

703

Geiger-Müller-Zählrohr

Ann-Sophie Schubert
ann-sophie.schubert@udo.edu

Lars Funke
lars.funke@udo.edu

Durchführung: 31.05.2016

Abgabe: 07.06.2016

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	4
2	Theorie	4
2.1	Einführung und Aufbau	4
2.2	Funktionsprinzip	4
2.3	Ioneneffekte	6
2.4	Charakteristik	6
3	Aufbau und Durchführung	7
4	Auswertung	8
4.1	Zählrohr-Charakteristik	8
4.2	Bestimmung der Totzeit	8
4.3	Freigesetzte Ladungsmenge	11
5	Diskussion	14
	Literatur	14

1 Ziel

In diesem Versuch soll die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht werden. Dazu werden die Plateauausdehnung des Geiger-Müller-Bereichs, die Tot- und Erholungszeit, die Zeit zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls, sowie die pro Impuls freigesetzte Ladung bestimmt.

2 Theorie

2.1 Einführung und Aufbau

Ein Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Messgerät zur Detektion ionisierender Strahlung. Beim Auftreffen eines Teilchens von α -, β - und teilweise auch γ -Strahlung fließt ein Impulsstrom. Diese Ereignisse können mit einem Zähler aufgenommen oder mit einem Lautsprecher als typisches Knacken hörbar gemacht werden.

Das Gerät besteht aus einem einseitig offenen Stahlzylinder, wobei die offene Seite mit einer Mylar-Folie verschlossen ist, die dünn genug ist, um sogar von α -Teilchen durchdrungen zu werden. Im Zylinder ist ein Anodendraht isoliert befestigt; der Zylinder ist mit einem Gas gefüllt, welches durch die eintreffenden Partikel ionisiert werden kann. Zwischen Stahlzylinder und Anodendraht wird eine Spannung zwischen 300 V und 1000 V angelegt. Der Aufbau des Geräts ist auch Abb. 1 zu entnehmen.

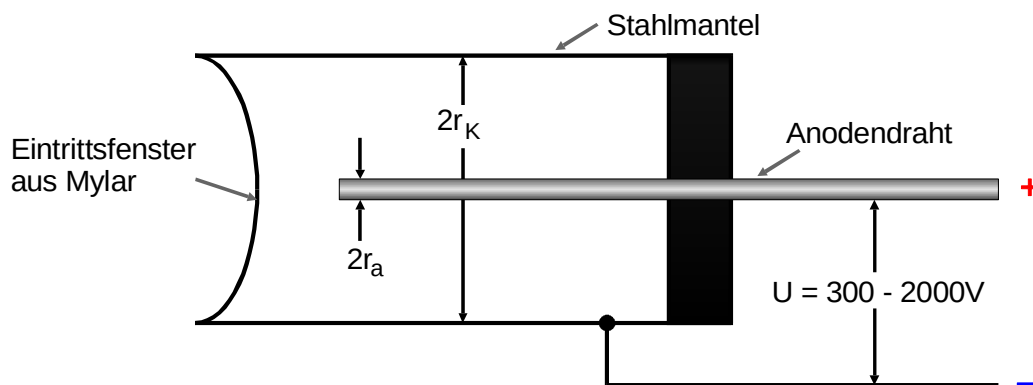


Abbildung 1: Schnittbild eines Geiger-Müller-Zählrohrs mit Endfenster. [1]

2.2 Funktionsprinzip

Wenn nun ein Teilchen durch das Eintrittsfenster in den Gasraum eintritt, ionisiert es solange durch Stoßprozesse Gasatome, bis seine kinetische Energie null ist. Die darauf folgenden Prozesse sind abhängig von der angelegten Spannung U . In Abb. 2 sind die im Nachfolgenden beschriebenen Bereiche grafisch aufgetragen und markiert. In Bereich I rekombinieren die Ionen und Elektronen größtenteils wieder, nur eine kleine Zahl von Elektronen erreicht den Anodendraht. Wenn man nun die Spannung leicht erhöht, werden

proportional mehr Elektronen „abgesogen“ (Bereich II). In Bereich III können die von der Spannung beschleunigten Elektronen so viel Energie aufnehmen, dass durch Stöße weitere Gasatome ionisiert werden. Dies führt zu einer Kettenreaktion, der sogenannten *Townsend-Lawine*. Die freigesetzte Ladung ist nun in einem messbaren Bereich und weiterhin Proportional zur Intensität sowie zur Energie. Im *Geiger-Müller-Bereich* (IV), in dem das untersuchte Gerät arbeitet, ist die Energie der Elektronen dann so hoch, dass durch zusätzlich freigesetzte UV-Photonen das gesamte Gasvolumen ionisiert wird. Die freigesetzte Ladung ist dann nicht mehr proportional zur Energie der auftreffenden Teilchen, es ist nur noch die Detektion ihres Eintreffens (mit einfachen Mitteln) möglich. Wird die Spannung weiter erhöht (Bereich V), nimmt die Anzahl der Nachentladungen stark zu und es kommt zu einer dauerhaften Gasentladung, die das Zählrohr schnell zerstören würde.

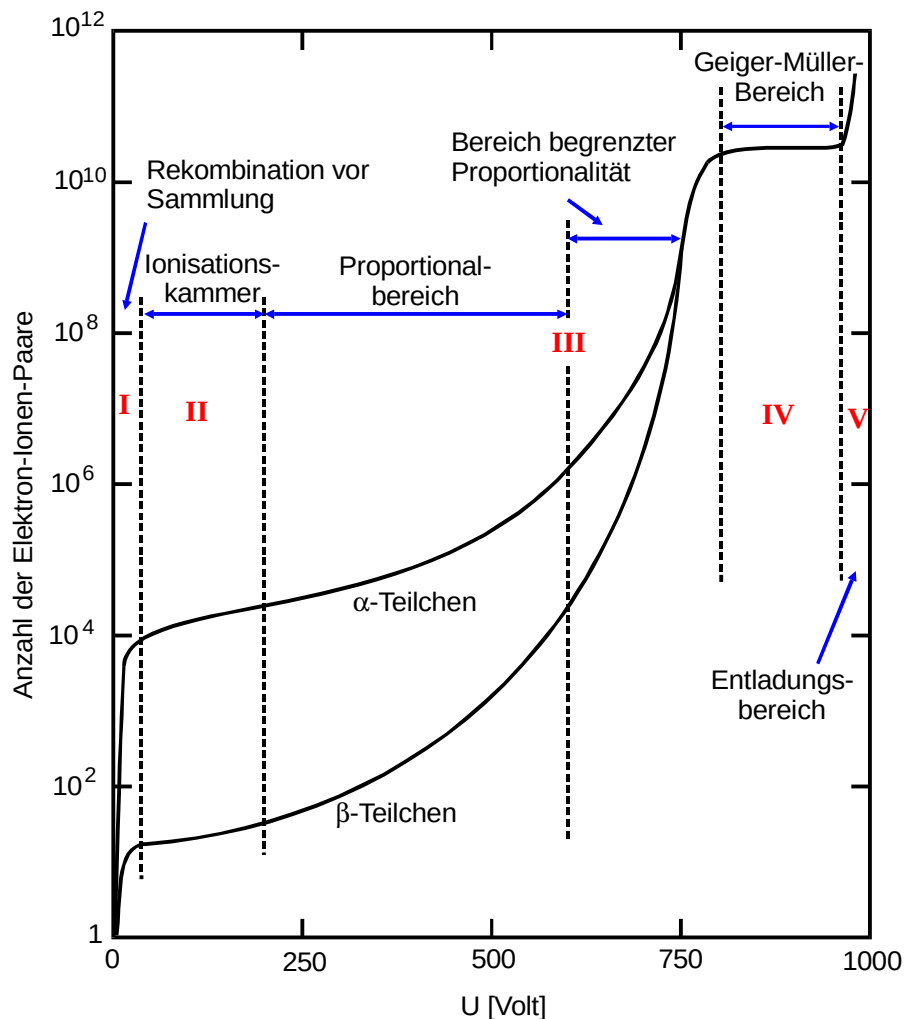


Abbildung 2: Anzahl der ionisierten Gasatome in Abhängigkeit der Spannung im Zählrohr. [1]

2.3 Ioneneffekte

Durch die durch Stoßionisation gebildeten Gasionen, die sich (im Vergleich zu den Elektronen) nur langsam in Richtung des Zylinders bewegen, wird die Feldstärke des Anodendrahtes nach einem Impuls kurzzeitig abgeschirmt. In dieser Zeit sind keine erneuten Ionisationen möglich, daher nennt man den Zeitraum, bis wieder neue Impulse aufgenommen werden können *Totzeit* T . Durch den gleichen Effekt stehen bei einem Ereignis kurz nach dem Ende der Totzeit noch nicht wieder alle Gasatome zur Verfügung, daher ist die freigesetzte Ladung bis zum verstreichen der *Erholungszeit* T_E herabgesetzt. Beide Zeiten sind in Abb. 3 grafisch verdeutlicht. Beim Auftreffen der Ionen auf den

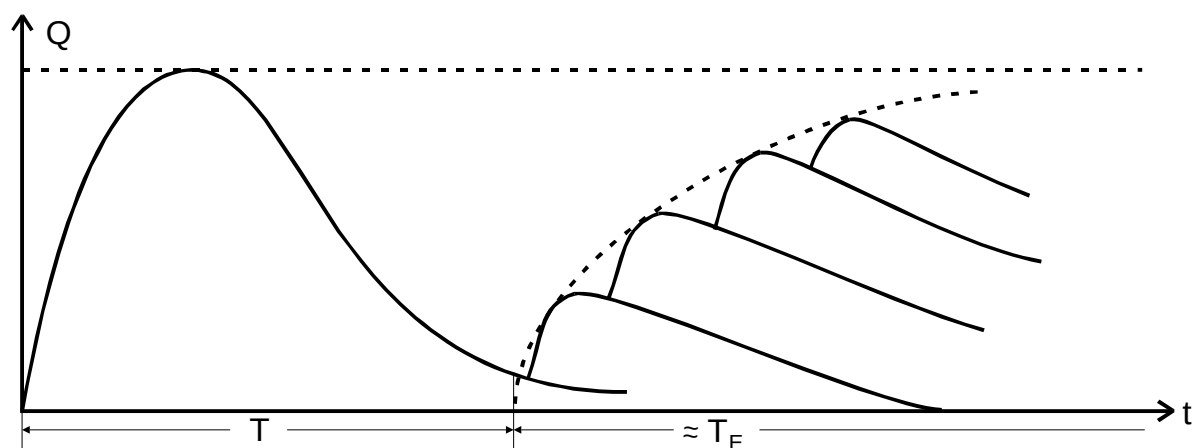


Abbildung 3: Grafische Darstellung von Tot- und Erholungszeit. [1]

Zylindermantel werden teilweise Sekundärelektronen freigesetzt. Diese sind in der Lage, wiederum eine Lawinenionisation auszulösen. Diesen Effekt nennt man *Nachentladung*, er ist unerwünscht und lässt sich durch das Einbringen einer geringen Menge von Alkoholdampf in das Zylindervolumen reduzieren, da bei seiner Ionisation keine Elektronen freierwerden.

2.4 Charakteristik

Die Abhängigkeit der Zählrate von der Zählrohrspannung nennt man *Charakteristik*. Im Geiger-Müller-Bereich ist eigentlich eine konstante Zählrate zu erwarten. Allerdings wird aufgrund der Nachentladungen, die mit steigender Spannung zunehmen, eine Kurve wie in Abb. 6 erreicht. Es wird eine möglichst geringe Steigung des Plateaus angestrebt. Diese soll im Versuch bestimmt werden.

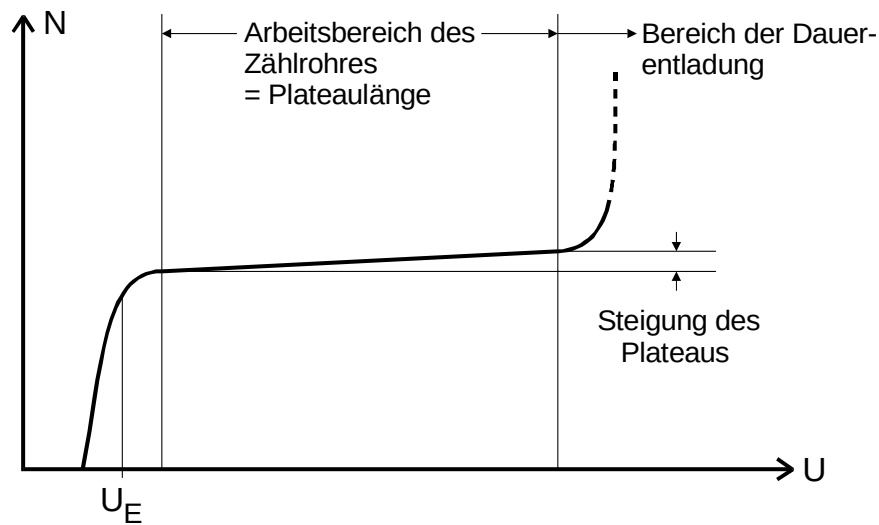


Abbildung 4: Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohrs.[1]

3 Aufbau und Durchführung

Um mit dem Geiger-Müller-Zählrohr Zählraten aufzunehmen, wird eine Schaltung wie in Abb. 5 genutzt. Vor dem Zählrohr wird eine Probe aus Thallium-204 angebracht. Der Impulsstrom fließt durch den Widerstand R und lädt den Kondensator C . Das dortige Signal wird verstärkt und kann entweder mit einem Zähler gezählt oder auf einem Oszilloskop zur näheren Untersuchung betrachtet werden. Um die Steigung des Geiger-

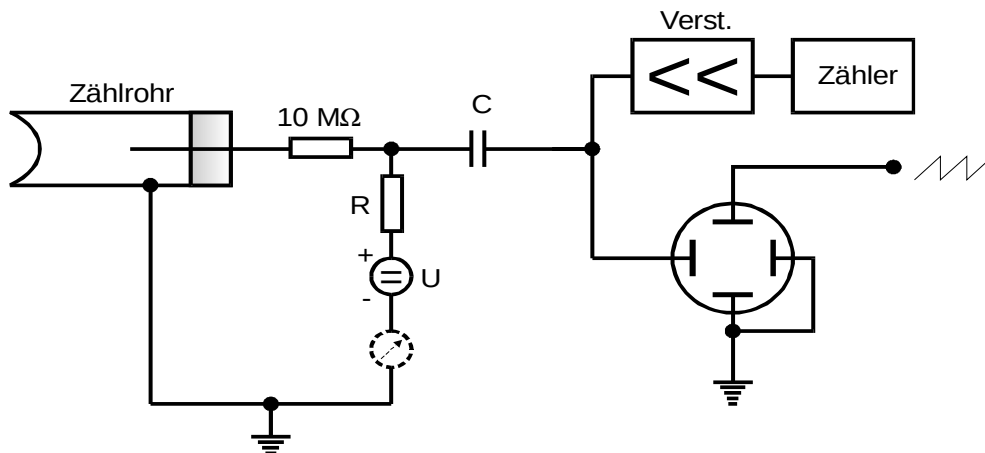


Abbildung 5: Skizze der Messapparatur. [1]

Müller-Plateaus zu bestimmen wird die Zählrate in Abhängigkeit von der Spannung aufgenommen. Weiterhin wird auf dem Oszilloskop der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladung abgelesen. Um Tot- und Erholungszeit mit dem Oszilloskop zu bestimmen, wird die Intensität des Strahlers abgesenkt, bis einzelne Impulse auf dem

Schirm sichtbar sind. Die Totzeit wird daraufhin noch mit der Zwei-Quellen-Methode bestimmt. Dazu wird nacheinander mit einem, zwei und dann dem zweiten Präparat allein die Messung durchgeführt. Daraus kann angenähert über

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

die Totzeit bestimmt werden, wobei N_i die jeweiligen Messraten bezeichnet.

4 Auswertung

4.1 Zählrohr-Charakteristik

Zur Darstellung der Zählrohr-Charakteristik wird die Zählrate N gegen die Spannung U aufgetragen. Um die Zählrate N aus der gemessenen Impulszahl n_{Impuls} zu erhalten, wird diese durch das entsprechende Zeitintervall, hier $\Delta t = 10\text{s}$ geteilt. Der Fehler der Zählrate ergibt sich aus

$$\Delta N = \frac{\sqrt{n_{\text{Impulse}}}}{\Delta t}. \quad (2)$$

Die Messwerte sowie der dazugehörige Fehler, sind in Tabelle 1 dargestellt. Die grafische Darstellung, ist in Abbildung 6 zu sehen. Für den Bereich des Plateaus ((410-640)V) wird eine lineare Ausgleichsrechnung der Form $y = ax + b$ durchgeführt. Für Die Parameter a und b ergibt sich

$$a = (0,05 \pm 0,01) \frac{1}{\text{Vs}} \quad (3)$$

$$b = (408,40 \pm 6,81) \frac{1}{\text{s}} \quad (4)$$

Die prozentuale Steigung m des Plateaus pro 100volt folgt mithilfe von

$$m = \frac{a \cdot 100}{N(500\text{V})}. \quad (5)$$

Mit $N(500\text{V}) = 417,1 \frac{1}{\text{s}}$ beträgt diese

$$m = (0,012 \pm 0,002) = (1.2 \pm 0.2)\%. \quad (6)$$

Der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls bei geringer Strahlintensität beträgt

$$\Delta t \approx 225\mu\text{s}. \quad (7)$$

4.2 Bestimmung der Totzeit

Zunächst wird die Totzeit T sowie die Erholungszeit T_E durch Abschätzen auf dem Oszillographen bestimmt.

$$T = 150\mu\text{s} \quad (8)$$

$$T_E = 300\mu\text{s} \quad (9)$$

$$(10)$$

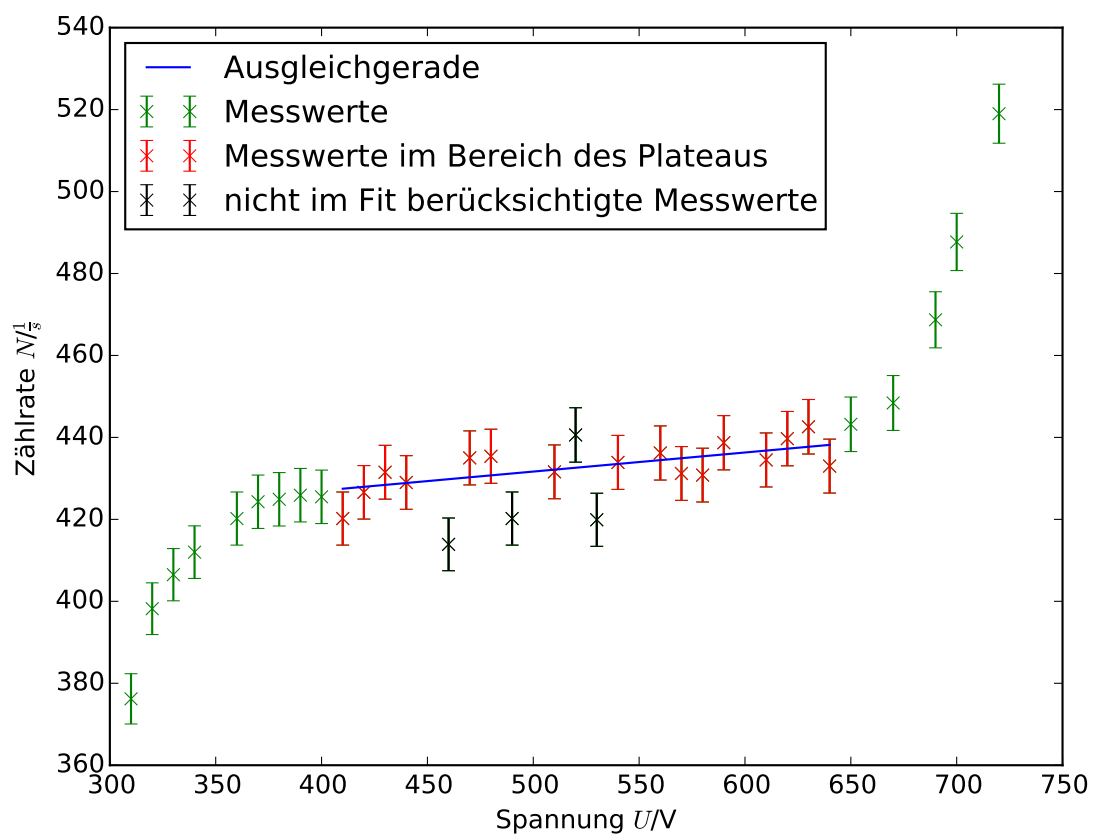


Abbildung 6: Charakteristik des Zählrohrs mit Ausgleichsgerade im Bereich des Plateaus

Tabelle 1: Zählrate N in Abhängigkeit von der Spannung U .

U/V	$N/\frac{1}{\text{s}}$
310	376,2 \pm 6,13
320	398,2 \pm 6,31
330	406,5 \pm 6,38
340	412,0 \pm 6,42
360	420,2 \pm 6,48
370	424,3 \pm 6,51
380	424,9 \pm 6,52
390	425,9 \pm 6,53
400	425,5 \pm 6,52
410	420,2 \pm 6,48
420	426,6 \pm 6,53
430	431,5 \pm 6,57
440	429,0 \pm 6,55
460	413,9 \pm 6,43
470	435,0 \pm 6,60
480	435,4 \pm 6,60
490	420,2 \pm 6,48
510	431,6 \pm 6,60
520	440,6 \pm 6,64
530	419,9 \pm 6,48
540	433,9 \pm 6,59
560	436,2 \pm 6,60
570	431,2 \pm 6,57
580	430,8 \pm 6,56
590	438,7 \pm 6,62
610	434,5 \pm 6,59
620	439,7 \pm 6,63
630	442,6 \pm 6,65
640	433,0 \pm 6,58
650	443,2 \pm 6,66
670	448,4 \pm 6,70
690	468,7 \pm 6,85
700	487,7 \pm 6,98
720	519,0 \pm 7,20

Außerdem wird die Totzeit mittels der Zwei-Quellen-Methode bestimmt. Für die gemessenen Zählraten lässt sich der Fehler erneut nach Gleichung 2 ermitteln. Somit ergeben sich für die Zählraten folgende Werte:

$$N_1 = (225,890 \pm 4,75) \frac{1}{\text{s}} \quad (11)$$

$$N_2 = (247,830 \pm 4,98) \frac{1}{\text{s}} \quad (12)$$

$$N_{1+2} = (377,610 \pm 6,14) \frac{1}{\text{s}}. \quad (13)$$

Die Totzeit lässt sich nach

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (14)$$

berechnen. Da die Werte fehlerbehaftet sind, wird eine Fehlerrechnung mit uncertainties in Python durchgeführt. Damit ergibt sich:

$$T \approx (86 \pm 7) \mu\text{s}. \quad (15)$$

4.3 Freigesetzte Ladungsmenge

Für die vom Zählrohr freigesetzte Ladung gilt folgender Zusammenhang:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z, \quad (16)$$

wobei I die gemessenen Stromstärke, ΔQ der freigesetzten Ladung und Z der Anzahl der Teilchen entspricht, die im Zeitraum Δt gemessen werden. Um den Zusammenhang zwischen der freigesetzten Ladung ΔQ und der Spannung zu untersuchen, wird ΔQ aus den gemessenen Stromstärken berechnet und gegen die Spannung U aufgetragen. Dies ist in Abbildung 7 dargestellt. Die entsprechenden Messwerte sowie die freigesetzte Ladung in Einheiten der Elementarladung sind in Tabelle 2 zu finden. Wie Abbildung 7 zeigt, ist der Zusammenhang zwischen ΔQ und U linear. Für die Ausgleichgerade gilt:

$$\Delta Q = ((3,21 \pm 0.06) \cdot 10^8) \frac{1}{\text{V}} x + (893,55 \pm 30,77) \cdot 10^8 \quad (17)$$

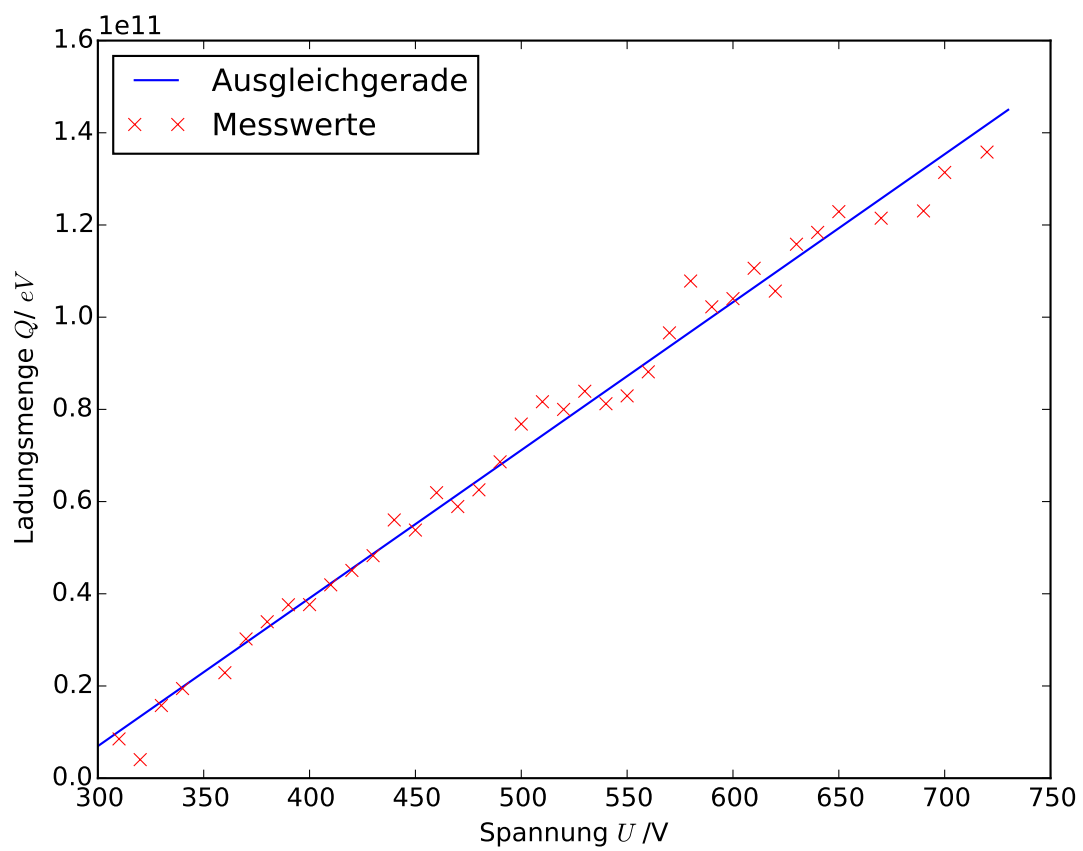


Abbildung 7: Freigesetzte Ladung ΔQ in Abhängigkeit von der Spannung U

Tabelle 2: Stromstärke I , Impulszahl n_{Impuls} und die daraus berechnete freigesetzte Ladungsmenge ΔQ in Abhängigkeit von der Spannung.

U/V	$I/\mu\text{A}$	n_{Impuls}	$\Delta Q/\mu\text{C}$	$\frac{\Delta Q}{e_0}/10^{10}$
320	0,1	4250	0,0002	0,12
310	0,2	3762	0,0005	0,31
330	0,4	4065	0,0010	1,58
340	0,5	4120	0,0012	1,94
360	0,6	4202	0,0014	2,29
370	0,8	4266	0,0019	3,00
380	0,9	4315	0,0021	3,34
400	1,0	4312	0,0023	3,72
390	1,0	4290	0,0023	3,73
410	1,1	4139	0,0027	4,26
420	1,2	4350	0,0028	4,42
430	1,3	4354	0,0030	4,78
450	1,4	4432	0,0032	5,06
440	1,5	4202	0,0036	5,72
470	1,6	4406	0,0036	5,81
460	1,6	4316	0,0037	5,94
480	1,7	4199	0,0040	6,49
500	2,0	4877	0,0041	6,57
490	1,8	4339	0,0041	6,65
550	2,2	5190	0,0042	6,79
540	2,2	4387	0,0050	8,03
510	2,2	4362	0,0050	8,08
520	2,2	4312	0,0051	8,17
530	2,2	4308	0,0051	8,18
560	2,4	4345	0,0055	8,85
570	2,6	4397	0,0059	9,47
620	2,9	4687	0,0062	9,91
590	2,8	4330	0,0065	10,36
580	2,9	4426	0,0066	10,50
600	2,8	4202	0,0067	10,68
610	3,0	4484	0,0067	10,72
690	3,6	4687	0,0077	12,31
640	3,2	4120	0,0078	12,44
630	3,2	4065	0,0079	12,61
650	3,4	4243	0,0080	12,84
670	3,4	3762	0,0090	14,48
700	4,0	4249	0,0094	15,08
720	4,4	4259	0,010	16,55

5 Diskussion

Bei der Auftragung der Zählrate N gegen die Spannung U zeigt sich der typische Verlauf einer Charakteristik eines Zählrohrs. Das Plateau ((410-650)V) wird durch einen linearen Zusammenhang mit einer Steigung von $m = (1,2 \pm 0,2)\%$ beschrieben. Die Ausgleichsgerade liegt im Bereich der Fehlerbalken der Messwerte, welche in der Ausgleichsrechnung berücksichtigt werden. Nur wenige Werte weichen so stark ab, dass sie von der Ausgleichsrechnung ausgeschlossen werden. Der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls kann beim Ablesen auf dem Oszillographen nur grob abgeschätzt werden, da dies auf dem Oszillographen nur kurze Zeit zu erkennen ist. Er beträgt $\delta t \approx 225\mu\text{s}$. Der durch Ablesen geschätzte Wert für die Totzeit beträgt $T \approx (150)\mu\text{s}$, der mittels der Zwei-Quellen-Methode berechnete Wert $T \approx (86 \pm 7)\mu\text{s}$. Somit liegen die beiden Werte in der gleichen Größenordnung. Der berechnete Wert weicht um $(74,70 \pm 1,3)\%$ vom Abgeschätzten ab. Die freigesetzte Ladungsmenge ΔQ hängt linear von der Spannung U ab. Die Ausgleichsgerade hat die Form $\Delta Q = ((3,21 \pm 0.06) \cdot 10^8) \frac{1}{V}x + (893,55 \pm 30,77) \cdot 10^8$.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 703: Geiger-Müller-Zählrohr*.
- [2] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [3] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.