekombinieren sich vorher bereits (Bereich I). Je groesser die Spannung wird, desto groesser wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Ionen sich nicht vor Erreichen des Drahtes rekombinieren. Es erreichen somit quasi alle Elektronen den Draht. In diesem Bereich ist der Ionisationsstrom zwischen Kathodenzyylinder und Anodendraht proportional zur Energie und Intensitaet der einfallenden Teilchen. Dieser Zustand nennt sich Ionisationskammer und ist in Bereich II zu sehen. Zur tadellosen Funktion wird hierbei aber eine grosse Strahlungsintensitaet benoetigt. Bei noch hoerer Spannung wird die Feldstaerke in Drahtnaehe so gross, dass die entstehenden Elektronen zwischen zwei Zusammenstoessen genuegend Energie aufnehmen, um ihrerseits andere Gasteilchen ionisieren zu koennen. Dieser Vorgang nennt sich Stossionisation. Unter ausreichend grosser Spannung koennen die freigesetzten Elektronen selbst andere Teilchen ionisieren. Es bildet sich eine so genannte Townsend-Lawine. Hier ist nun auch die pro Teilchen einfallende Ladung gross genug, um sie als Ladungsimpuls zu messen. Durch die vorhandene Proportionalitaet zwischen der Ladung Q und der Teilchenenergie, laesst sich am Ladungsimpuls ein Mass fuer die Teilchenenergie festmachen. Eine Apparatur, die sich diese Proportionalitaet zu Nutze

macht, nennt sich Proportionalitätszählrohr (Bereich III). Bei wiederum höheren Spannungen U ist die Ladung nicht mehr proportional zur Primäerionisation. Dieser Bereich nennt sich Auslösebereich (Bereich IV). In diesem Bereich arbeitet ein Geiger-Mueller-Zählrohr unter normalen Bedingungen. Statt einer lokalen Elektronenlawine breitet sich die Lawine nicht nur in radialer Richtung, sondern auch entlang des Drahtes aus. Ausgelöst wird dieser Prozess durch die in der primären Lawine entstandenen UV-Photonen, welche durch die Anregung von Argon-Atomen im Füllgas freisetzen. Diese Photonen können sich auf Grund ihrer Ladungsneutralität auch senkrecht zum E-Feld bewegen. Ihre Energie, welche sie durch Zusammenstöße abgeben können, bildet den Grundstein für neue Elektronenlawinen im vollständigen Zählvolumen. Die am Draht gemessene Ladung hängt dann nicht mehr von der ersten Ionisation ab, sondern bloss vom Volumen des benutzten Zählrohrs und der angelegten Spannung. Bei dieser Spannung kann das Zählrohr nur noch als Intensitätsmessgerät benutzt werden. Eine Energiemessung ist nicht mehr möglich. Dafür kann die freigesetzte Ladung eines einfallenden Teilchens nun auf Grund ihrer nun relativ grossen Grösse mit geringem elektronischem Aufwand gut gemessen werden. Der so genannte Auslösebereich beginnt in 2 dort, wo α - und β -Kurve in einander übergehen. Dort ist der Ladungsimpuls abgekoppelt vom Ionisationsvermögen der einfallenden Strahlung.

2.2 Totzeit und Nachentladungen

Die entstehenden positiven Ionen haben eine bedeutend höhere Masse als die Elektronen, weshalb sie deutlich langsamer abwandern. Sie halten sich also länger im Raum zwischen Anode und Kathode. Aus diesem Grund bilden sie eine temporäre, radialsymmetrische, positive Raumladung aus. Diese wird auf Grund der zylindrischen Form des Rohrs auch Ionenschlauch genannt. Dadurch wird kurzzeitig für eine Zeit T die Feldstärke in Drahtnähe soweit herab, dass praktisch keine Stössionisation mehr möglich ist. In dieser Zeit ist das Zählrohr nicht in der Lage eintreffende Teilchen zu detektieren, weshalb man diese Zeit auch Totzeit T nennt. Der Zustand löst sich durch Wandern der positiven Ladung in Richtung des Mantels auf. Die normale Feldstärke stellt sich wieder her nachdem die Ionen vollständig neutralisiert wurden. Diese Zeit der Wiederherstellung des Normalzustandes nennt sich treffenderweise Erholungszeit T_E , welche sich an die Totzeit anschliesst, bis das Zählrohr wieder unter Normalbedingungen detektieren kann. Auf der Manteloberfläche können die auftreffenden Ionen, durch ihre Neutralisationsenergie, Elektronen freisetzen. Diese Sekundärelektronen werden zum Messdraht hin beschleunigt durch das E-Feld und sorgen auf diesem dann für ein erneutes Auslösen des Messgeräts. Dadurch kann durch ein einzelnes eintreffendes Teilchen mehrere Entladungen am Zählrohrdraht hervorgerufen werden. Diese zusätzlichen Entladungen nennen sich Nachentladungen. Der zeitliche Abstand der Nachentladungen entspricht der Laufzeit T_L der Elektronen von der Zylinderwand zum Draht. Diese Nachentladungen sind sehr unerwünscht, da sie das Vorhandensein von ionisierender Strahlung vortäuschen. Sie sollten also so weit wie möglich unterbunden werden, was durch eine kleine Beimengung von Alkoholdämpfen zum Füllgas gut gelingt.

2.3 Charakteristik des Zaehlrohrs

Die Charakteristik eines Geiger-Mueller-Zaehlrrohr wird gegeben durch eine Auftragung der eintreffenden Teilchenzahl N gegen die Betriebsspannung U . In etwa sieht eine Charakteristik so aus:

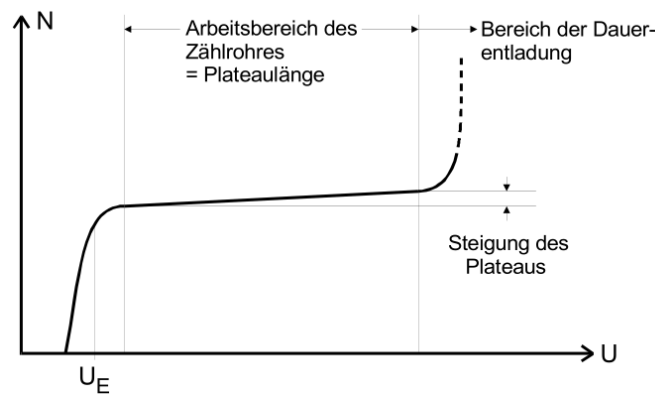


Abbildung 3: Charakteristik eines Geiger-Mueller-Zaehlrrohres bei konstanter Strahlungsintensitaet

Der Ausloesebereich beginnt hierbei etwa bei der Spannung U_E . Der linear steigende, abgeflachte Teil nennt sich Plateau. Die Steigung in diesem Bereich der Kurve ist bestenfalls moeglichst klein. Idealerweise waere diese also null, was aber nicht erreichbar ist. Diese Unmoeglichkeit ruegt von vereinzelt Nachentladungen her, welche trotz des Alkoholdampfes vorkommen. Am Ende des Plateaus nimmt die Zahl der Nachentladungen extrem zu, was den starken Anstieg erklart. Je hoeher die Qualitaet des Zaehlrrohres, desto laenger und flacher ist das Plateau.

Nach Ende des Plateaus geht das Zaehlrrohr in den Bereich der selbststaendigen Gasentladung ueber. Dort zuendet ein einzelnes ionisierendes Teilchen eine Dauerentladung. Dies ist sehr schaedlich fuer das Zaehlrrohr auf Grund der hohen Stromdichten und wird das Messgeraet schnell zerstoen, sollte also auf jeden Fall vermieden werden.

2.4 Ansprechvermoegen eines Zaehlrrohres

Das Ansprechvermoegen eines Zaehlrrohres ist ein Mass dafuer wie wahrscheinlich es ist, dass ein einfallendes Teilchen auch tatsaechlich detektiert wird. Fuer α - und β -Teilchen ist das Ansprechvermoegen nahezu 100%. Allerdings muss dazu natuerlich gewaehrleistet sein, dass die Teilchen auch tatsaechlich ins Innere des Zaehlrrohres gelangen. Da diese Teilchen sehr wahrscheinlich mit Materie wechselwirken, werden sie im Metallmantel des Zaehlrrohres absorbiert. Aus diesem Grund gibt es Endfensterzaehlrrohre, welche am Ende des Volumens von einer duennen Mylar-Folie verschlossen werden. Diese kann selbst von α -Teilchen durchdrungen werden. Ein solches Endfensterzaehlrrohr ist in 1 dargestellt. Bei Photonen hingegen liegt das Ansprechvermoegen bei geringen Werten von etwa 1%. Das folgt aus der geringen Wechselwirkungswahrscheinlichkeit von Photonen mit hoher

Energie mit Materie. Die Nutzung eines Geiger-Mueller-Zählrohrs zur Detektion von γ -Strahlung ist also nur bei hohen Intensitäten dieser möglich und sinnvoll.

3 Experimentelle Untersuchungen am Zählrohr

Für die gemachten Messungen wurde die im folgende skizzierte Messapparatur verwendet.

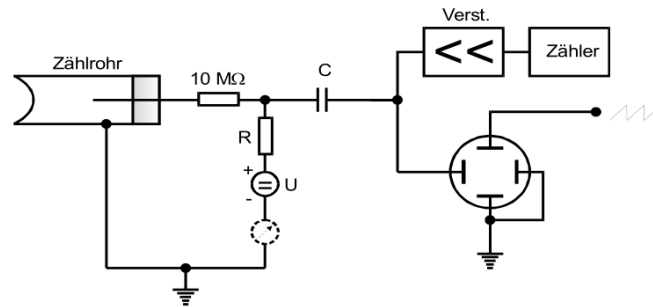


Abbildung 4: Aufbau der Messapparatur

Über den Widerstand R fließt die am Zählrohr gesammelte Ladung Q ab. Ein Spannungsimpuls wird erzeugt. Nach Auskoppelung im Kondensator C wird dieser verstärkt und im Zählgerät gezählt. Auf dem Schirm eines Oszillographen kann dieser Impuls dann sichtbar gemacht werden.

3.1 Aufnahme der Charakteristik

Ein β -Strahler wird vor das Einlassfenster des Messgeräts gestellt. Dabei wird die Zählrate gemessen und in Abhängigkeit von der Betriebsspannung gesetzt. Zu Beachten ist dabei, dass die Zählrate 100 pro Sekunde nicht überschreitet. Hierbei sollte den Möglichkeiten entsprechend sehr genau gemessen werden, da die Plateauanstiegung sowieso schon sehr gering ist. Desweiteren darf beim verwendeten Zählrohr die Betriebsspannung nicht über 700 Volt hinausgehen. Andernfalls gerät das Zählrohr in den Bereich der bereits genannten selbstständigen Gasentladung. Bei Missachtung folgt schnell die Zerstörung des Messgerätes.

3.2 Sichtbarmachung von Nachentladungen

Es sollen die Nachentladungen mit einem Oszilloskop qualitativ sichtbar gemacht werden. Dazu wird die Intensität der Strahlenquelle soweit gesenkt, dass auf dem Bildschirm des Oszilloskops während der Laufzeit des Strahls von links nach rechts kein weiterer Impuls zu sehen ist. Die Zählrohrspannung muss so gering sein, dass die Wahrscheinlichkeit für Nachentladungen sehr gering ist. Hier werden 350V verwendet. Nun wird die Zählrohrspannung schrittweise bis auf 700V erhöht. Der zeitliche Abstand zwischen der Primär- und Nachentladung wird gemessen.

3.3 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Die Totzeit T sorgt fuer eine registrierte Impulsrate N_r , welche immer kleiner ist als die tatsaechliche Anzahl der eingedrungenen Teilchen N_W . Wenn N_r Impulse pro Zeiteinheit registriert werden, so ist das Geraet fuer den Bruchteil TN_r nicht in der Lage Teilchen zu registrieren, weshalb es nur im Bereich $1 - TN_r$ messbereit ist. Die wahre Impulsrate ist also:

$$N_W = \frac{\text{Impulsrate}}{\text{Messzeit}} = \frac{N_r t}{(1 - TN_r)t} = \frac{N_r}{1 - TN_r} \quad (1)$$

Nun kann mit dieser Formel die Totzeit bestimmt werden. Dazu werden zwei Radioaktive Praeparate benoetigt. Es wird dazu zuerst die Zaehlrates N_1 des Messgeraets mit dem ersten Praeparat gemessen. Danach wird ein zweites Praeparat hinzugenommen ohne die Position des ersten Praeparates zu veraendern. Die Zaehlrates N_{1+2} wird gemessen. Daraufhin wird das erste Praeparat entfernt und die Messrate N_2 gemessen.

Ohne Totzeit waere

$$N_{1+2} = N_1 + N_2$$

Stattdessen laesst sich aber beobachten, dass $N_{1+2} < N_1 + N_2$ ist. Gemaess 1 gilt fuer die von den Praeparaten emittierten und ins Zaehlrohr eingedrungenen Teilchen

$$\begin{aligned} N_{W_1} &= \frac{N_1}{1 - TN_1} \\ N_{W_2} &= \frac{N_2}{1 - TN_2} \\ N_{W_{1+2}} &= \frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} \end{aligned}$$

Ausserdem ist $N_{W_{1+2}} = N_{W_1} + N_{W_2}$. Daraus erhaelt man dann

$$\frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} = \frac{N_1}{1 - TN_1} + \frac{N_{1+2}}{1 - TN_{1+2}} \quad (2)$$

Da die Groessen N_1 , N_2 und N_{1+2} bekannt sind kann aus 2 die Totzeit T bestimmt werden. T laesst sich naeherungsweise schreiben als

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (3)$$

3.4 Messung der freigesetzten Ladungsmenge pro Teilchen

Wie in 4 kann mit einem empfindlichen Strommessgeraet der mittlere Strom des Zaehlrohrs gemessen werden.

$$\bar{I} := \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{U(t)}{R} dt \quad (\tau \gg T)$$

Daraus lässt sich nun die pro eindringendes Teilchen freigesetzte Ladungsmenge bei bekannter Impulszahl pro Zeiteinheit berechnen. Es gilt der Zusammenhang

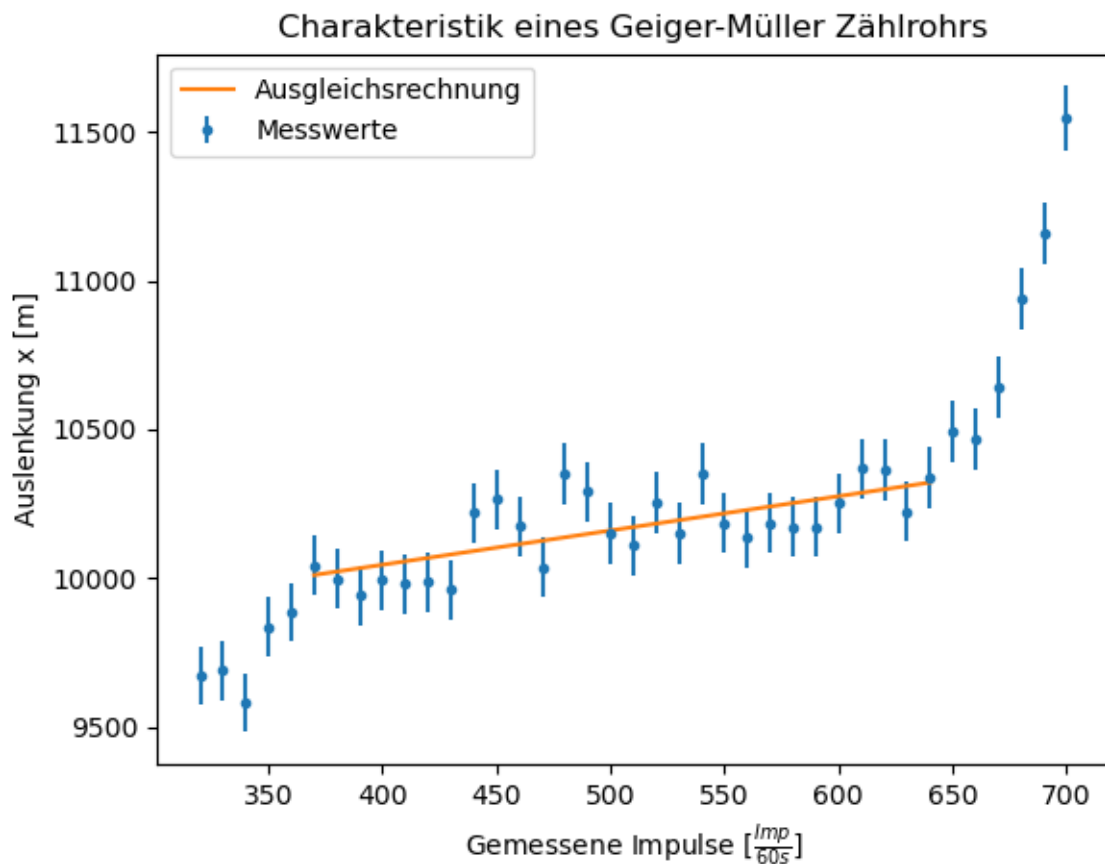
$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z$$

Dabei ist ΔQ die pro Zeitintervall Δt transportierte Ladungsmenge, wenn Z die Anzahl der registrierten Teilchen ist.

4 Auswertung

Zuerst werden die Werte aus 2 in einem Diagramm dargestellt. Dazu werden auch noch Fehlerbalken dargestellt, welche die Unsicherheit der Messwerte von \sqrt{N} anzeigen.

Es sieht folgendermaßen aus:



4.1 Länge des Plateau-Bereichs

In diesem Diagramm ist ein Plateau zu erkennen. Es erstreckt sich von einer Spannung von 370V bis zu einer Spannung von 640V. Die Länge dieses Plateau-Bereichs beträgt also 270V.

4.2 Plateau-Steigung

Für die Plateau-Steigung wurde eine Ausgleichsrechnung mit der Python-Funktion `"curve_fit"` aus `"scipy.optimize"`, im Plateau-Bereich, durchgeführt. Dafür wurde eine Funktion der folgenden Form verwendet:

$$y = mx + n$$

Für die Parameter m und n ergibt sich:

Parameter	Wert	± Unsicherheit
m	1.151888	± 0.223673
n	9584.296388	± 114.390865

Dabei ist zu sagen, dass der Parameter m den Wert $\frac{1}{60V_s}$ und der Parameter n die Einheit $\frac{1}{60s}$ hat.

Die geforderte Plateau-Steigung ergibt sich durch folgende Gleichung:

$$PS = \frac{m}{60} \quad \text{Umrechnung auf } 1/V$$
$$PS = \frac{m}{60} * 100\%$$

Die Plateau-Steigung in $\frac{\%}{100V}$ hat den Wert:

$$(1.9198 \pm 0.3728) \frac{\%}{100V}$$

4.3 Totzeit

Die Totzeit des Zählrohrs lässt sich mit der Zwei-Quellen-Methode durch folgende Formel bestimmen:

$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}$$

Mit den Werten:

$$N_1 = (96041 \pm 309.9048) \frac{1}{120s} = (800.3 \pm 2.6) \frac{1}{s}$$
$$N_{1+2} = (158479 \pm 398.0942) \frac{1}{120s} = (1320.7 \pm 3.3) \frac{1}{s}$$
$$N_2 = (76518 \pm 276.6189) \frac{1}{120s} = (637.6 \pm 2.3) \frac{1}{s}$$

ergibt sich die Totzeit zu $(115 \pm 4)\mu s$.

4.4 Freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen

Die Zahl der freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen lässt sich mit der folgenden Formel berechnen:

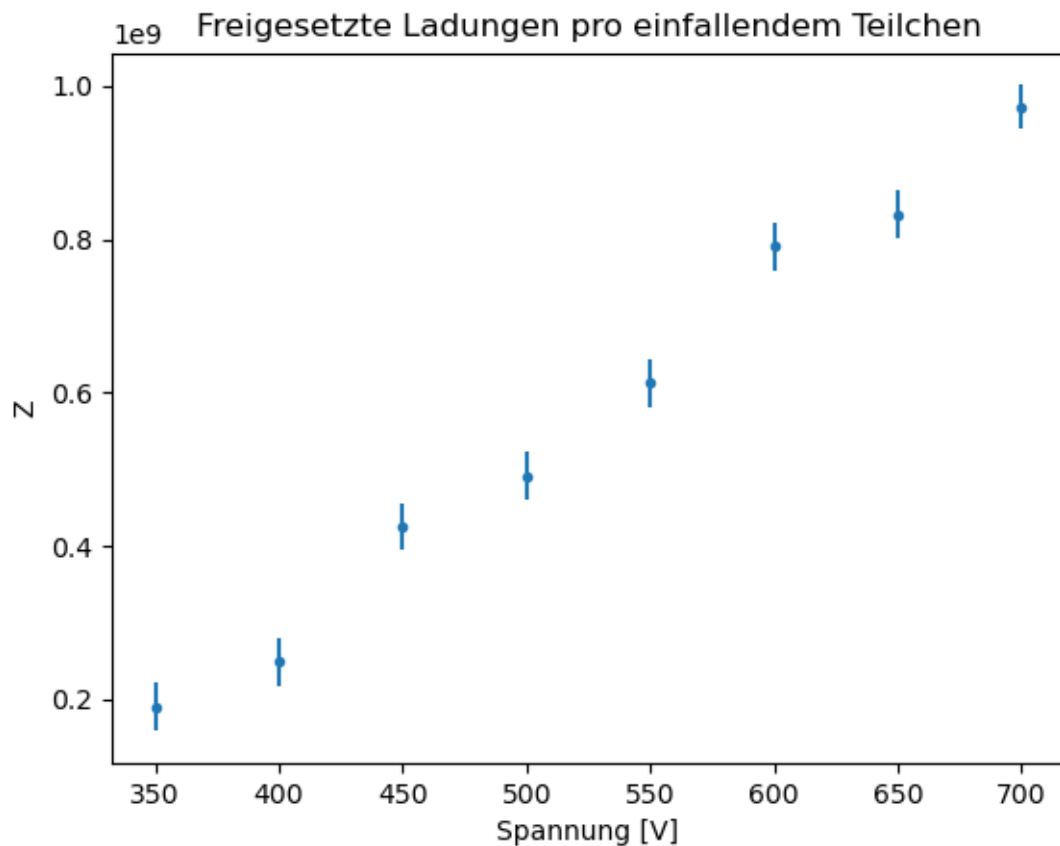
$$Z = \frac{I}{e_0 N}$$

Bei der Rechnung mit den Werten aus 3 ergeben sich die Folgenden Werte für Z:

U [V]	Z	$\pm \Delta Z$
350	190347943.7164	± 31782654.8798
400	249785255.6062	± 31322961.5228
450	425668000.0119	± 30693787.9059
500	491893139.5496	± 31128568.2739
550	612874025.3791	± 31239706.1572
600	791374407.1782	± 31424862.6028
650	832756380.8486	± 30832368.7565
700	972955428.5987	± 28502903.5459

Tabelle 1: Freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen

Diese Werte werden nun zur Veranschaulichung graphisch dargestellt. Dafür werden sie gegen die Spannung in einem Diagramm aufgetragen. Außerdem werden die Unsicherheiten der einzelnen Werte in dem Diagramm als Fehlerbalken dargestellt. Das entstehende Diagramm ist das Folgende:



5 Diskussion

5.1 Länge des Plateau-Bereichs

Zur Länge des Plateau-Bereichs ist lediglich zu sagen, dass ein längerer Plateau-Bereich immer besser wäre. Das liegt daran, dass bei Spannungen, die außerhalb des Plateau-Bereichs liegen, entweder nicht richtig funktioniert oder zerstört wird. Ein Längerer Plateau-Bereich würde also einen größeren Arbeitsbereich des Zählrohrs liefern. Aufgrund fehlender Vergleichswerte kann an dieser Stelle jedoch keine Aussage darüber getroffen werden, ob der gemessene Plateau-Bereich nun lang oder kurz ist.

5.2 Plateau-Steigung

Ideal wäre hier wenn die Plateau-Steigung = 0 wäre. Dies ist aber, wie in der Theorie bereits erwähnt, praktisch nicht umsetzbar, da sich Nachentladungen nie vollständig vermeiden lassen und so immer eine gewisse Steigung entsteht. Auch sorgen hier gewissen Messfehler eventuell für eine stärkere Steigung. Die Steigung ist mit 2% pro 100 Volt

aber im realistischen Bereich. Hier bleibt allerdings nur die Aussage, dass eine Steigung näher an 0 besser wäre, denn es fehlt ein Vergleichswert um eine genauere Bewertung vorzunehmen.

5.3 Totzeit

Bei der Totzeit gilt: Je kleiner diese ist, desto besser. Die gemessene Totzeit liegt im Bereich von $100\mu s$ und weist einen sehr geringen Fehler von $>4\%$ auf. Da die Totzeit sehr kurz und der Fehler gering ist, scheint die Bestimmung der Totzeit ein Erfolg gewesen zu sein, jedoch fehlt für eine genauere Bewertung auch hier der Vergleichswert.

5.4 freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen

Die freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen liefern sehr große Werte. Dies ist zu erklären mit dem Arbeitsbereich des Geiger-Müller Zählrohrs. Dieser liegt nämlich bei einer Anzahl von Elektronen-Paaren in der Größenordnung von 10 hoch 10 . Damit sind die berechneten Werte im Bereich von 10 hoch 9 bis 10 hoch 10 durchaus im realistischen Bereich.

5.5 Fazit

Die Messunsicherheiten bleiben in einem akzeptablen Bereich und damit sind auch die entstehenden Fehler in Rechnungen eher gering. Dies liegt wahrscheinlich auch an einer Überlegung, die vor dem Experiment im Bezug auf den Aufbau gemacht wurde. So wurde die verwendete TI-Quelle so plazierte, dass bei einer mittleren Zählrohrspannung eine Zählrate von 100 Impulsen nicht überschritten wurde. Dies ist beim ablesen hilfreich, da nach 60 Sekunden ein Wert abgelesen werden muss und es wird sehr schwierig wenn dieser Wert sich sehr schnell ändert. Eine weitere Überlegung war immer erst nach 60 Sekunden abzulesen. Die Anzahl der gemessenen Impulse liegt dann im Bereich von 10000 Impulsen und dadurch fallen Ungenauigkeiten beim Ablesen deutlich weniger ins Gewicht.

Die Durchführung des Experiments liefert realistische Werte, mit Abweichungen, die im Rahmen von den zu erwartenden Messunsicherheiten akzeptabel sind. Die zu betrachtenden Phänomene wie die Plateau-Steigung sind deutlich erkennbar und daher ist zu sagen, dass das Ziel des Experiments erfüllt wurde.

6 Literaturangaben

Anleitung V703:

https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1502369/mod_folder/content/0/V703.pdf?forcedownload=1

DantenHinweiseGeigerMueller:

https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1502369/mod_folder/content/0/DatenHinweiseGeigerMueller.pdf?forcedownload=1

7 Tabellen

Spannung [V]	Impulse [$Imp/60s$]
320	9672
330	9689
340	9580
350	9837
360	9886
370	10041
380	9996
390	9943
400	9995
410	9980
420	9986
430	9960
440	10219
450	10264
460	10174
470	10035
480	10350
490	10290
500	10151
510	10110
520	10255
530	10151
540	10351
550	10184
560	10137
570	10186
580	10171
590	10171
600	10253
610	10368
620	10365
630	10224
640	10338
650	10493
660	10467
670	10640
680	10939
690	11159
700	11547

Tabelle 2: Gemessene Impulse bei verschiedenen Spannungen

Stromstärke [A]	Impulse [<i>Imp</i> /60s]
0.3	9837
0.4	9995
0.7	10264
0.8	10151
1.0	10184
1.3	10253
1.4	10493
1.8	11547

Tabelle 3: Freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen Messwerte