

V703 Das Geiger-Müller-Zählrohr

Katharina Brägelmann Tobias Janßen
katharina.braegelmann@tu-dortmund.de
tobias2.janssen@tu-dortmund.de

Durchführung: 15. Mai 2018, Abgabe: 22. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Aufbau und Durchführung	8
4 Auswertung	9
4.1 Charakteristik des Zählrohres	9
4.2 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode	10
4.3 Bestimmung der Totzeit mit Hilfe des Oszilloskops	10
4.4 Freigesetzte Ladung pro Teilchen	11
5 Diskussion	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht. Es wird die Charakteristik und die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs bestimmt. Die freigesetzte Ladung pro Teilchen wird ermittelt.

2 Theorie

Ein Geiger-Müller-Zählrohr zählt allgemein die von radioaktiver Strahlung ausgelösten elektrischen Impulse. Damit lässt sich eine Aussage über die Aktivität des Strahlers machen.

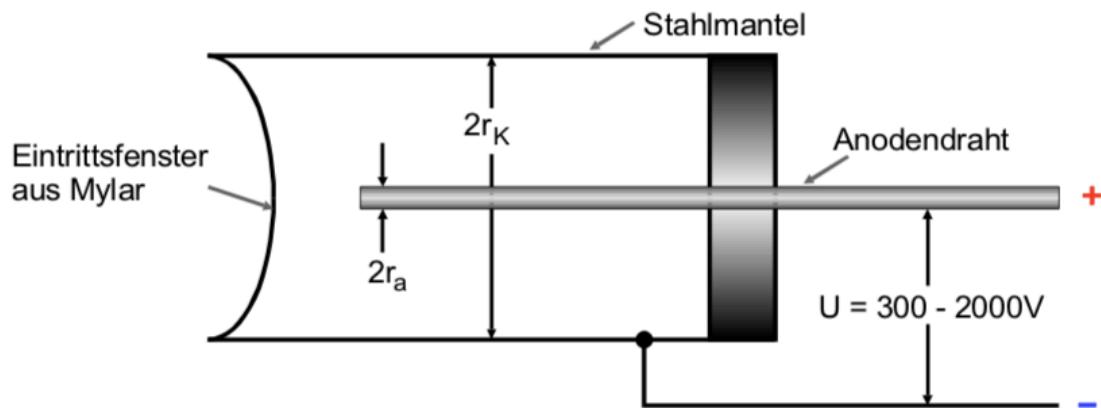


Abbildung 1: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs [1]

Ein Geiger-Müller-Zählrohr setzt sich aus einer zylinderförmigen Kathode und einem Anodendraht in der Mitte der Kathode zusammen (Abb. 1). Es wird eine Spannung angelegt. Ein negativ geladenes Teilchen im Zählrohr wird also vom Anodendraht angezogen. Der Zylinder ist dicht abgeschlossen und mit einem Gasgemisch aus Argon und Ethylalkohol gefüllt. Eines der beiden Enden der Röhre ist mit einem Fenster versehen, das mit einer möglichst dünnen Folie ausgekleidet ist. Ein Teilchen verliert im Zylinder nun seine Energie durch Ionisationsprozesse und trifft schließlich auf die Anode. Somit wird ein Strom ausgelöst.

Wird die Zählrate gegen die angelegte Spannung aufgetragen, lässt sich der Verlauf in verschiedene Abschnitte einteilen (Abb. 2).

Im Bereich der Rekombination werden zwar Atome ionisiert, doch die ausgelösten Elektronen werden direkt wieder von den Atomen absorbiert. So kann hier keine Zählrate gemessen werden.

Das Zählrohr kann auch als Ionisationskammer bezeichnet werden, solange die Zählrate abhängig von der Energie und Intensität der Strahlung ist.

Höhere Spannungen sorgen dafür, dass die ausgeschlagenen Elektronen unterwegs zu der Anode weitere Atome ionisieren. Die Zahl dieser Elektronen steigt lawinenartig an

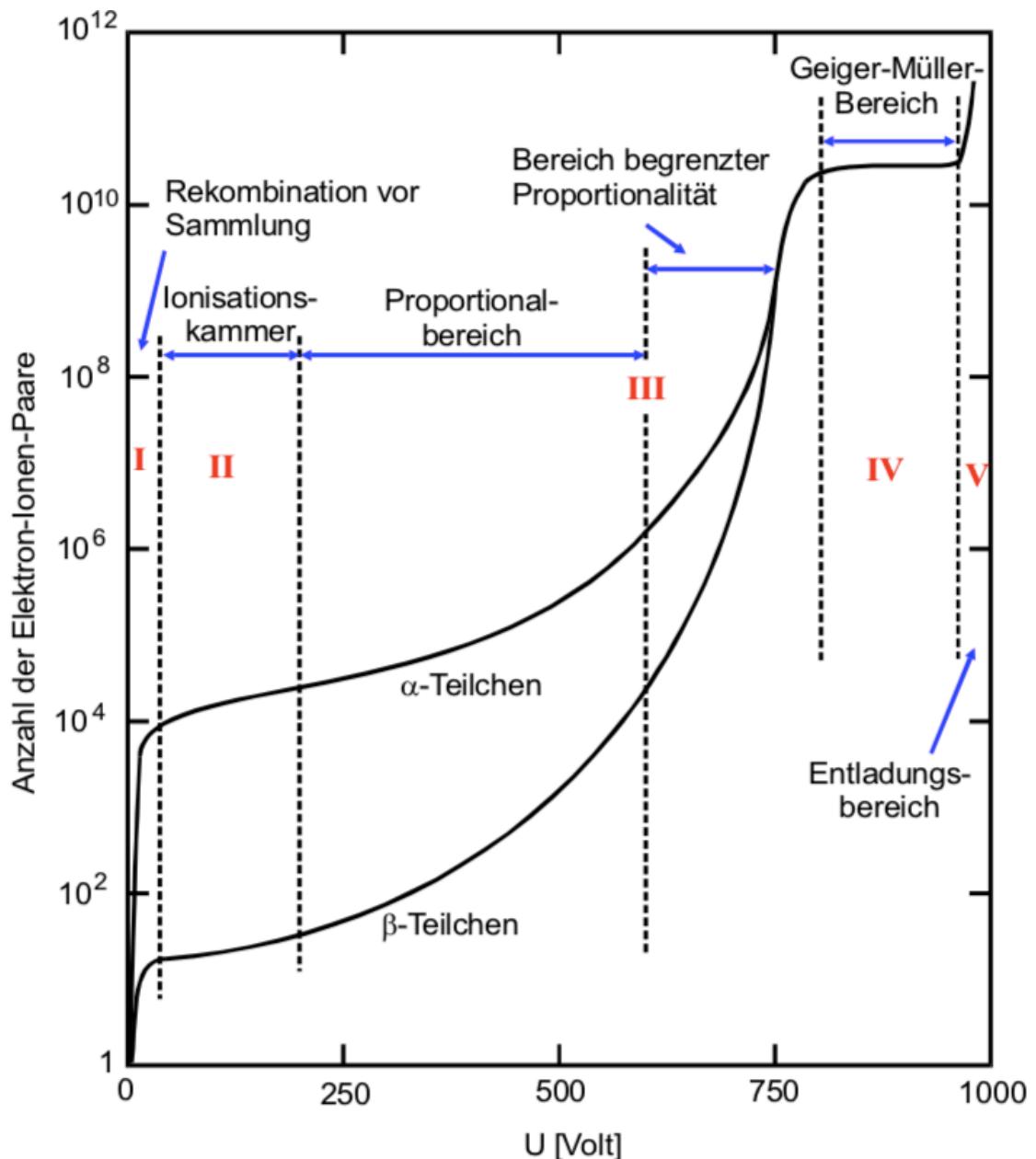


Abbildung 2: Zählrate gegen die angelegte Spannung am Geiger-Müller-Zählrohr [1]

(Townsend-Lawine). Der Bereich wird Proportionalzählrohr genannt.

Wird die Spannung noch größer, wird der sogenannte Auslösebereich erreicht. Dabei ionisieren die eindringenden Teilchen erst einzelne Gasatome. Die gelösten Elektronen haben genug Energie um weitere Atome zu ionisieren. Bei der Ionisation entstehen auch Photonen mit genug Energie um weitere Atome zu ionisieren. Die Photonen sind ungelad-

den und bewegen sich unabhängig vom elektrischen Feld im Zählrohr. Dieses Phänomen läuft nun lawinenartig durch das gesamte Zählrohr. Die Messung der Energie der Teilchen ist nun nicht mehr möglich, da die Ladung unabhängig von der Primärionisation ist. In diesem Bereich ist der übliche Messbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs.

Bei der Untersuchung des Geiger-Müller-Zählrohrs sind weitere besondere Effekte zu beobachten.

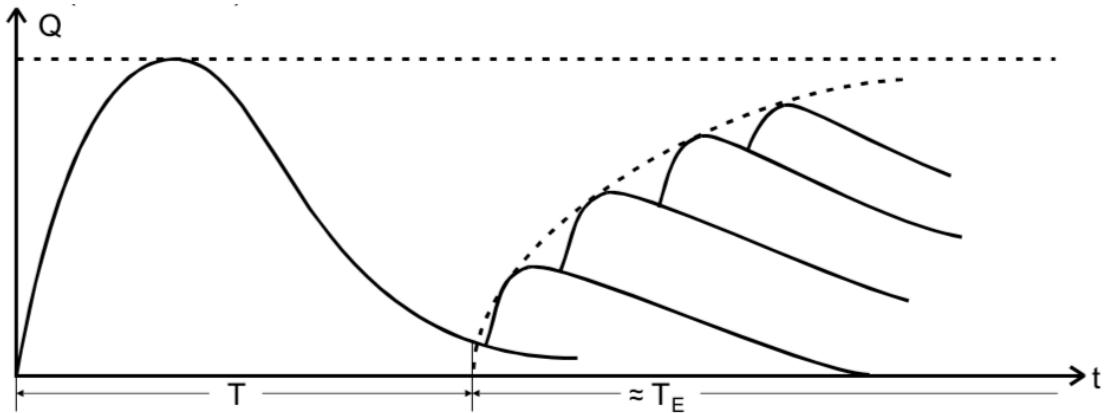


Abbildung 3: Ladung gegen die Zeit mit markierter Totzeit T und Erholungszeit T_E [1]

Als Totzeit T wird die Zeit nach einem ausgelösten Impuls bezeichnet, in der kein weiterer Impuls ausgelöst werden kann (Abb. 3). Entsprechend werden im Bereich der Totzeit die eintreffenden Teilchen nicht gezählt. Dies entsteht durch die langsamen und schweren Ionen, die bei der Ionisation entstehen. Die Ionenwolken verändern kurzfristig und lokal die Raumladung. Die Totzeit lässt sich an einem angeschlossen Oszilloskop ablesen oder über zwei verschiedene Strahlungsquellen messen. Letztere Methode funktioniert über den Unterschied zwischen der gemessenen Zählrate N_R und der tatsächlichen Zählrate N_W . Die wahre Zählrate N_W berechnet sich über

$$N_W = \frac{N_R}{1 - T \cdot N_R}.$$

Hiermit lässt sich die Totzeit bestimmen. Dazu werden für zwei verschiedene Strahler und die Kombination der beiden Strahlungsquellen die registrierte Zählrate N_R ausgemessen. Damit berechnen sich die jeweiligen wahren Zählraten N_W :

$$\begin{aligned} N_{W,1} &= \frac{N_{R_1}}{1 - T \cdot N_{R_1}} \\ N_{W,2} &= \frac{N_{R_2}}{1 - T \cdot N_{R_2}} \\ N_{W,1+2} &= \frac{N_{R_{1+2}}}{1 - T \cdot N_{R_{1+2}}}. \end{aligned}$$

Mit der Näherung $T^2 N_R^2 \ll 1$ ergibt sich

$$T \approx \frac{N_{R_1} + N_{R_2} - N_{R_{1+2}}}{2N_{R_1}N_{R_2}}. \quad (1)$$

Die Ionenwolken lösen sich langsam auf und sorgen auch bei den nächsten Impulsauslösungen für eine abgeschwächte Spannung. Die sogenannte Erholungszeit T_E ist die Zeit, die vergeht, bis die Impulse wieder die ursprüngliche Höhe haben.

Ein weiteres Phänomen sind die Nachentladungen. Die Elektronen im Zählrohr können aus dem Kathodenmaterial Elektronen ausschlagen. Diese "Sekundärelektronen" können ihrerseits wieder Entladungen auslösen. Dies wird dann Nachentladung genannt. Zur Vermeidung der Nachentladungen ist in dem Gas Alkohol beigemischt. Die Alkoholmoleküle absorbieren die Energie der Photonen, indem sie sie in Schwingungen verwandelt.

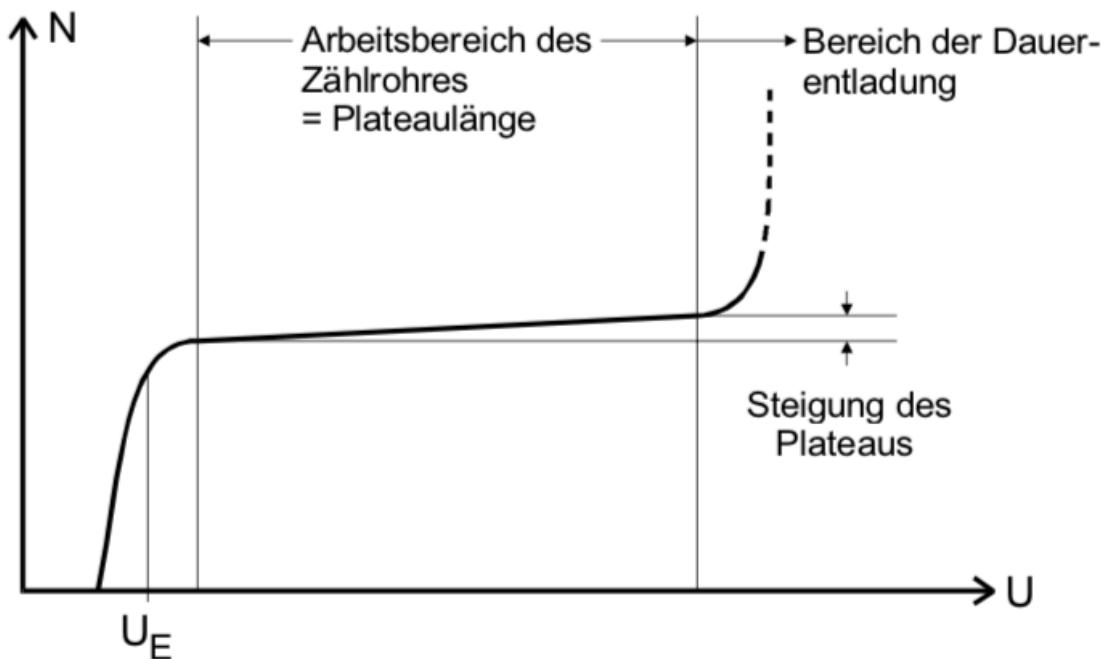


Abbildung 4: Ladung gegen die Zeit mit markiertem Plateau [1]

Die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs hat ein auffälliges Plateau (Abb.4). Idealerweise ist die Steigung im Plateau null, aber dies ist durch den unumgänglichen Rest der Nachentladungen nicht vermeidbar.

Bei großen Zählraten entsteht ein messbarer Strom in der Anode. Der Strom lässt sich durch

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

berechnen. Dabei ist Z die Anzahl der gemessenen Teilchen, Q die Ladung und t die Zeit. Wird die Spannung noch größer, kann das Gas in der Röhre sich selbst entladen und das

Zählrohr kann kaputt gehen.

In dem Geiger-Müller-Zählrohr können hauptsächlich α - und β -Strahlung nachgewiesen werden. Die γ -Quanten haben als Initialerreger kaum Auswirkungen auf das Zählrohr.

3 Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau setzt sich zusammen aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, einer Strahlungsquelle, einem Ampermeter, einem Impulszähler und einem Spannungsgenerator (Abb. 5). Für die Aufnahme der Zählrohrcharakteristik und für die Messung der Ladungs-

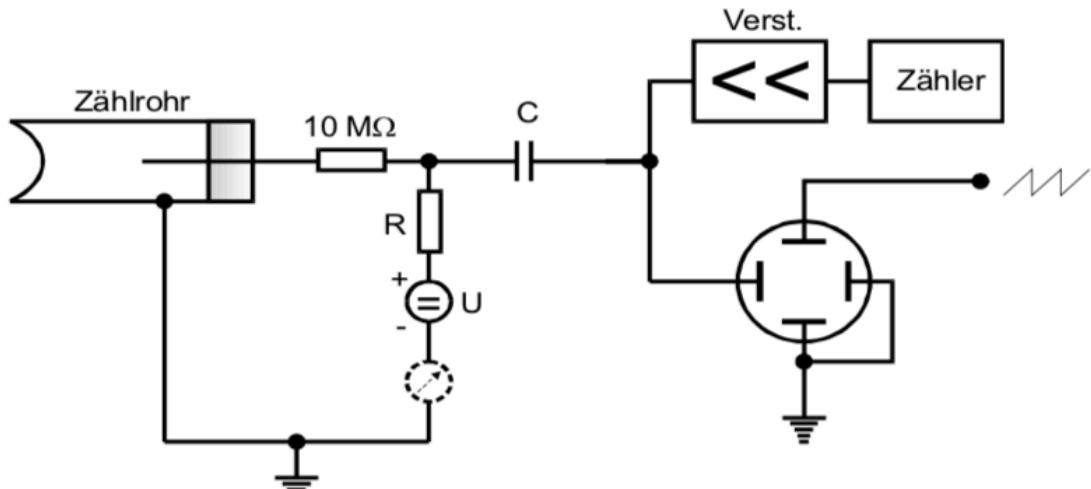


Abbildung 5: Aufbau der Messapparatur [1]

menge pro Teilchen werden die Impulse N in einer Minute, der Strom I und die Spannung U notiert. U wird von 300 V bis 700 V in 10 V-Schritten verändert. Anschließend werden auf dem Oszilloskop die Zeit bis zur Nachentladung, die Totzeit T_T und die Erholungszeit T_E abgelesen. Danach wird für die Spannung $U = 560$ V die Zählrate N gemessen. Zu der ersten Strahlungsquelle wird eine zweite hinzugefügt. Nun wird für die selbe Spannung die Zählrate N gemessen. Schließlich wird nur die zweite Strahlungsquelle vermessen.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Zählrohres

Die Messergebnisse sind in der Tabelle 1 einzusehen. In der Graphik 6 sind die Messwerte dargestellt.

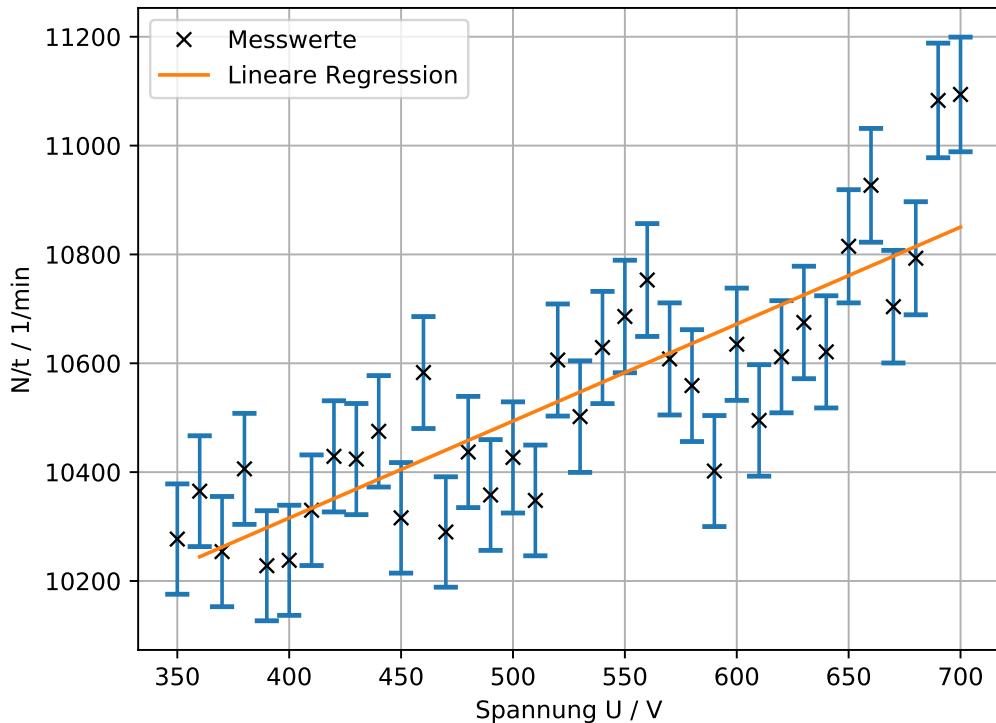


Abbildung 6: Charakteristik des Zählrohres

Für das Plateau wird eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Die Grade hat die Form:

$$y = mx + b$$
$$m = (1,781 \pm 0,038) \frac{1}{\text{minV}}$$
$$b = (9603,000 \pm 97,995) \frac{1}{\text{min}}$$

Die Steigung in Prozent beträgt: $m = 4,17\%$ pro 100 V.
Die Länge des Plateau reicht ungefähr von 320 V bis 680 V.

4.2 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Bei 540 V werden zwei Unterscheidliche β -Quelle zusammen und getrennt vermessen. Es ergeben sich folgende Messwerte:

$$\begin{aligned}N_{R1} &= (10\,629 \pm 103) \frac{1}{\text{min}} \\N_{R2} &= (1185 \pm 34) \frac{1}{\text{min}} \\N_{R1+R2} &= (11\,642 \pm 108) \frac{1}{\text{min}}\end{aligned}$$

Mit der Formel 1 lässt sich die Totzeit bestimmen.

$$T \approx (6,80 \pm 9,54) \cdot 10^{-6} \text{ min}$$

Der Fehler wird mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\text{Fehler} = \sqrt{\left(\frac{N_{R2} - N_{R1+R2}}{2N_{R1}^2 N_{R2}}\right)^2 \cdot (103)^2 + \left(\frac{N_{R1} - N_{R1+R2}}{2N_{R1} N_{R2}^2}\right)^2 \cdot (34)^2 + \left(-\frac{1}{N_{R1} N_{R2}}\right)^2 \cdot (108)^2}$$

4.3 Bestimmung der Totzeit mit Hilfe des Oszilloskops

Für die Totzeitmessung mit dem Oszilloskop ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned}T_{U=460V} &= 3,8 \cdot 50\mu s = 3,17 \cdot 10^{-6} \text{ min} \\T_{U=510V} &= 4,0 \cdot 50\mu s = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ min} \\T_{U=580V} &= 4,2 \cdot 50\mu s = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ min}\end{aligned}$$

Die Werte sind in der Graphik 7 aufgetragen. Mit einer Ausgleichsgraden der Form

$$\begin{aligned}y &= ax + b \\a &= (2,700 \pm 0,046) \cdot 10^{-9} \frac{\text{min}}{\text{V}} \\b &= (1,923 \pm 0,012) \cdot 10^{-6} \text{ min}\end{aligned}$$

lässt sich für $T_{U=540V} = (3,381 \pm 0,012) \cdot 10^{-6} \text{ min}$ bestimmen. Der Fehler wird mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\text{Fehler} = \sqrt{(x)^2 \cdot (4,6 \cdot 10^{-14})^2 + (1)^2 \cdot (1,2 \cdot 10^{-8})^2}$$

Die Erholungszeit lässt sich nur grob abschätzen:

$$\begin{aligned}T_{U=460} &= 4 \cdot 10^{-6} \text{ min} \\T_{U=510} &= 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ min} \\T_{U=580} &= 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ min} \\T_{\text{Mittelwert}} &= 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ min}\end{aligned}$$

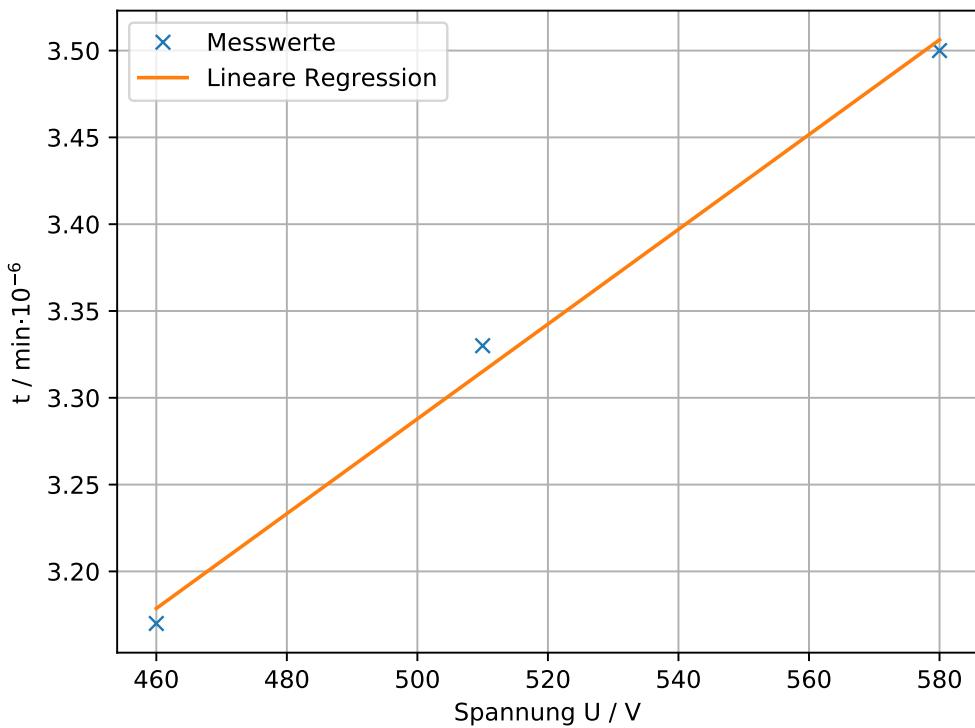


Abbildung 7: Totzeitermittlung mit Hilfe des Oszilloskops

4.4 Freigesetzte Ladung pro Teilchen

Es wird der Strom in Abhängigkeit von der Spannung gemessen. Die Messergebnisse sind in der Tabell 1 zu finden. Mit Hilfe der Formel 2 kann der Strom pro Teilchen ausgerechnet werden. Das Z in der Formel ist die Anzahl der registrierten Teilchen in der Zeit ΔT . Die Ergebnisse sind ebenfalls in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Ladung pro Teilchen

U/V	$I/\mu A$	t /s	$N/\frac{1}{\text{min}}$	σ_N	$Z/\frac{1}{s}$	$\sigma_Z/\frac{1}{s}$	$Q/C \cdot 10^{-10}$	$\sigma_Q \cdot 10^{-10}$	$Q_{e0} \cdot 10^{10}$	$\sigma_{Q_{e0}} \cdot 10^9$
300	0,0	60	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
310	0,05	60	9471	97	157,85	1,62	3,16	0,03	0,19	0,02
320	0,1	60	9940	99	165,66	1,66	6,03	0,05	0,37	0,03
330	0,1	60	10011	100	166,85	1,66	5,99	0,05	0,37	0,03
340	0,15	60	9963	99	166,05	1,66	9,03	0,08	0,56	0,05
350	0,2	60	10277	101	171,28	1,68	11,67	0,11	0,72	0,07
360	0,2	60	10365	101	172,75	1,69	11,57	0,11	0,72	0,07
370	0,2	60	10254	101	170,90	1,68	11,70	0,11	0,73	0,07
380	0,21	60	10406	102	173,43	1,70	12,10	0,11	0,75	0,07
390	0,21	60	10228	101	170,46	1,68	12,31	0,12	0,76	0,07
400	0,21	60	10238	101	170,63	1,68	12,30	0,12	0,76	0,07
410	0,25	60	10330	101	172,16	1,69	14,52	0,14	0,90	0,08
420	0,3	60	10429	102	173,81	1,70	17,25	0,16	1,07	0,10
430	0,38	60	10424	102	173,73	1,70	21,87	0,21	1,36	0,13
440	0,4	60	10475	102	174,58	1,70	22,91	0,22	1,43	0,13
450	0,4	60	10316	101	171,93	1,69	23,26	0,22	1,45	0,14
460	0,4	60	10583	102	176,38	1,71	22,67	0,21	1,41	0,13
470	0,4	60	10290	101	171,50	1,69	23,32	0,22	1,45	0,14
480	0,41	60	10437	102	173,95	1,70	23,56	0,22	1,47	0,14
490	0,41	60	10358	101	172,63	1,69	23,74	0,23	1,48	0,14
500	0,42	60	10427	102	173,78	1,70	24,16	0,23	1,50	0,14
510	0,5	60	10348	101	172,46	1,69	28,99	0,28	1,80	0,17
520	0,5	60	10606	102	176,76	1,71	28,28	0,27	1,76	0,16
530	0,5	60	10502	102	175,03	1,70	28,56	0,27	1,78	0,17
540	0,55	60	10629	103	177,15	1,71	31,04	0,29	1,93	0,18
550	0,6	60	10686	103	178,10	1,72	33,68	0,32	2,10	0,20
560	0,65	60	10753	103	179,21	1,72	36,26	0,34	2,26	0,21
570	0,65	60	10608	102	176,80	1,71	36,76	0,35	2,29	0,22
580	0,65	60	10559	102	175,98	1,71	36,93	0,35	2,30	0,22
590	0,7	60	10402	101	173,36	1,69	40,00	0,39	2,52	0,24
600	0,78	60	10635	103	177,25	1,71	44,00	0,42	2,74	0,26
610	0,78	60	10495	102	174,91	1,70	44,59	0,43	2,78	0,26
620	0,78	60	10612	103	176,86	1,71	44,10	0,42	2,75	0,26
630	0,8	60	10675	103	177,91	1,72	44,96	0,43	2,80	0,26
640	0,8	60	10621	103	177,01	1,71	45,19	0,43	2,82	0,27
650	0,82	60	10815	103	180,25	1,73	45,49	0,43	2,83	0,27
660	0,9	60	10927	104	182,11	1,74	49,41	0,46	3,08	0,29
670	0,9	60	10704	103	178,40	1,72	50,00	0,48	3,14	0,30
680	1,0	60	10793	103	179,88	1,73	55,59	0,53	3,46	0,33
690	1,0	60	11083	105	184,71	1,75	54,13	0,50	3,37	0,31
700	1,1	60	11094	105	184,90	1,75	59,49	0,55	3,71	0,34

5 Diskussion

Die Messwerte des Experimentes sind sehr Fehleranfällig. Das Geiger-Müller-Zählrohr hat zu Beispiel bei gleicher Spannung und gleicher β -Quelle in zwei Messungen unterschiedliche Werte aufgenommen. Ein perfektes Geiger-Müller-Zählrohr sollte keinen Platouanstieg haben. Das verwendete Geiger-Müller-Zählrohr hat einen Anstieg von $m = (1,781 \pm 0,038) \frac{1}{\text{min}V}$. Am Ende des Platous soll ein starker Anstieg beobachtet werden. In der Messung bleibt dieser jedoch aus. Das Ende des Platou ist somit nicht klar definiert. Des Weiteren ist das Ablesen des Ampermeters durch Schwankungen erschwert. Zusätzlich kommen beim Ablesen noch parallaxe Fehler hinzu. Beim ablesen vom Oszilloskop sind die Werte sehr ungenau da diese nur geschätzt werden können. Die ermittelte Totzeit mit Hilfe des Oszilloskop beträgt $T_{U=540V} = (3,381 \pm 0,012) \cdot 10^{-6} \text{ min}$. Dagegen ergibt die Totzeitbestimmung durch die zweiseitige Quellenmethode eine Totzeit von $T_{U=540V} = (6,8 \cdot 10^{-6} \pm 434 \cdot 10^{-4}) \text{ min}$. Die beiden Werte sind sehr unterschiedlich es wird daher ein systematischer Fehler angenommen. Die ausgerechneten Werte für Q können mit dem Bereich 4 der Abb. 2 verglichen werden. Die Größenordnung entspricht daher dem Theoriewert.

Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V703*.
- [2] MS Windows NT Kernel Description. <http://web.archive.org/web/20080207010024/http://www.808multimedia.com/winnt/kernel.htm>. Accessed: 2010-09-30.
- [3] Daniel Rubino. *IE9 for Windows Phone 7: Adobe Flash, demos and development*. Hrsg. von Windows Phone Central. URL: <http://www.wpcentral.com/ie9-windows-phone-7-adobe-flash-demos-and-development-videos>.
- [4] Saxo Grammaticus. *Danorum Regum Heroumque Historia. Books X-XVI*. The text of the first edition with ← translation and commentary in three volumes. Bd. 1: *Books X, XI, XII and XIII*. Übers. von Eric Christiansen. BAR International Series 84. Oxford, 1980.
- [5] J. D. Schultheis. *Fun with Reference Citations*. Baltimore (MD), Sep. 2013. doi: \url{doi:10.10.1038/nphys1170}.
- [6] Casio Taschenrechner. In: *fx-991ES*.

V703 Geiger-Müller-Zählrohr

15/05/18

Messreihe 1

N/min	U/V	I/ μ A	N/min	U/V	I/ μ A
0	300	0,00	10629	540	0,55
8471	310	0,05	10686	550	0,6
9946	320	0,1	10753	560	0,65
10611	330	0,1	10608	570	0,65
9963	340	0,15	10559	580	0,65
10277	350	0,2	10402	590	0,7
10365	360	0,2	10635	600	0,78
10254	370	0,2	10495	610	0,78
10406	380	0,21	10612	620	0,78
10228	390	0,21	10675	630	0,8
10238	400	0,21	10621	640	0,8
10330	410	0,25	10815	650	0,82
10429	420	0,3	10927	660	0,9
10424	430	0,38	10704	670	0,9
10475	440	0,4	10793	680	1
10316	450	0,4	110843	690	1
10583	460	0,4	11094	700	1,1
10290	470	0,4			
10437	480	0,41			
10358	490	0,41			
10427	500	0,42			
10348	510	0,5			
10606	520	0,5			
10502	530	0,5			

15.05.18
y_Neut

errorbar (U, N, xerr = None,
yerr = np.sqrt(N))

N , $N_{\text{fit}} = N[6:22]$
 U , $U_{\text{fit}} = \dots$

Abbildung 8: Originale Messdaten

$$\text{Totzeit: } \cancel{U=510V, T=4 \cdot 50\mu s = 200\mu s = 0,2ms}$$

$$U=580V, T=4,2 \cdot 50\mu s$$

$$U=460V, T=3,8 \cdot 50\mu s$$

$$\text{Erholungszeit } U=460V, T=\cancel{2,2} \cdot 2,4 \cdot 0,1ms$$

$$U=510V, T=3,5 \cdot 0,2 ms$$

$$U=580V, T=4,5 \cdot 0,2 ms$$

} noch die
Totzeit
abziehen

c) $N = 10328$, bei $U = 540V$ für Probe 1

beide Proben: $N = 11642$ $U = 540V$

Probe 2: $N = 1185$ $U = 540V$

$$N \pm \sqrt{N}$$

150518
Probe 2

Abbildung 9: Originale Messdaten