

V703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

David Venker
david.venker@tu-dortmund.de

Durchführung: 19.05.20

Abgabe: 26.05.20

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Funktionsweise und Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs	3
2.2 Charakteristik	5
2.3 Totzeit	6
2.4 Zahl der freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen	7
3 Durchführung	7
3.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik	7
3.2 Bestimmung der Totzeit	8
3.3 Bestimmung der freigesetzten Ladungen pro Teilchen	8
4 Auswertung	8
4.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik	8
4.2 Bestimmung der Totzeit	9
4.3 Bestimmung der Anzahl freigesetzten Ladungen pro Teilchen	11
5 Diskussion	12
Literatur	14

1 Zielsetzung

Ziel dieses Experiments ist die Funktionsweise eines Geiger-Müller Zählers zu verstehen, sowie die Effizienz zu bestimmen. Zusätzlich soll die Totzeit berechnet werden.

2 Theorie

2.1 Funktionsweise und Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs

Der Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs ist in Abbildung 1 dargestellt. Er besteht aus einem Stahlmantel, der gleichzeitig als Kathode dient. Der Mantel hat den Radius r_K . Im Inneren des Zylinders befindet sich die entsprechende Anode, ein Draht der darin axial verläuft. Dieser hat den Radius r_a . Außerdem befindet sich im Innenraum noch ein Gasgemisch. Die zu messende Strahlung muss ein Fenster aus Mylar passieren, dieses ist dünn genug um selbst α -Strahlung hindurch zulassen.

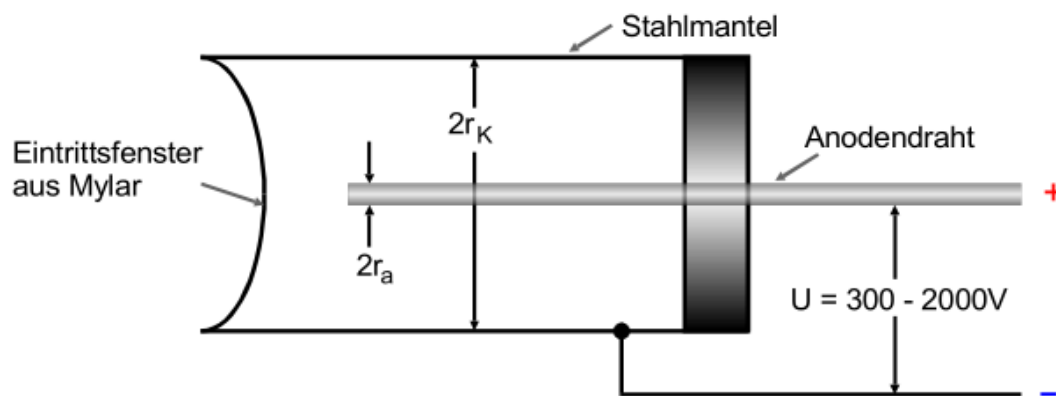


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs. [1]

Nun kann eine äußere Spannung U angelegt werden, diese liegt typischerweise zwischen 300 und 2000 V. Dadurch entsteht zwischen Draht und Mantel ein radialsymmetrisches Feld mit der Feldstärke

$$E = \frac{U}{r \cdot \ln \frac{r_K}{r_a}}. \quad (1)$$

Trifft nun ein Teilchen durch das Fenster in das Zählrohr, wird es zwangsläufig seine Energie an Ionisationsprozesse verlieren. Das bedeutet, es spaltet Verbindungen, sodass danach Elektronen und positive Ionen entstehen. Die danach ablaufenden Prozesse sind stark abhängig von der angelegten Spannung U , diese Abhängigkeit ist in Abbildung 2 dargestellt.

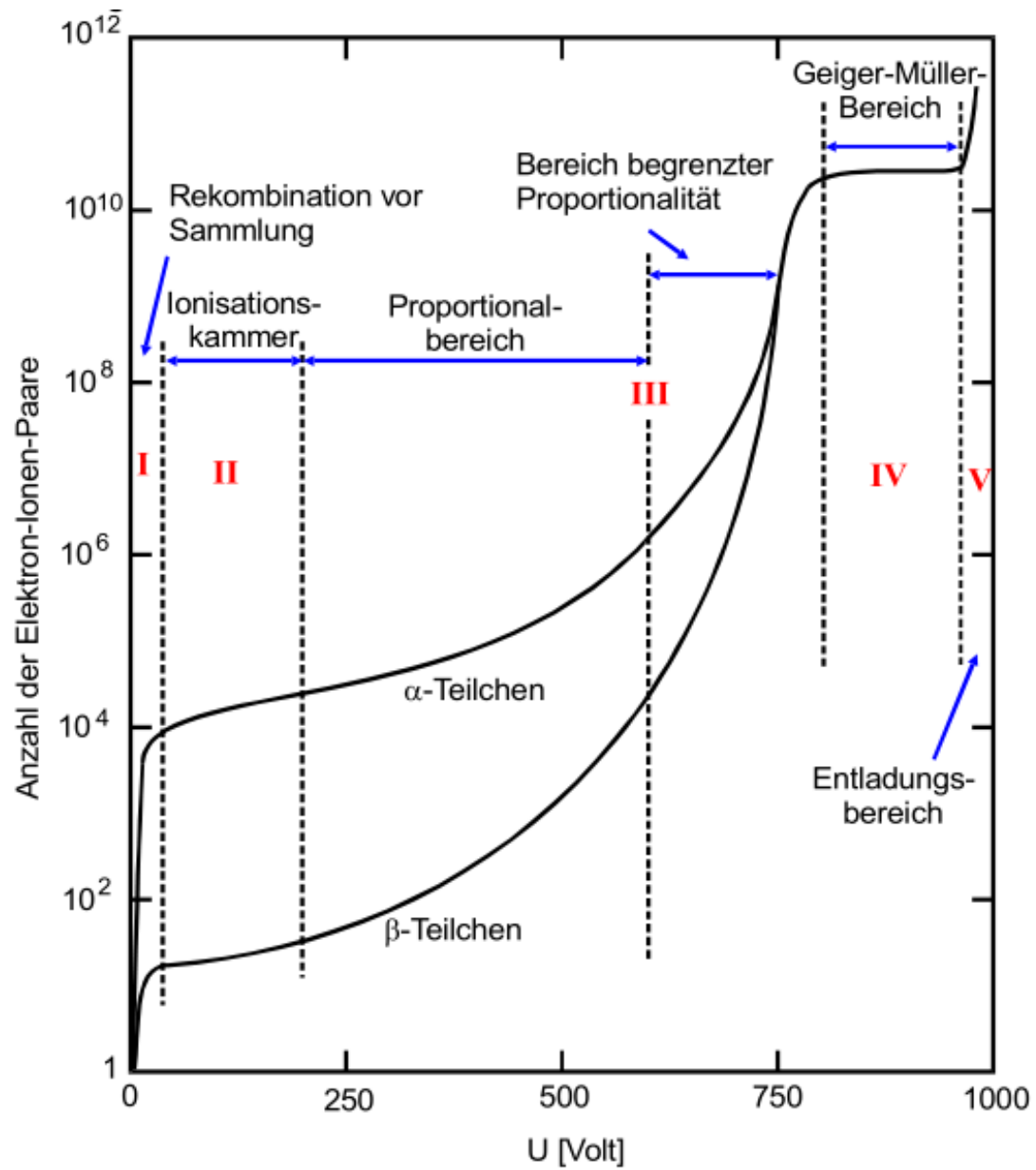


Abbildung 2: Abhängigkeit der gebildeten Paare von der Spannung.[1]

In Sektion I ist die Spannung nicht groß genug, die Elektronen werden nicht schnell genug zum Anodendraht bewegt und sie verlieren ihre gesamte Energie in Folge von Rekombinationsprozessen. Wird die Spannung erhöht verschwindet dieses Problem immer mehr und die Elektronen erreichen fast alle den Draht. Wichtig ist hier, dass der Ionisationsstrom in Bereich II zwischen Anode und Kathode proportional zur Intensität der einfallenden Strahlung ist. Geräte, die in diesem Bereich betrieben werden, werden als Ionisationskammern bezeichnet, einer Vorstufe des Geiger-Müller Zählers. Nach erneuter Erhöhung des Stroms erreichen die Elektronen Energie, die hoch genug sind um selber in Stoßprozessen neue Elektronen-Ionen Paare zu bilden. Die in diesen Stoßionisation gebildeten Elektronen sind ihrerseits auch wieder energetisch genug um weitere Paare zu bilden. Eine solche Welle an Paarbildungen wird auch Townsend-Lawine genannt. Auch in diesem Bereich ist die Energie noch proportional zu der Ladung Q ist, kann dadurch die Teilchenenergie bestimmt werden. Im Bereich IV arbeitet das Geiger-Müller-Zählrohr. Die Proportionalität geht verloren, die Elektronen setzen bei ihren Zusammenstößen zusätzlich Photonen frei, die sich unabhängig vom Elektrischen Feld bewegen können. Es treten überall Ionisationen auf und die Gesamtladung Q hängt schließlich nur noch vom Volumen des Zylinders ab. Nun kann das Zählrohr nur noch die Intensitäten messen.

2.2 Charakteristik

Wird bei konstanter Strahlenintensität die Anzahl der gemessenen Impulse gegen die Spannung aufgetragen entsteht ein Bild wie in Abbildung 3.

Dieses Bild wird Charakteristik genannt und stellt grob die Abhängigkeit in Bereich V aus Abbildung 2 dar. An den Bereich III schließt sich hier der Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohres an. Der Arbeitsbereich wird Plateau genannt und sollte im optimalen Fall keine Steigung besitzen. Aufgrund von unerwünschten Nachentladungen wird diese aber nie null sein, das bedeutet eine optimales Zählrohr hat in diesem Bereich keine Steigung.

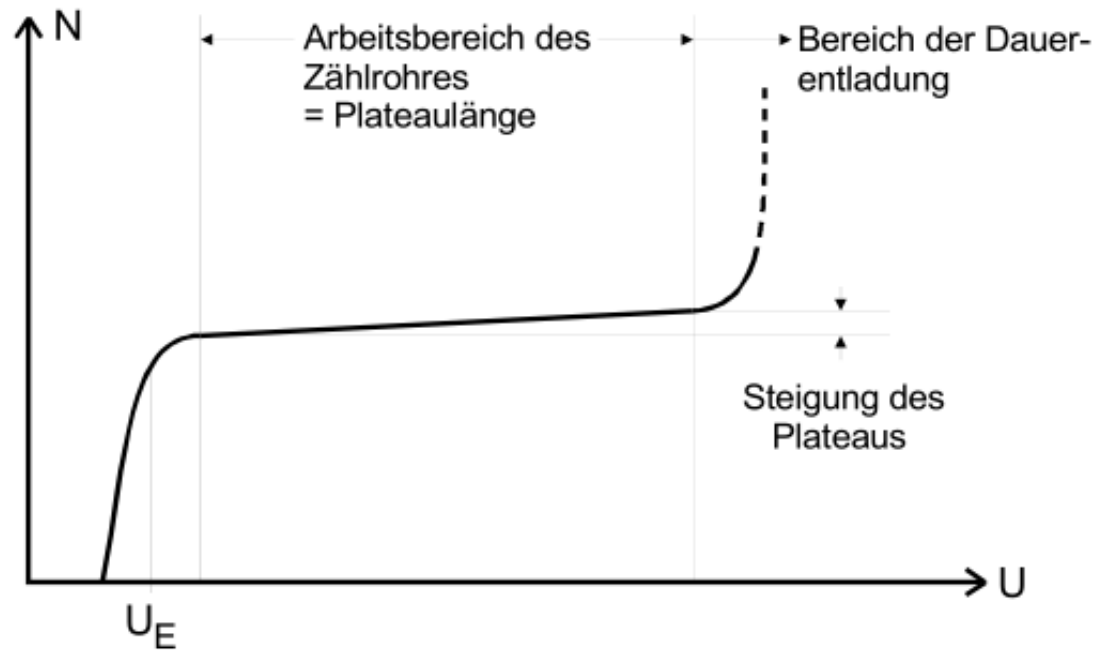


Abbildung 3: Charakteristik eines Zählrohrs bei konstanter Intensität.[1]

2.3 Totzeit

Die sogenannte Totzeit τ kommt durch die bei den Paarbildungen entstandenen positiven Ionen. Aufgrund der Coulomb-Anziehung bewegen sie sich zum Zylindermantel, sie sind allerdings viel träger als die Elektronen und in der Zeit senken sie mit ihrer Ladung das E-Feld herab. Das bedeutet die Elektronen sind unter Umständen erneut zu langsam, wie in Bereich I in Unterabschnitt 2.1 und gehen an den Ionisationen zugrunde. Es würden also Impulse verloren gehen. Ist diese Totzeit bekannt, ist es möglich sie zu korrigieren. Dafür kann die Zwei-Quellen-Methode genutzt werden. Es werden die Intensitäten zweier Quellen gemessen. Schließlich werden die Intensitäten beider Quellen zusammen gemessen, über

$$\frac{N_{1+2}}{1 - \tau \cdot N_{1+2}} = \frac{N_1}{1 - \tau \cdot N_1} + \frac{N_2}{1 - \tau \cdot N_2} \quad (2)$$

kann dann die Totzeit bestimmt werden. Falls für alle Intensitäten gilt $\tau^2 \cdot N^2 \ll 1$ kann τ über

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

bestimmt werden.

2.4 Zahl der freigesetzte Ladungen pro einfallendem Teilchen

Mit der mittleren Zählrohrstrom I und der Intensität N kann die Anzahl der freigesetzten Ladungen pro einfallendem Teilchen

$$Z = \frac{I}{e_0 \cdot N} \quad (4)$$

berechnet werden, dabei ist e_0 die Elektronenladung.

3 Durchführung

3.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

Für die Messungen wird eine Schaltung wie in Abbildung 4 aufgebaut. Auf dem Zählrohr im Geiger-Müller-Zählrohr sammelt sich die Ladung Q , diese fließt dann über den Widerstand R ab und erzeugt eine Spannung. Diese Spannung wird vom Kondensator C ausgekoppelt und daraufhin verstärkt, damit sie dann im Zähler gemessen werden kann.

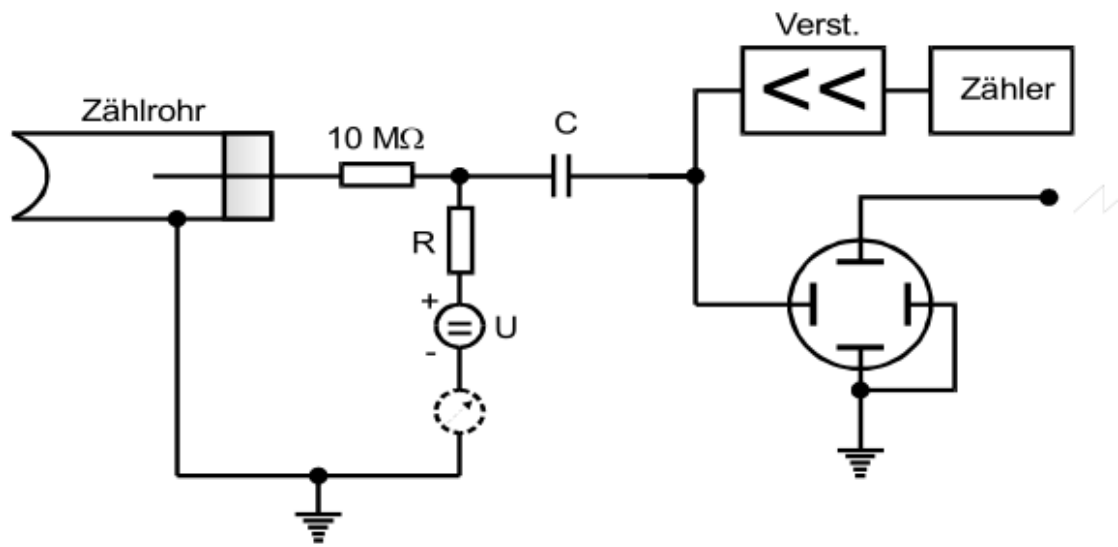


Abbildung 4: Aufbau der Messapparatur

Nun wird eine Thallium-204-Quelle vor das Zählrohr gestellt, ein β -Strahler. Es ist wichtig zu beachten, dass alles so aufgebaut wird, dass die Zählrate nicht 100 Imps/s übersteigt. Das wird getan, damit eine Totzeitkorrektur nicht notwendig ist. Die Zählrohrspannung U wird auf 320 V gesetzt und es werden für je 60 s die Impulse gemessen. Dann wird die

Spannung um 10 V vergrößert und erneut gemessen. Dieser Vorgang wird bis einschließlich 700 V wiederholt. Alle Daten werden notiert.

3.2 Bestimmung der Totzeit

Um die gemessenen Impulse unter einer Totzeitkorrektur anpassen zu können, muss zunächst der Wert für die Totzeit berechnet werden. Zunächst wird die Thallium-204-Quelle näher an das Zählrohr gerückt, da die Intensität hoch genug steigen muss, damit eine Korrektur nötig wird. Dann werden mit einer Integrationszeit von 120 s die Impulse gemessen. Zusätzlich wird eine zweite Quelle verwendet. Für diese wird die gleiche Messung durchgeführt, wie für die erste. Abschließend wird noch eine Messung mit beiden Quellen durchgeführt. Wichtig ist, dass die Abstände der Quellen zum Zählrohr jeweils gleich bleiben, da es sonst die Messung verfälscht. Die drei Werte für die Intensitäten werden notiert.

3.3 Bestimmung der freigesetzten Ladungen pro Teilchen

Die Messung für diesen Teil kann ebenso zusammen mit Unterabschnitt 3.1 durchgeführt werden. Es muss lediglich ab 350 V an, alle 50 V die Stromstärke I abgelesen werden. Dabei hat das Amperemeter eine Ablesegenauigkeit von 0,05 μA .

4 Auswertung

4.1 Aufnahme der Geiger-Müller Charakteristik

Die gemessenen Impulse N sind in Tabelle 3 notiert. Aus diesen Messwerten wird nun ein Plot erstellt, allerdings sind die Impulse mit der Unsicherheit \sqrt{N} gemessen worden und werden für den Plot durch ihre Integrationszeit 60 s geteilt. Der zugehörige Plot ist dann in Abbildung 5 zu sehen.

Wird das Ergebnis mit der Theorie verglichen, ist zu erkennen, dass hier ein Plateau dargestellt ist. Von diesem wird nun die Steigung bestimmt. Dafür wird eine lineare Ausgleichsgerade durch die Messwerte gelegt, die am ehesten in diesem Bereich liegen. In diesem Fall wird das Plateau von 370 V bis 640 V angenommen. Die Ausgleichsgerade besitzt dann die Form

$$N = a \cdot U + b \quad (5)$$

mit den Parametern

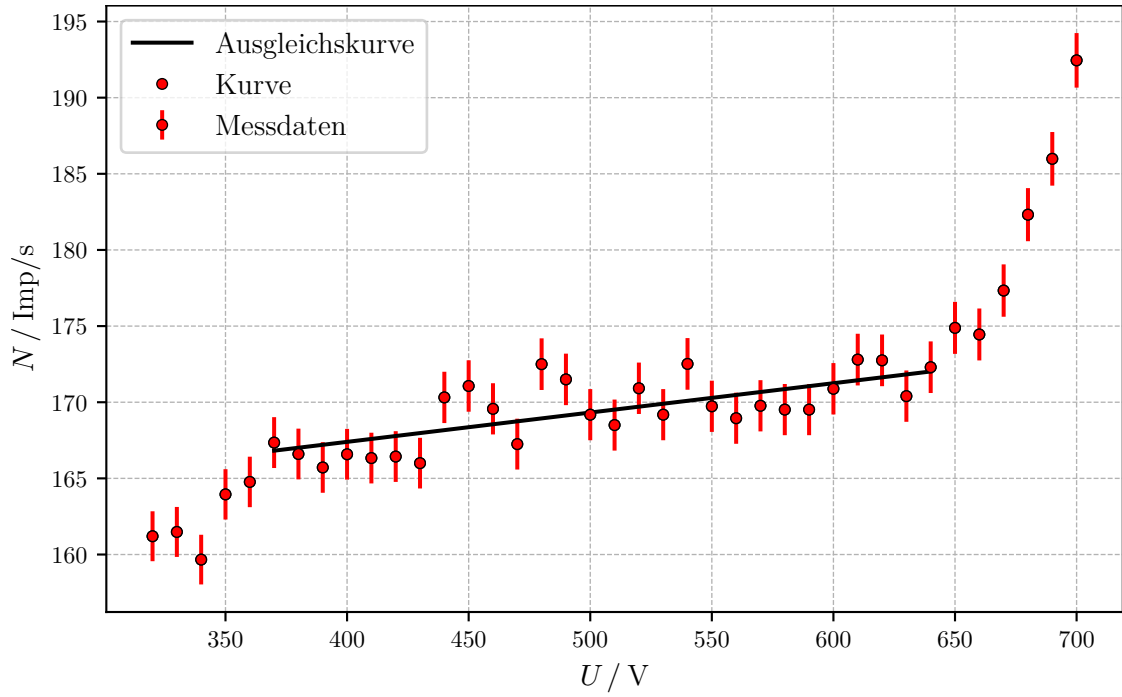


Abbildung 5: Plot der Geiger-Müller-Charakteristik

$$a = (0,019 \pm 0,004) \text{ Imp/Vs} \quad (6)$$

$$b = (160 \pm 2) \text{ Imp/s}. \quad (7)$$

Die Plateauausstieg wird in % pro 100 V angegeben, das gelingt über die Umformung

$$a_{\text{Plateau}} = \frac{a \cdot 100}{b}. \quad (8)$$

Daraus ergibt sich dann das Ergebnis

$$a_{\text{Plateau}} = (1,21 \pm 0,23) \% / 100\text{V}. \quad (9)$$

4.2 Bestimmung der Totzeit

Aus den Messungen kriegen wir dann drei verschiedene Werte für N , einmal für die Quelle 1 und für Quelle 2 und für beide zusammen. Es ergeben sich dann folgende Werte

$$N_1 = (96\,041 \pm 310) \text{ Imp}/120\text{s} \quad (10)$$

$$N_{1+2} = (158\,479 \pm 398) \text{ Imp}/120\text{s} \quad (11)$$

$$N_2 = (76\,518 \pm 277) \text{ Imp}/120\text{s}. \quad (12)$$

Aus der Theorie kann die Näherung (3) verwendet werden, um die Totzeit τ zu berechnen. Bevor die Werte eingesetzt werden, werden sie durch 120 geteilt, um einen Wert pro Sekunde zu erhalten, es ergibt sich dann

$$\tau = (115 \pm 4) \mu\text{s}. \quad (13)$$

Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung der Totzeit ist über ein Oszilloskop. In Abbildung 6 ist die Aufnahme dargestellt.

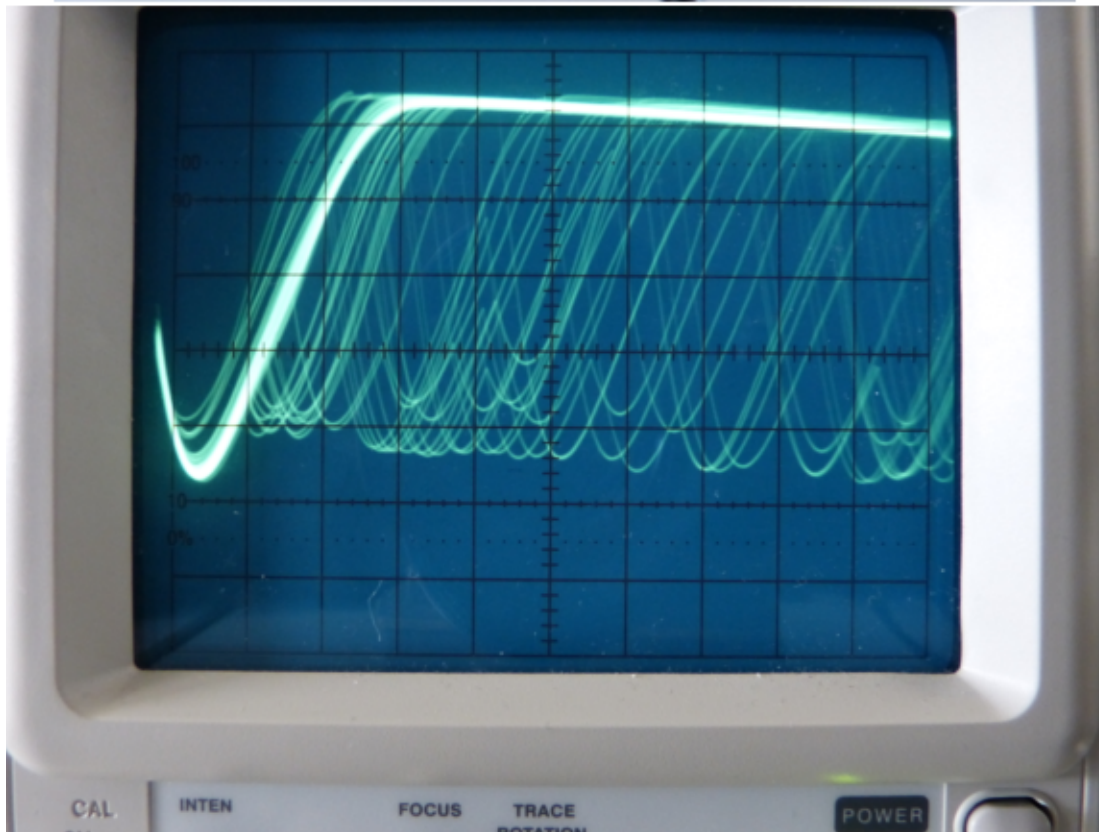


Abbildung 6: Momentaufnahme eines Oszilloskopbildes.

Die Zeitachse ist auf $100 \mu\text{s}/\text{DIV}$ kalibriert. Dann wird die Totzeit aus dem Bild als etwa

$$\tau = 100 \pm 50 \mu\text{s}/\text{DIV} \quad (14)$$

abgelesen.

4.3 Bestimmung der Anzahl freigesetzten Ladungen pro Teilchen

Parallel zu der ersten Messung wurden die Stromstärken zu bestimmten Spannungen gemessen. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 2 notiert.

Tabelle 1: Zählrohrstrom in Abhängigkeit der Spannung

U / V	$I / \mu\text{A}$
350	0,3
400	0,4
450	0,7
500	0,8
550	1,0
600	1,3
650	1,4
700	1,8

Mit (4) kann aus I und dem entsprechenden Wert für N aus Tabelle 3 dann die Zahl Z berechnet werden, die Anzahl der freigesetzten Ladungen pro Teilchen. Dann ergeben sich acht verschiedene Werte für Z , die ebenfalls geplottet werden.

Tabelle 2: Zählrohrstrom in Abhängigkeit der Spannung

$I / \mu\text{A}$	Z / e^{16}
0,3	$1,14 \pm 0,19$
0,4	$1,50 \pm 0,19$
0,7	$2,55 \pm 0,18$
0,8	$2,95 \pm 0,19$
1,0	$3,68 \pm 0,19$
1,3	$4,75 \pm 0,19$
1,4	$5,00 \pm 0,18$
1,8	$5,84 \pm 0,17$

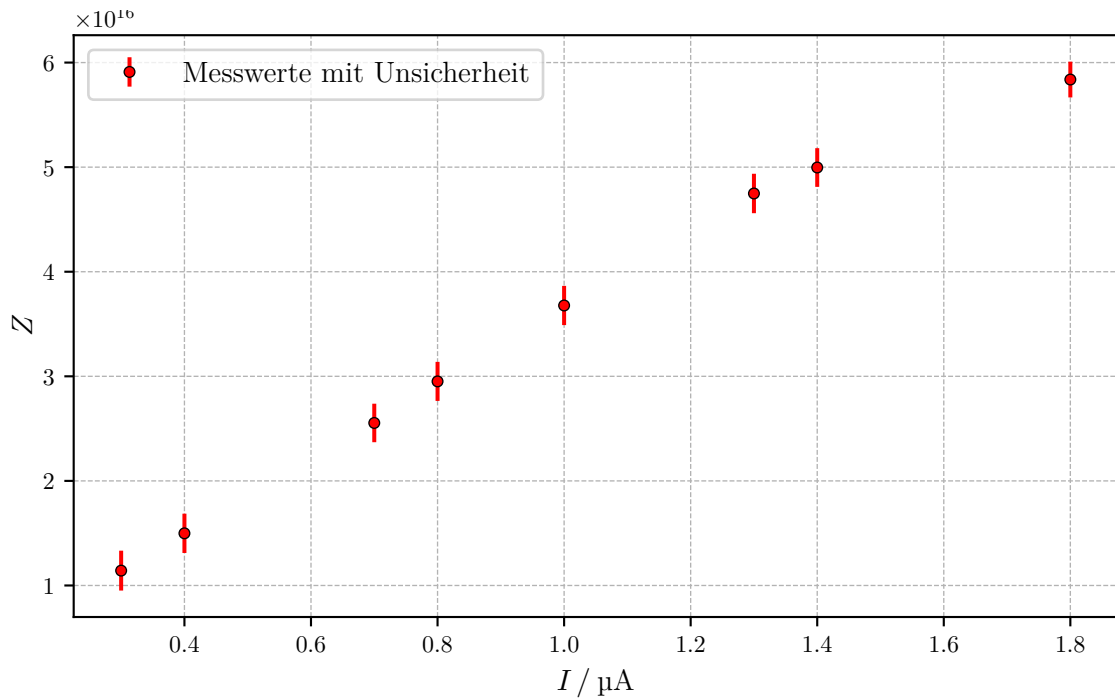


Abbildung 7: Ergebnisse der Berechnung von Z

5 Diskussion

Mit einer Unsicherheit von $(1,21 \pm 0,23) \text{ \%}/100\text{V}$ ist das Zählrohr recht ungenau, besonders bei höheren Spannungen. Der Wert ist an sich sehr ungenau, da hier mit Augenmaß bestimmt werden musste, von wo bis wo das Plateau festgelegt wird. Daher ist die ausgerechnete Steigung nicht sehr zuverlässig. Die Totzeit τ liegt mit etwa $(115 \pm 4) \mu\text{s}$ etwa im Bereich, in dem andere Zählrohortotzeiten liegen. In einem vorherigen Versuch lag diese beispielsweise bei $90 \mu\text{s}$. [2] Über das Oszilloskop kann nur eine sehr ungenaue Aussage über die Totzeit getroffen werden, allerdings liegt sie mit ihrer Unsicherheit im gleichen Bereich, wie die berechnete, daher kann der Wert als gute Näherung angesehen werden. Es ist zu sehen, dass die Werte für Z auf einer gut genäherten Gerade liegen, die berechneten Werte weisen nur wenig Abweichung auf.

Tabelle 3: Messergebnisse der Geiger-Müller Charakteristik.

U / V	N / Imp
320	9672
330	9689
340	9580
350	9837
360	9886
370	10 041
380	9996
390	9943
400	9995
410	9980
420	9986
430	9960
440	10 219
450	10 264
460	10 174
470	10 035
480	10 350
490	10 290
500	10 151
510	10 110
520	10 255
530	10 151
540	10 351
550	10 184
560	10 137
570	10 186
580	10 171
590	10 171
600	10 253
610	10 368
620	10 365
630	10 224
640	10 338
650	10 493
660	10 467
670	10 640
680	10 939
690	11 159
700	11 547

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 703 Geiger-Müller Zählrohr*. 2020.
- [2] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 603 Der Compton-Effekt*. 2020.