

V703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Evelyn Romanjuk
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 15.05.18

Abgabe: 22.05.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Aufbau und Durchführung	7
4 Auswertung	9
4.1 Bestimmung der Steigung des Plateau-Bereichs	9
4.2 Bestimmung der Totzeit	10
4.2.1 Mit dem Oszilloskop	10
4.2.2 Mit der Zwei-Quellen-Methode	12
4.3 Bestimmung der Ladung pro einfallendem Teilchen	12
5 Diskussion	15
Literatur	15

1 Zielsetzung

Der folgende Versuch beschäftigt sich mit der Funktionsweise und den Eigenschaften eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Genauer werden die Charakteristik des Zählrohrs, die Nachentladungen und die freigesetzte Ladungsmenge untersucht, sowie die Totzeit gemessen.

2 Theorie

Ein Geiger-Müller-Zählrohr dient zur Messung der Intensität ionisierender Strahlung. Dies geschieht durch Absorption eines α - oder β -Teilchens, bzw. eines γ - oder Röntgenquants, welche einen elektrischen Impuls auslösen können, der gemessen werden kann.

Zum Aufbau des Zählrohrs(s. Abbildung 1) gehört ein mit einem Gasgemisch gefüllter Kathodenzylinder mit dem Radius r_k , in dem sich ein Draht mit dem Radius r_a befindet. Wird eine Spannung U angelegt, so dient der Draht als Anode und es entsteht ein radialsymmetrisches elektrisches Feld, dessen Feldstärke von U , den Radien, sowie dem Abstand r von der Zählrohrachse abhängt:

$$E(r) = \frac{U}{r \cdot \ln\left(\frac{r_k}{r_a}\right)}.$$

Die Beschleunigung eines geladenen Teilchens in diesem E-Feld ist umso größer, je dünner der Anodendraht ist.

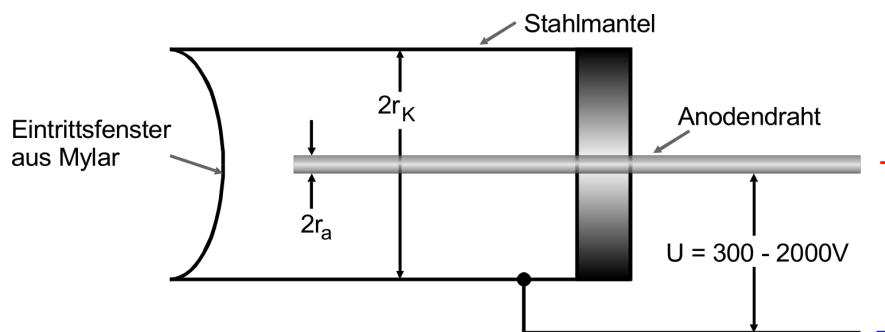


Abbildung 1: Aufbau eines Endfenster-Zählrohrs, [1, S. 1].

Wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohr gelangt, so kommt es zu Ionisationsakten mit dem Gas, wodurch das geladene Teilchen seine kinetische Energie verliert. Durch die Ionisation entstehen Elektronen und positive Ionen, wobei deren Anzahl proportional zu der Energie ist, die das geladene Teilchen besitzt. Die Elektronen bewegen sich durch das elektrische Feld zur Anode hin, wobei die angelegte Spannung berücksichtigt werden muss. Es wird die Abbildung 2 in Betracht genommen, da das Verhalten des Zählrohrs von der angelegten Spannung abhängt:

- Bei geringen Spannungen erreichen nicht alle erzeugten Elektronen den Draht, da sich ein Teil von ihnen wieder rekombiniert und damit nicht zu den zu messenden Impulsen beiträgt.
- Wird die Spannung erhöht, so sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Elektronen rekombinieren. Mit höheren Spannungen kommen also alle Elektronen an der Anode an. Da die Anzahl der entstehenden Elektronen proportional zur Energie und der Intensität der Strahlung ist, ist auch der Ionisationsstrom proportional zu diesen Größen. In diesem Fall wird das Zählrohr Ionisationskammer genannt, die aufgrund der geringen Ströme nur bei hoher Strahlungsintensität verwendet werden kann.
- Bei noch höheren Spannungen kommt es zur sogenannten Townsend-Lawine. Nehmen die Elektronen durch die Stöße mit den Gas-Atomen Energie auf, so sind sie in der Lage ebenfalls ionisieren zu können. Damit nimmt die Anzahl der Elektronen kaskadenförmig zu. Die auf das Zählrohr abgegebene Ladung Q ist groß genug um gemessen werden zu können. Durch ihre Proportionalität zur Energie, die von den geladenen Teilchen stammt, kann man in diesem Spannungsbereich auch die Energie messen. In diesem Fall wird das Messinstrument Proportionalitätszählrohr genannt.
- Bei Spannungen über dem Proportionalitätsbereich beginnt der Auslösebereich, welcher auch der Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs ist. Hier kommt es bei der Elektronenkaskade zur Entstehung von UV-Photonen, die sich auch senkrecht zum E-Feld bewegen können und imstande sind im gesamten Zählrohr weitere Elektronenlawinen auszulösen. Die Ladung, die sich am Anodendraht ansammelt ist nicht mehr von der Primärionisation abhängig sondern vom Volumen des Rohrs und der Spannung U und kann gut gemessen werden.

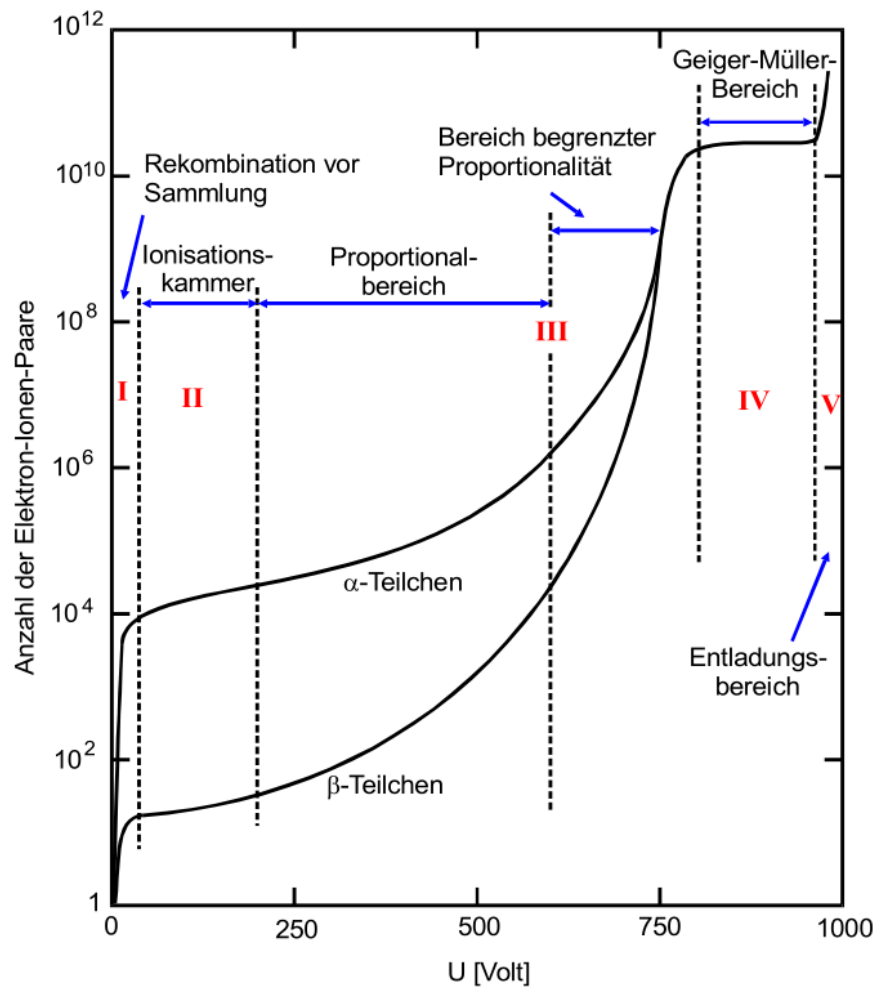


Abbildung 2: Anzahl der Elektronen-Ionenpaare in Abhängigkeit von der Spannung, [1, S. 2].

Zu den wichtigen Größen des Geiger-Müller-Zählrohrs gehören die Tot- und Erholungszeit, sowie die Nachentladungen. Wesentlich sind hier die positiven Ionen, die mit den Elektronen zusammen entstehen. Da die Ionen schwerer sind als die Elektronen, bewegen sie sich länger im Gasraum und bilden eine temporäre, radialsymmetrische, positive Raumladung, die Ionenschlauch genannt wird. Diese schwächt das elektrische Feld für die Zeit T in der Umgebung des Drahtes ab, sodass es zu keinen Stoßionisationen mehr kommen kann. Daraus folgt, dass während der Zeit T keine elektrischen Impulse mehr gemessen werden können, weshalb T Totzeit genannt wird. Sobald sich die positive Raumladung zum Mantel des Zählrohrs bewegt, nimmt die Feldstärke zu und es können wieder eintreffende Teilchen registriert werden. Sobald die Ionenwolke neutralisiert wurde, besitzt das Feld seine ursprüngliche Stärke und auch die Zahl der Ladungsimpulse Q erreicht wieder ihren Ausgangswert. Die Zeit nach der Totzeit, während der die Impulse eine geringere Höhe haben, wird als Erholungszeit T_E (s. Abbildung 3) bezeichnet.

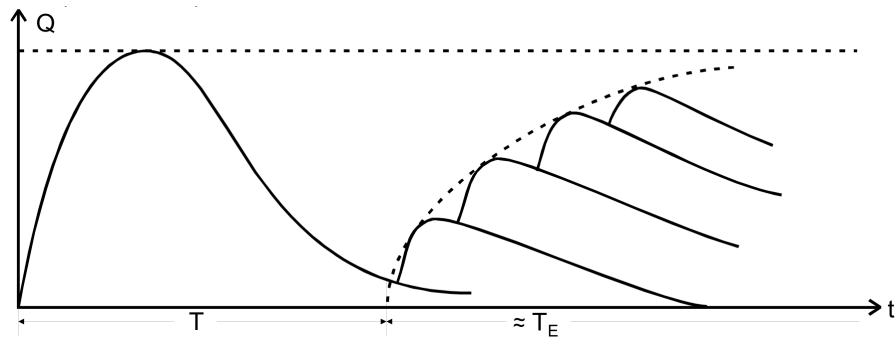


Abbildung 3: Tot- und Erholungszeit im Ladungs-Zeit-Diagramm, [1, S. 3].

Wenn die Ionen am Mantel neutralisiert werden, so können sie durch Übertragung ihrer Energie Elektronen aus dem Material lösen. Diese Sekundärelektronen können wiederum zusätzliche Impulse auslösen, die Nachentladungen heißen. Weil ihre Laufzeit T_L größer ist als die Totzeit T sollen Nachentladungen vermieden werden, da sie nicht vom Durchgang von ionisierenden Teilchen zu unterscheiden sind und dadurch die Zahl der eigentlichen Impulse verfälscht wird. Aus diesem Grunde wird ein Alkoholdampf in das Zählrohr gegeben, damit die positiven Ionen mit ihrer Energie keine Elektronen aus dem Metallmantel herausschlagen können, sondern stattdessen zu Schwingungen angeregt werden. Damit werden vom Zählrohr nur noch Impulse durch einfallende Teilchen aufgenommen.

Wird die registrierte Teilchenzahl N gegen die angelegte Spannung U aufgetragen, wobei die Strahlungsintensität konstant gehalten wird, so ergibt sich eine Kurve, die Charakteristik genannt wird.

Ab einer Spannung U_E beginnt der lineare Teil des Kurvenverlaufs, der Plateau genannt wird und gleichzeitig der Arbeitsbereich des Zählrohrs ist. Das Plateau hat im Idealfall die Steigung Null, in der Realität ist jedoch durch eine geringe Zunahme von N eine leichte Steigung zu beobachten. Grund dafür sind Nachentladungen, die auch trotz des Alkoholdampfs auftreten. Eine geringe Steigung und ein längerer Verlauf des

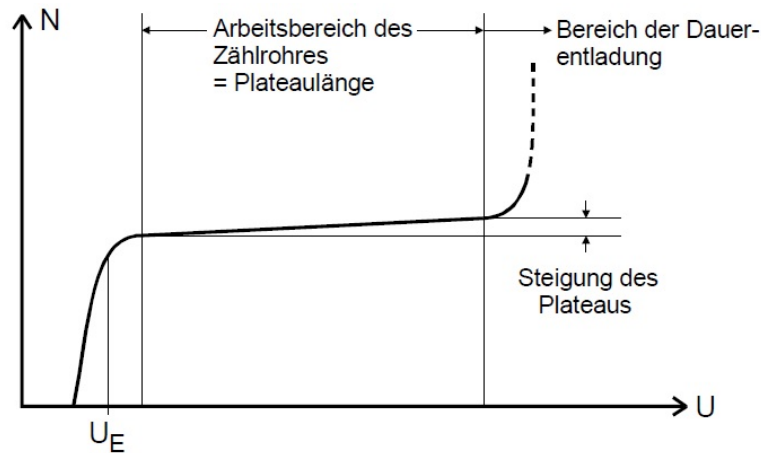


Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik, [1, S. 5].

Plateaus sprechen für ein qualitatives Zählrohr. Zum Ende hin nimmt die Anzahl der Nachentladungen schlagartig zu, dieser Bereich ist der Bereich der Dauerentladungen.

Als Ansprechvermögen wird die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass ein einfallendes Teilchen im Geiger-Müller-Zählrohr nachgewiesen wird. Für α - und β -Teilchen beträgt diese Wahrscheinlichkeit fast 100%, bei Photonen allerdings liegt das Ansprechvermögen bei etwa 1%. Um zu erreichen, dass die Teilchen in das Zählrohrvolumen gelangen können, wird eine Endfensterröhre eingesetzt. Bei dieser besteht die Stirnseite aus einem Material mit Atomen kleiner Ordnungszahl, durch die die geladenen Teilchen leicht hindurchtreten können.

3 Aufbau und Durchführung

Der generelle Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs wurde bereits im vorherigen Kapitel erläutert. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, fließt die Ladung Q , die sich am Anodendraht sammelt, über den Widerstand R und kann dann über einen Kondensator C und einen Verstärker als Spannungsimpuls gemessen werden. Dieser kann auch über einen Oszillographen dargestellt werden.

In diesem Versuch soll zunächst die Charakteristik des Zählrohrs aufgenommen werden. Dazu wird ein β -Strahler vor dem Zählrohr platziert. In 10 V-Schritten werden für Spannungen zwischen 300 und 700 V für jeweils 60 s die Zählraten gemessen und gegeneinander aufgetragen.

Desweiteren können mithilfe des Oszilloskops die Nachentladungen, die für den Anstieg des Plateaus sorgen, dargestellt werden. Da es aus technischen Gründen nicht möglich ist, die Bilder auf dem Oszilloskop genauer zu analysieren, soll der Verlauf der zu beobachtenden Kurve nur qualitativ erklärt werden.

Zudem soll die Totzeit auf zwei verschiedene Weisen gemessen werden. Die erste Messung erfolgt über das Oszilloskop. Dazu wird die Kurve so verschoben, dass mithilfe des

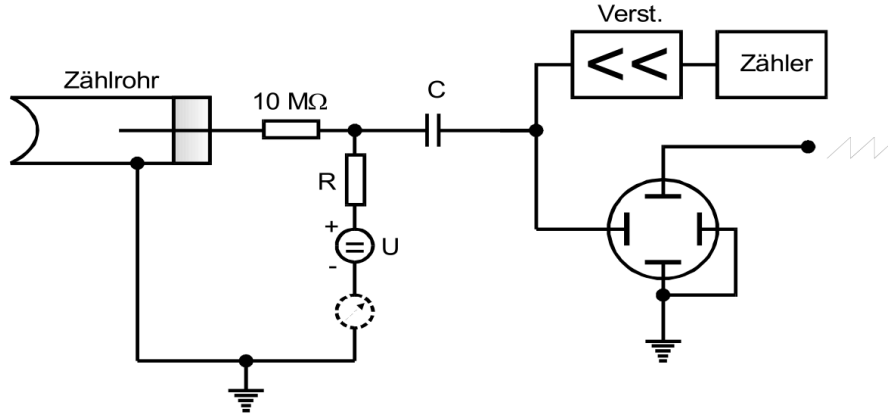


Abbildung 5: Skizze der Messapparatur, [1, S. 7].

Gitters und den Einstellungen am Oszilloskop die Totzeit abgelesen und die Erholungszeit grob abgeschätzt werden kann. Für die andere Methode wird eine zweite Strahlungsquelle eingesetzt, es handelt sich also um die sogenannte Zwei-Quellen-Methode. Die Grundlage hierfür ist wahre Impulsrate N_w der eindringenden und absorbierten Teilchen pro Zeiteinheit. Sie ist gegeben durch die registrierte Impulsrate N_r . $T N_r$ ist hierbei der Bruchteil der Messzeit, für die das Zählrohr unempfindlich ist:

$$N_w = \frac{\text{Impulszahl}}{\text{Messzeit}} = \frac{N_r \cdot t}{(1 - T N_r) \cdot t} = \frac{N_r}{1 - T N_r}$$

Im Experiment wird zunächst die Zählrate N_1 des ersten Präparats gemessen. Im Anschluss wird ein zweites Präparat hinzugefügt um die Zählrate N_{1+2} beider Präparate zusammen zu messen, wobei darauf geachtet wird, dass das erste Präparat nicht bewegt wird.

Die Totzeit berechnet sich nach:

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

Im letzten Teil des Versuchs wird die pro Teilchen am Zählrohr freigesetzte Ladungsmenge untersucht. Es wird der Zählrohrstrom gemessen, welcher die transportierte Ladungsmenge ΔQ pro Zeitintervall Δt repräsentiert, während der Z Teilchen registriert werden:

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

Dabei soll die Ladung ΔQ in Abhängigkeit von der Spannung U gemessen werden.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Steigung des Plateau-Bereichs

In der Tabelle 1 befinden sich die gemessenen Werte. Der absolute Fehler für N Entladungen ergibt sich über:

$$\sigma_N = \sqrt{N} \quad (3)$$

und für die Impulsrate:

$$Z = \frac{N}{T} \quad (4)$$

ergibt sich dann:

$$\sigma_Z = \frac{\sqrt{N}}{T}, \quad (5)$$

da die Anzahl von Zerfällen poissonverteilt ist.

Die aufgeführten Werte mit Fehlern aus der Tabelle 1 und die Ausgleichsgerade werden in die Abbildung 6 graphisch eingetragen. Zur Bestimmung der Ausgleichsgerade des Plateau-Bereichs werden die Werte ab 320 V bis 700 V verwendet. Dabei werden die Impulse in die Impulsrate umgerechnet und gegen die anliegende Spannung aufgetragen(s.Abb.6). Die ersten zwei Werte aus der Tabelle werden nicht betrachtet, da sie sich noch nicht im Geiger-Müller-Plateau befinden.

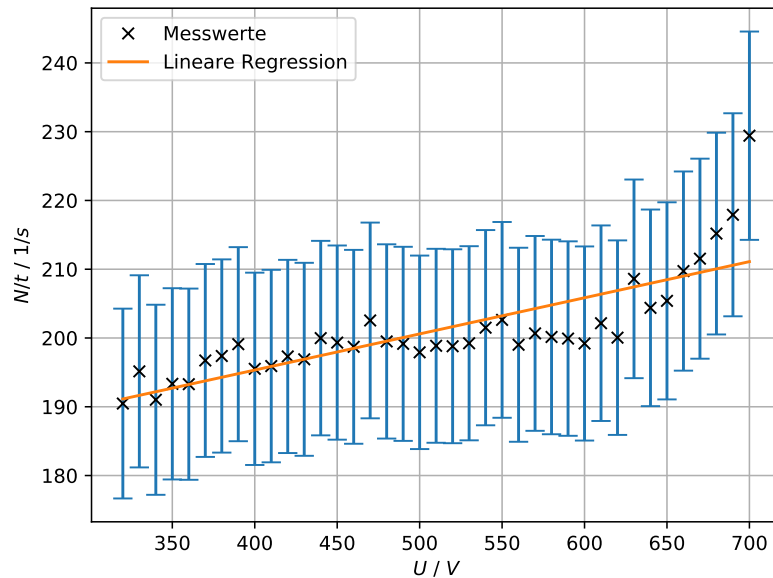


Abbildung 6: Aufgenommenen Werte zur Charakteristik des Zählrohres mit Fehlern und Plateaugerade.

Eine lineare Ausgleichsgerade lässt sich berechnen wie:

$$y = mx + b \quad (6)$$

wobei m die Steigung und b der y-Achsenabschnitt sind. Über Formel 6 wird die Steigung und der Fehler der Ausgleichsgerade vom Python-Modul Scipy `curve_fit` berechnet. Es ergaben sich für die Ausgleichsgerade m als Steigung und b als y-Achsenabschnitt die folgenden Werte:

$$m = (0,052 \pm 0,006) \frac{1}{V_s}$$

$$b = (174,30 \pm 3,33) \frac{1}{s}$$

und die Plateau-Steigung wird in % pro 100 V angegeben:

$$m = (2,2 \pm 1,7) \% \text{ pro } 100V.$$

4.2 Bestimmung der Totzeit

4.2.1 Mit dem Oszilloskop

Für die erste Methode zur Bestimmung der Totzeit wird das Ablesen auf dem Oszilloskop benötigt. Diese Messung wird gemäß Abbildung 3 durchgeführt und die aufgeführten Messwerte wie die Spannung U , die Totzeit T und Erholungszeit T_E befinden sich in der Tabelle 2.

Der Mittelwert \bar{x} aus n Stichproben x_i ergibt sich aus:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

Die Standardabweichung errechnet sich nach:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

mit zufälligen Fehlern behafteten Werten x_i mit $i = 1, \dots, n$.

Der aus der Standardabweichung aus der Gleichung 8 resultierende Fehler des Mittelwertes ergibt sich nach:

$$\Delta \bar{x} = \frac{s_i}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (9)$$

Mit der Gleichung 7 und 9 soll nun der Mittelwert sowie der Fehler des Mittelwertes der Totzeit und Erholungszeit bestimmt werden und es ergeben sich die folgenden Werte:

$$T_{\text{tot1}} = (265 \pm 7) \mu s$$

$$T_E = (466,6 \pm 18,5) \mu s.$$

Tabelle 1: Messdaten zur Charakteristik des Zählrohrs.

U/V	$N/\frac{1}{\text{min}}$	$I/\mu\text{A}$	T/s	σ_N	$\sigma_Z/\frac{1}{\text{s}}$
320	11428	0,1	60	107	1,8
330	11709	0,2	60	108	1,8
340	11461	0,25	60	107	1,8
350	11600	0,3	60	108	1,8
360	11597	0,35	60	108	1,8
370	11804	0,4	60	109	1,8
380	11843	0,4	60	109	1,8
390	11946	0,45	60	109	1,8
400	11731	0,5	60	108	1,8
410	11755	0,55	60	108	1,8
420	11839	0,6	60	109	1,8
430	11814	0,65	60	109	1,8
440	11999	0,7	60	110	1,8
450	11960	0,75	60	109	1,8
460	11923	0,8	60	109	1,8
470	12153	0,85	60	110	1,8
480	11970	0,85	60	109	1,8
490	11949	0,9	60	109	1,8
500	11875	1	60	109	1,8
510	11932	1,05	60	109	1,8
520	11928	1,1	60	109	1,8
530	11954	1,1	60	109	1,8
540	12090	1,2	60	110	1,8
550	12158	1,25	60	110	1,8
560	11941	1,3	60	109	1,8
570	12040	1,3	60	110	1,8
580	12009	1,3	60	110	1,8
590	11995	1,3	60	1110	1,8
600	11952	1,4	60	109	1,8
610	12129	1,45	60	110,	1,8
620	12003	1,5	60	110	1,8
630	12516	1,5	60	112	1,9
640	12263	1,55	60	111	1,8
650	12324	1,6	60	111	1,9
660	12584	2	60	112	1,9
670	12692	1,8	60	113	1,9
680	12911	1,8	60	114	1,9
690	13075	2	60	114	1,9
700	13765	2,1	60	117	2,0

Tabelle 2: Messwerte zur ersten Methode für die Bestimmung der Totzeit.

U/V	$T/\mu\text{s}$	$T_E/\mu\text{s}$
460	250	490
500	270	430
550	275	480

4.2.2 Mit der Zwei-Quellen-Methode

Zur zweiten Methode für die Bestimmung der Totzeit ergaben sich bei einer Spannung U von 500 V die in Tabelle 3 aufgeführten Werte. Die Totzeit wird nun nach der Gleichung 1 berechnet und der Fehler wird nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung 10 gegeben:

$$\sigma_T = \sqrt{\left(\frac{N_{1+2} - N_2}{2N_1^2 N_2}\right)^2 \cdot \sigma_{N_1}^2 + \left(\frac{N_{1+2} - N_1}{2N_1 N_2^2}\right)^2 \cdot \sigma_{N_2}^2 + \left(\frac{1}{2N_1 N_2}\right)^2 \cdot \sigma_{N_{1+2}}^2} \quad (10)$$

Damit ergibt sich für die Totzeit der folgende Wert:

$$T_{\text{tot2}} = (932,2 \pm 92,1) \mu\text{s}.$$

Tabelle 3: Messwerte zur zweiten Methode für die Bestimmung der Totzeit.

Quellen	U/V	$N/\frac{1}{\text{s}}$	$\sigma_Z/\frac{1}{\text{s}}$	σ_N	T/s
1	500	12120	1,83	110,1	60
1+2	500	13038	1,90	114,18	60
2	500	1186	0,57	34,43	60

4.3 Bestimmung der Ladung pro einfallendem Teilchen

Die Ladungsmenge, welche durch ein Teilchen freigesetzt wird, hängt vom gemessenen Strom ab. Dieser ist in Tabelle 1 bereits eingeführt worden.

Die Ladung Q pro Teilchen ergibt sich durch Gleichung 2, die nach der Ladung Q umgestellt wird:

$$Q = \frac{I \cdot T}{N} \quad (11)$$

wobei Z die Impulsrate, T die Messzeit und I die Stromstärke sind. Die Fehler der Ladung berechnet sich wie folgt:

$$\sigma_Q = Q \cdot \frac{\sigma_Z}{N} \quad (12)$$

Die Abweichung für die Ladung errechnet sich nach:

$$\sigma_{Q1} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV} \cdot \sigma_Q \quad (13)$$

Es lässt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der angelegten Spannung U und Ladung Q pro im Zählrohr einfallendem Teilchen feststellen. Dieser Zusammenhang inklusive der Ausgleichsgerade ist in Abbildung 7 dargestellt.

Über Formel 6 wird die Steigung und der Fehler der Ausgleichsgerade vom Python-Modul Scipy `curve_fit` berechnet. Es ergaben sich für die Ausgleichsgerade m als Steigung und b als y-Achsenabschnitt die folgenden Werte:

$$m = (0,138 \pm 0,002) \cdot 10^9 \frac{\text{e}}{\text{V}}$$

$$b = -(39,09 \pm 1,35) \cdot 10^9 \text{ e.}$$

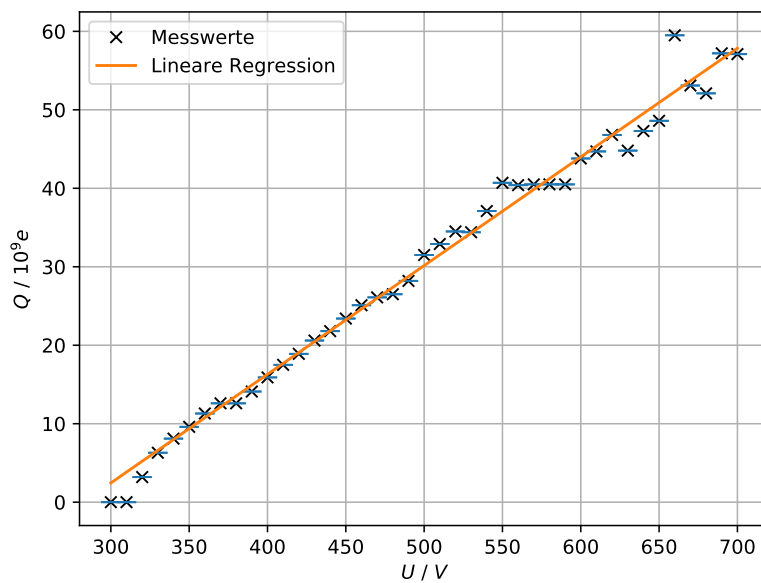


Abbildung 7: Ausgleichsgerade zur Bestimmung der Ladung mit den zugehörigen Fehlern.

Tabelle 4: Messdaten zur Charakteristik des Zählrohres.

U/V	$N/\frac{1}{s}$	$I/\mu A$	T/s	$Z/\frac{1}{s}$	$\sigma_Z/\frac{1}{s}$	$Q/10^{-9} C$	$\sigma_Q/10^{-9} C$	$Q/10^9 e$	$\sigma_{Q1}/10^9 e$
320	11428	0,1	60	190,4	1,8	5,25	0,000081	3,2	0,00051
330	11709	0,2	60	195,1	1,8	1,02	0,00015	6,3	0,00098
340	11461	0,25	60	191,1	1,8	1,30	0,00020	8,1	0,0012
350	11600	0,3	60	193,3	1,8	1,55	0,00024	9,6	0,0014
360	11597	0,35	60	193,3	1,8	1,81	0,00028	11,3	0,0017
370	11804	0,4	60	196,7	1,8	2,03	0,00031	12,6	0,0019
380	11843	0,4	60	197,4	1,8	2,02	0,00031	12,6	0,0019
390	11946	0,45	60	199,1	1,8	2,26	0,00034	14,1	0,0021
400	11731	0,5	60	195,5	1,8	2,55	0,00039	15,9	0,0024
410	11755	0,55	60	195,9	1,8	2,80	0,00043	17,5	0,0026
420	11839	0,6	60	197,3	1,8	3,04	0,00046	18,9	0,0029
430	11814	0,65	60	196,9	1,8	3,30	0,00050	20,6	0,0031
440	11999	0,7	60	199,9	1,8	3,50	0,00053	21,8	0,0033
450	11960	0,75	60	199,3	1,8	3,76	0,00057	23,4	0,0035
460	11923	0,8	60	198,7	1,8	4,02	0,00061	25,1	0,0038
470	12153	0,85	60	202,5	1,8	4,19	0,00063	26,1	0,0039
480	11970	0,85	60	199,5	1,8	4,26	0,00064	26,5	0,0041
490	11949	0,9	60	199,1	1,8	4,51	0,00068	28,2	0,0043
500	11875	1	60	197,9	1,8	5,05	0,00077	31,5	0,0048
510	11932	1,05	60	198,8	1,8	5,27	0,00084	32,9	0,0050
520	11928	1,1	60	198,8	1,8	5,53	0,00084	34,5	0,0052
530	11954	1,1	60	199,2	1,8	5,52	0,00090	34,4	0,0052
540	12090	1,2	60	201,5	1,8	5,95	0,00093	37,1	0,0056
550	12158	1,25	60	202,6	1,8	6,16	0,00099	38,5	0,0058
560	11941	1,3	60	199,1	1,8	6,53	0,00098	40,7	0,0062
570	12040	1,3	60	200,6	1,8	6,47	0,00098	40,4	0,0061
580	12009	1,3	60	200,1	1,8	6,49	0,00097	40,5	0,0061
590	11995	1,3	60	199,9	1,8	6,50	0,00098	40,5	0,0061
600	11952	1,4	60	199,2	1,8	7,02	0,00107	43,8	0,0066
610	12129	1,45	60	202,1	1,8	7,17	0,00108	44,7	0,0067
620	12003	1,5	60	200,0	1,8	7,49	0,00114	46,8	0,0071
630	12516	1,5	60	208,6	1,9	7,19	0,00107	44,8	0,0066
640	12263	1,55	60	204,3	1,8	7,58	0,00114	47,3	0,0071
650	12324	1,6	60	205,4	1,9	7,78	0,00116	48,6	0,0072
660	12584	2	60	209,7	1,9	9,53	0,00141	59,5	0,0088
670	12692	1,8	60	211,5	1,9	8,50	0,00125	53,1	0,0078
680	12911	1,8	60	215,1	1,9	8,36	0,00122	52,1	0,0076
690	13075	2	60	217,9	1,9	9,17	0,00133	57,2	0,0083
700	13765	2,1	60	229,4	2,0	9,15	0,00130	57,1	0,0081

5 Diskussion

Um ein perfektes Geiger-Müller-Zählrohr zu konstruieren wäre eine Plateauabsteigung von $m = 0 \frac{\%}{V}$ erstrebenswert. Das ist natürlich nur in der Theorie möglich, aber das Ergebnis dieser Messung zeigt, dass die errechnete Steigung von $m = (2,2 \pm 1,7) \text{ \%pro } 100V$ in einem Bereich liegt, der für durchschnittliche Zählrohre passabel ist. Es ist auch noch hervorzuheben, dass während der Messung die Analoganzeige des μA -Meters ihren Verhältnissen entsprechend stark am Schwanken war. Ein genauer Fehler lies sich hierbei nicht bestimmen. Ein Amperemeter mit einer genaueren Auflösung hätte sich hier als hilfreich erwiesen.

Bei der Aufnahme der Charakteristik des Zählrohrs fällt auf, dass gegen Ende die Anzahl der gemessenen Impulse, wie erwartet, wieder stärker ansteigt und so ein klares Ende das Plateaus definierbar ist. Das Ende des Plateaus wird bei 700V tatsächlich erreicht, weil die ersten zwei Messwerte vernachlässigt wurden, da sie sich noch nicht im Geiger-Müller-Plateau befinden.

Die pro Teilchen freigesetzte Ladung steht in einem linearen Zusammenhang zur angelegten Spannung. Dies lässt sich durch den proportionalen Zusammenhang zwischen der angelegten Spannung U und der Stärke des dadurch entstehenden elektrischen Feldes im Zählrohr erklären. Für die zu bestimmende Ladung ergibt sich ein Wert von $m = (0,138 \pm 0,002) \cdot 10^9 \frac{e}{V}$. Für diesen Wert lässt sich ein Vergleich in der Abbildung 2 auf der y-Achse für die Anzahl der Elektronen-Ionen-Paare im 10^{10} -Bereich feststellen. Es ergibt sich ein Unterschied um eine Größenordnung. Da der Strom schwierig abzulesen war, ergaben sich auch Sprünge in den Messdaten, wie in Tabelle 4 und Abbildung 7 zu erkennen ist.

Die am Oszilloskop abgelesenen Werte sind sehr ungenau, da sie nur geschätzt werden konnten zum Beispiel beim Ablesen der Erholungszeit. Jedoch erwies sich eine Totzeit von $T_{\text{tot1}} = 265 \mu s$.

Ganz im Gegensatz zu der genauen Bestimmung der Totzeit mit Hilfe des Oszilloskops steht die Bestimmung anhand der Zweiquellenmethode. Diese belief sich bei diesem Experiment auf $T_{\text{tot2}} = (932,2 \pm 92,1) \mu s$. Damit zeigt sie ein großer Unterschied im Gegensatz zur ersten Methode. Dieser Wert scheint eher untypisch für ein Geiger-Müller-Zählrohr zu sein. Hier muss ein systematischer Fehler vorliegen, auf den während des Experimentes nicht geachtet wurde. Dabei liegt es auch an der Formel und den hohen Fehlern.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 703: Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf> (besucht am 18.05.2018).