

V703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Julian Hochhaus
julian.hochhaus@tu-dortmund.de

Niko Salewski
niko.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 27.06.2017

Abgabe: 04.07.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	1
2	Theorie	1
2.1	Einleitung	1
2.2	Spannungsabhängigkeit der Elektron-Ionen-Paare in einem Zählrohr . . .	1
2.3	Totzeit und Nachentladungen	3
2.4	Charakteristik eines Zählrohres	4
2.5	Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode	4
2.6	Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge	5
3	Durchführung	5
3.1	Versuchsaufbau	5
3.2	Versuchsbeschreibung	6
4	Auswertung	7
4.1	Charakteristik des untersuchten Halogen-Zählrohrs	7
4.2	Untersuchung von Nachentladungen	10
4.3	Bestimmung der Totzeit aus dem Oszilloskopbild	10
4.4	Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode	10
4.5	Bestimmung der freigesetzten Ladung pro einfallendem Teilchen in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung	11
5	Diskussion	12
	Literatur	13

1 Zielsetzung

Im vorliegenden Versuch wird das Geiger-Müller-Zählrohr untersucht und seine Kenndaten wie der Plateau-Anstieg, welcher Aussagen über die Güte des Geiger-Müller-Zählrohrs trifft, und die Totzeit untersucht. Geiger-Müller-Zählrohre dienen zur Untersuchung der Intensität ionisierender Strahlung.

2 Theorie

2.1 Einleitung

Das Geiger-Müller-Zählrohr misst die Intensität ionisierender Strahlung. In Abbildung 4 ist der prinzipielle Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs dargestellt. Tritt ionisierende Strahlung – α -, β - oder γ -Strahlung – in die Röhre ein, werden die in der Röhre befindlichen Gasatome ionisiert. Dadurch entstehen freie Elektronen, die sich durch das elektrische Feld zur Anode bewegen und dort mit einem elektronischen Impulszähler gemessen werden können. Das radialsymmetrische Feld zwischen Anode und Kathode ist von der Spannung abhängig und durch den Zusammenhang

$$|\vec{E}(|\vec{r}|)| = \frac{U}{|\vec{r}| \ln(r_k/a)}, \quad (1)$$

wobei r_k dem Radius der Röhre und r_a dem Radius des Anodendrahtes entspricht. Nach dem Eintritt eines ionisierenden Teilchens in die Röhre gibt dieses durch Ionisationsakte seine Energie ab. Die Anzahl der dadurch entstandenen Elektron-Ionen-Paare ist proportional zur Energie des ionisierenden Teilchens. Vorgänge, die nach der Ionisation auftreten, hängen von der Stärke des Feldes und damit von der angelegten Spannung ab. In Abbildung 1 ist ein typischer Verlauf von gemessenen Elektron-Ionen-Paaren bei steigender Spannung für α - bzw. β -Teilchen zu sehen. Diese sechs Bereiche werden im Folgenden genauer erläutert.

2.2 Spannungsabhängigkeit der Elektron-Ionen-Paare in einem Zählrohr

Im Bereich I liegt ein schwaches Feld vor, sodass aufgrund der niedrigen Energie der freien Elektronen Rekombinationsprozesse auftreten. Es erreicht nur ein Teil der Elektronen die Anode.

Die Rekombinationswahrscheinlichkeit sinkt bei steigender Spannung. Es erreichen nahezu alle freien Elektronen die Anode. Daher stellt sich im Bereich II ein proportionaler Zusammenhang zwischen dem Strom zwischen Anode und Kathode – dem Ionisationsstrom – und der Intensität der ionisierenden Strahlung ein. Dieser Bereich wird **Ionisationskammer** genannt.

Bei weiterer Erhöhung der Spannung ist das Feld so stark, dass die erzeugten Elektronen in Drahtnähe hinreichend beschleunigt werden, um weitere Gasatome zu ionisieren. **Stoßionisation** heißt dieses Phänomen. Ein solcher Vorgang löst eine Kettenreaktion aus. Ionisiert ein Elektron ein Gasatom, wird ein freies Elektron erzeugt, welches wiederum

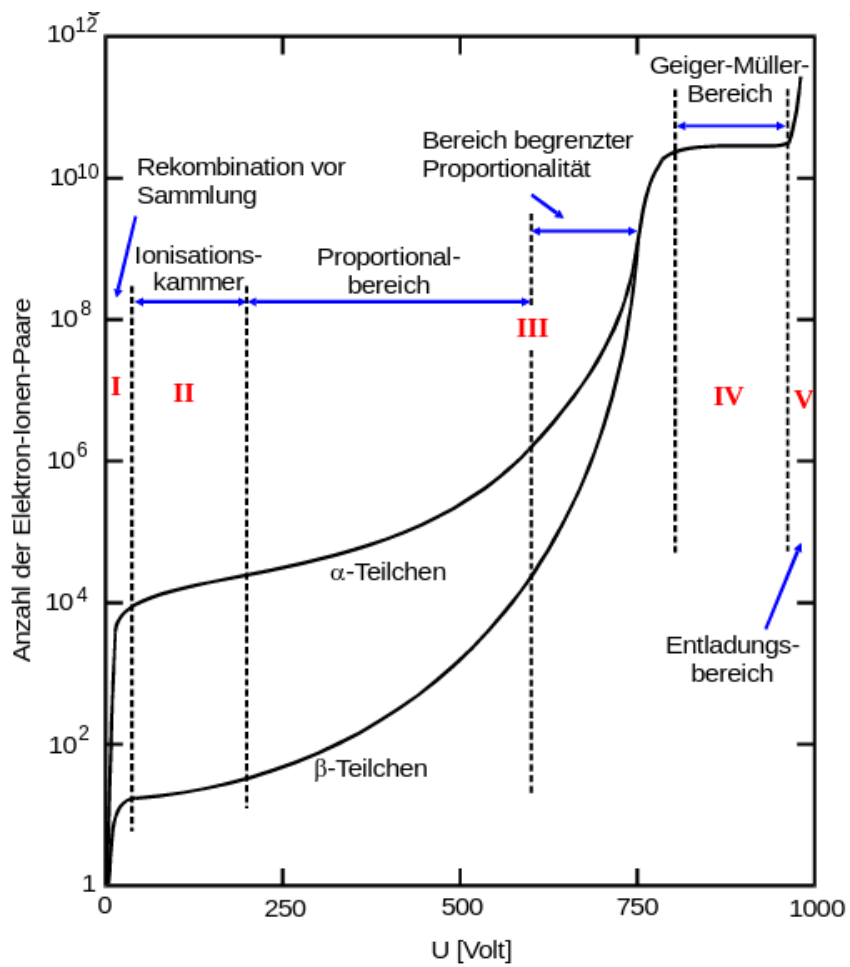


Abbildung 1: Anzahl der erzeugten Elektron-Ionen-Paare in Abhängigkeit der angelegten Spannung U . [1]

andere Gasatome ionisiert. Dieser lawinenartige Prozess wird als **Townsend-Lawine** bezeichnet. Da die an der Anode befindliche Ladung proportional zur Energie und damit auch zur Intensität der einfallenden Teilchen ist, wird das Zählrohr in diesem Bereich III auch **Proportionalzählrohr** genannt.

Der Bereich IV heißt **Auslösebereich** oder auch Geiger-Müller-Bereich. Hier findet der Messvorgang des Geiger-Müller-Zählrohrs statt. In diesem Bereich sind die Elektronenlawinen aus Bereich III nicht auf einen kleinen Bereich lokalisiert, sondern sie breiten sich im gesamten Zählrohr aus. Außerdem finden die Elektronenlawinen nicht nur in Feldrichtung statt, sondern durch die Stöße der Elektronen mit den Gasatomen werden diese angeregt und senden bei der Rückkehr in den Ausgangszustand ein UV-Photon aus. Diese Photonen sind neutral geladen und können sich so im gesamten Zählrohr ausbreiten. Die gesammelte Ladung an der Anode ist dann unabhängig von der Primärionisation und hängt von dem Volumen des Zählrohres und der Feldstärke – also Spannung – ab. Es kann in diesem Bereich keine Energie der einfallenden Teilchen gemessen werden. Im Bereich V treten Dauerentladungen auf. Diese werden durch ein einzelnes ionisierendes Teilchen ausgelöst. Die dadurch auftretenden hohen Stromdichten zerstören das Geiger-Müller-Zählrohr.

2.3 Totzeit und Nachentladungen

Wird ein ionisierendes Teilchen vom Zählrohr registriert, kann für einen bestimmten Zeitraum kein darauffolgendes Teilchen gemessen werden. Diese Zeit heißt **Totzeit** des Zählrohres und ist eine charakteristische Größe von diesem. Die Totzeit T kommt dadurch zustande, dass sich nach der Ionisation die positiven Ionen aufgrund der größeren Masse länger im Zählrohr aufhalten als die Elektronen. Es entsteht eine Ladungswolke – der Ionenschlauch – die dafür sorgt, dass das elektrische Feld abgeschirmt wird. Daher treten in diesem Zeitraum keine Stoßionisationen auf und eintreffende Teilchen werden nicht registriert. Die Ladungsimpulse werden allerdings erst wieder vollständig erfasst, wenn alle Ionen neutralisiert wurden. Deswegen folgt nach der Totzeit eine **Erholungszeit** T_E . In Abbildung 2 sind die Tot- und Erholungszeit eines Zählrohres dargestellt.

Treffen die positiven Ionen auf die Kathode, werden Elektronen aus der Metalloberfläche losgelöst. Diese Elektronen heißen **Sekundärelektronen**. Sie durchlaufen das gesamte Feld und haben eine genügend große Energie, um mehrere zeitlich versetzte Elektronen zu erzeugen. Die dadurch entstehenden Impulse werden als **Nachentladungen** bezeichnet. Diese sind unerwünscht, da sie die Registrierung eines ionisierenden Teilchens vortäuschen. Daher wird ein Alkoholzusatz im Gas verwendet. Die positiven Ionen treffen auf die Alkoholmoleküle und ionisieren diese aufgrund der geringeren Ionisierungsenergie von den Alkoholmolekülen. Weiterhin gelangen die Alkoholionen zur Kathode und werden dort neutralisiert. Allerdings werden keine Elektronen ausgelöst, sondern die Energie wird zur Anregung von Schwingungen der Alkoholmoleküle verbraucht.

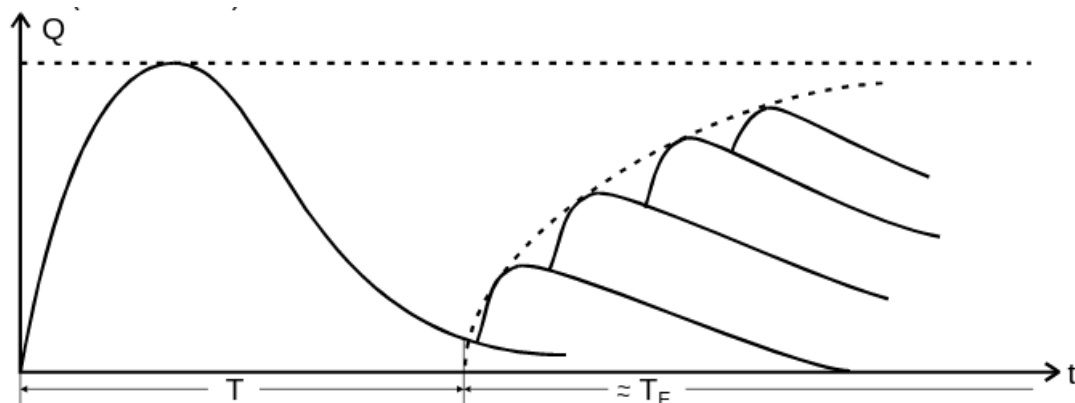


Abbildung 2: Charakteristische Gestalt des Oszilloskopbildes bei hohen Betriebsspannungen samt auftretender Nachentladungen. [1]

2.4 Charakteristik eines Zählrohres

Die Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohres ergibt sich durch Auftragen der registrierten Teilchenzahl gegen die angelegte Spannung. Ein typischer Verlauf ist in Abbildung 3 dargestellt. Der lineare Abschnitt heißt **Plateau**. Die Länge des Plateaus ist durch den Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohres gegeben. Je länger das Plateau und je geringer die Steigung der Geraden ist, desto höher ist die Qualität des Zählrohres zu bewerten.

2.5 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Aufgrund der Totzeit wird nicht jedes einfallende Teilchen auch registriert. Daher ist die Zählrate der registrierten Teilchen N_r immer geringer als die Zählrate der einfallenden Teilchen N_w . Die wahre Zählrate der einfallenden Teilchen ergibt sich zu

$$N_w = \frac{N_r}{1 - T N_r} . \quad (2)$$

Zur Bestimmung der Totzeit T wird die Zwei-Quellen-Methode verwendet. Zuerst wird die Zählrate N_1 eines radioaktiven Isotops bestimmt. Daraufhin wird ein zweites radioaktives Isotop daneben platziert und es wird die gemeinsame Zählrate N_{1+2} gemessen. Zuletzt wird das erste Isotop entfernt und es wird N_2 bestimmt. Aufgrund der Totzeit ergibt sich die Ungleichung

$$N_{1+2} < N_1 + N_2 .$$

Weiterhin lässt sich die Totzeit mit der Näherung $T^2 N_i^2 \ll 1$ ($i = 1, 2, 1 + 2$) zu

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

berechnen.

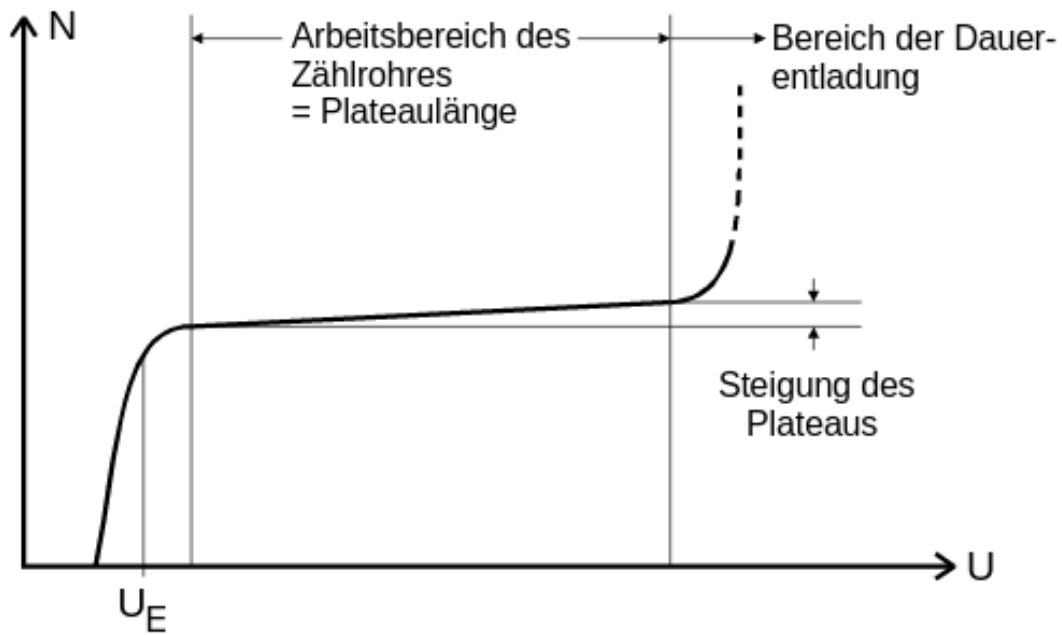


Abbildung 3: Charakteristischer Zusammenhang zwischen den registrierten Impulsen in Abhängigkeit zur Betriebsspannung bei konstanter Strahlungsintensität (Zählrohrcharakteristik). [1]

2.6 Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge

Ein Strommessgerät misst den mittleren Zählrohrstrom

$$\bar{I} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \frac{U(t)}{R} dt, \quad (4)$$

wobei τ dem Messzeitintervall und R dem Widerstand entspricht. Für den Strom gilt

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z, \quad (5)$$

mit der in Δt registrierten Teilchen Z . Die Ladungsmenge ΔQ ist abhängig von der Spannung.

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt. Die im Zählrohr am Anodendraht gesammelte Ladung Q fließt über einen Widerstand R ab und erzeugt an diesem einen Spannungsimpuls. Über einen Kondensator C wird dieser ausgekoppelt, mittels eines Verstärkers verstärkt und an ein Zählgerät sowie ein Oszilloskop weitergeleitet.

Das Zählgerät hat einen eingebauten Timer, welcher es ermöglicht, Impulse innerhalb eines festen Zeitintervalls zu zählen (Im vorliegenden Versuch: 1 min). Die registrierten Impulse können außerdem auf dem Schirm des Oszilloskops analysiert werden.

Der prinzipielle Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzyylinder sowie einem mittig darin angebrachten Anodendraht, welcher über einen Isolator aus dem Geiger-Müller-Zählrohr herausgeführt wird. Über das Anlegen einer äußeren Spannung liegt im Geiger-Müller-Zählrohr ein radialsymmetrisches elektrisches Feld vor.

Der Hohlraum im Geiger-Müller-Zählrohr ist mit einem Gasgemisch gefüllt. Das Eintrittsfenster des Zählrohrs besteht aus Mylar, welches zugleich dem Unterdruck im Zählrohr standhält, als auch durchlässig für auftreffende Teilchen ist.

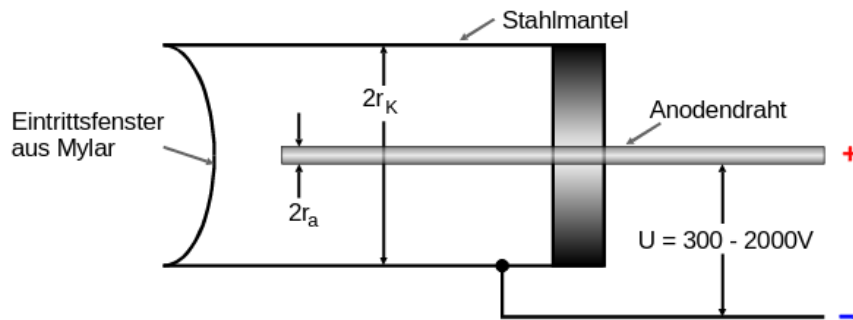


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs. [1]

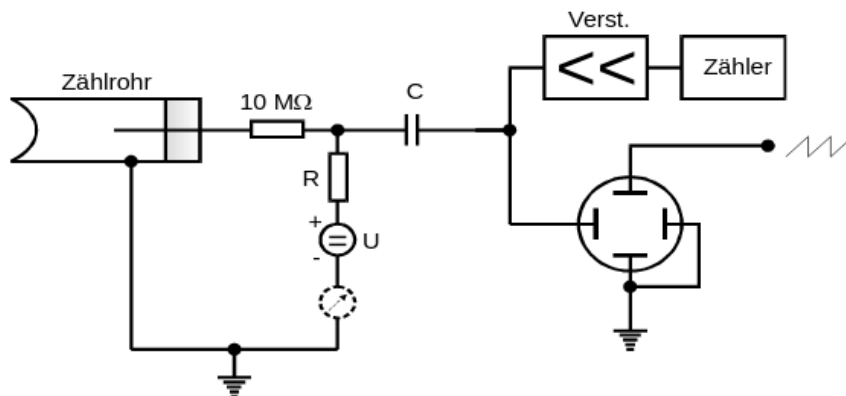


Abbildung 5: Prinzipieller Versuchsaufbau zur Untersuchung des Geiger-Müller-Zählrohrs. [1]

3.2 Versuchsbeschreibung

Zur Aufnahme der **Charakteristik des Zählrohrs** wird eine β -Quelle vor das Endfenster des Zählrohrs gestellt und die Zählrate über ein Intervall von einer Minute in Abhängigkeit zur Betriebsspannung U gemessen.

Die Betriebsspannung wird hierbei in Schritten von 10 V heraufgeregt. Da wahrscheinlich ein Defekt im Versuchsaufbau vorliegt, läuft die Messung statt über das Intervall 350 V bis 700 V über das Intervall 450 V bis 900 V.

Zudem wird die Stromstärke I des Zählrohrstrom mittels eines empfindlichen Strommessgeräts zur Untersuchung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge erfasst.

In einem nur qualitativen Experiment werden werden die **Nachentladungen** am Oszilloskopschirm sichtbar gemacht. Dazu wird die β -Quelle so weit vom Eintrittsfenster des Zählrohrs entfernt, dass lediglich ein Impuls auf dem Bildschirm samt den zugehörigen Nachentladungen zu sehen ist.

Es wird das Oszilloskopbild bei geringer Betriebsspannung nahezu ohne auftretende Nachentladungen mit $U = 450$ V, mit dem Oszilloskopbild mit deutlich sichtbaren Nachentladungen bei einer Betriebsspannung von $U = 700$ V, verglichen.

Die Untersuchung der **Totzeit** erfolgt über zwei Methoden.

Zum Einen wird sie aus dem Oszilloskopbild bestimmt. Hierzu wird aus dem Oszilloskopbild die Zeitdifferenz zwischen zwei Impulsen maximaler Höhe bestimmt. Hierzu muss die Strahlungsintensität hoch sein. Die Quelle wird daher nahe vor dem Eintrittsfenster des Zählrohrs platziert.

Zudem wird die Totzeit über die **Zwei-Quellen-Methode** bestimmt. Hierzu wird zunächst eine Messung der Impulsrate mit nur einer Quelle über ein Zeitintervall von 1 min durchgeführt. Anschließend wird eine zweite Quelle hinzugefügt und die Impulsrate beider Quellen gemeinsam bestimmt. Schließlich wird die zweite Quelle ebenfalls über das gleiche Zeitintervall alleine vermessen. Es ist darauf zu achten, dass beim Hinzufügen, beziehungsweise Entfernen der Quellen die Position der jeweils andere Quelle bezüglich des Zählrohrs möglichst nicht geändert wird.

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des untersuchten Halogen-Zählrohrs

Zur Untersuchung der Charakteristik des Halogen-Zählrohrs wird die gemessene Anzahl an Impulsen pro Minute auf Impulse pro Sekunde umgerechnet und gegen die angelegte Spannung aufgetragen.

Tabelle 1: Messdaten zur Untersuchung der Charakteristik des Zählrohrs.

U/V	N/min	N_{sec}/s
450	0	0
460	35050	584 ± 3
470	35724	595 ± 3
480	36480	608 ± 3
490	36574	609 ± 3
500	36961	616 ± 3

Tabelle 1: Messdaten zur Untersuchung der Charakteristik des Zählrohrs.

U/V	N/min	N_{sec}/s
510	37141	619 ± 3
520	36881	614 ± 3
530	37379	622 ± 3
540	37176	619 ± 3
550	37276	621 ± 3
560	37621	627 ± 3
570	37201	620 ± 3
580	37326	622 ± 3
590	37541	625 ± 3
600	37594	626 ± 3
610	37640	627 ± 3
620	37334	622 ± 3
630	37986	633 ± 3
640	38002	633 ± 3
650	38058	634 ± 3
660	37629	627 ± 3
670	37353	622 ± 3
680	37637	627 ± 3
690	37815	630 ± 3
700	37743	629 ± 3
710	37716	628 ± 3
720	37938	632 ± 3
730	38047	634 ± 3
740	38104	635 ± 3
750	37755	629 ± 3
760	37662	627 ± 3
770	37877	631 ± 3
780	38182	636 ± 3
790	38128	635 ± 3
800	38142	635 ± 3
810	38252	637 ± 3
820	37984	633 ± 3
830	38063	634 ± 3
840	38422	640 ± 3
850	38423	640 ± 3
860	38492	641 ± 3
870	38650	644 ± 3
880	38624	643 ± 3
890	38462	641 ± 3

Tabelle 1: Messdaten zur Untersuchung der Charakteristik des Zählrohrs.

U/V	N/min	N_{sec}/s
900	38285	638 ± 3

In Tabelle 1 finden sich die gemessenen Datentupel aus angelegter Spannung U und gezählten Impulsen N pro Minute ($\rightarrow t = 60$). Zudem werden die hieraus berechneten Impulse pro Sekunde N_{sec} und die Breite des zugehörigen Vertrauensintervall $\frac{\sqrt{N_{\text{sec}}}}{t}$ angegeben.

In Abbildung 6 findet sich die Zählrohrcharakteristik. Da der Bereich der Dauerentladung mit der vorliegenden Messapparatur nicht erreicht wurde, und die Anzahl der gemessenen Impulse zum Ende der Messung wieder leicht sinkt, wird ein Fehler im Versuch vermutet und als Arbeitsbereich des Zählrohrs das Intervall von 480 V bis 870 V angenommen. Es ergibt sich somit eine Plateaulänge von $\Delta U_{\text{P}} = 390 \text{ V}$. Im Arbeitsbereich des Zählrohrs wird eine lineare Ausgleichsrechnung mit python/scipy [2] durchgeführt.

Es ergeben sich die Parameter der Ausgleichsgeraden $y = m \cdot x + b$ zu:

$$m = (0,061 \pm 0,005) \frac{1}{\text{s V}}, \quad (6)$$

$$b = (587 \pm 4) \frac{1}{\text{s}}. \quad (7)$$

Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden lässt sich die Steigung P_{S} im Plateaubereich mit der mittleren Zählrate im Plateaubereich $\overline{N_{\text{P}}} = (628,9 \pm 0,5)/\text{s}$ (ermitteln mittels python/numpy [3]) ablesen zu:

$$P_{\text{S}} = \frac{m \cdot 100}{\overline{N_{\text{P}}}} = \frac{(0,97 \pm 0,08) \%}{100 \text{ V}}.$$

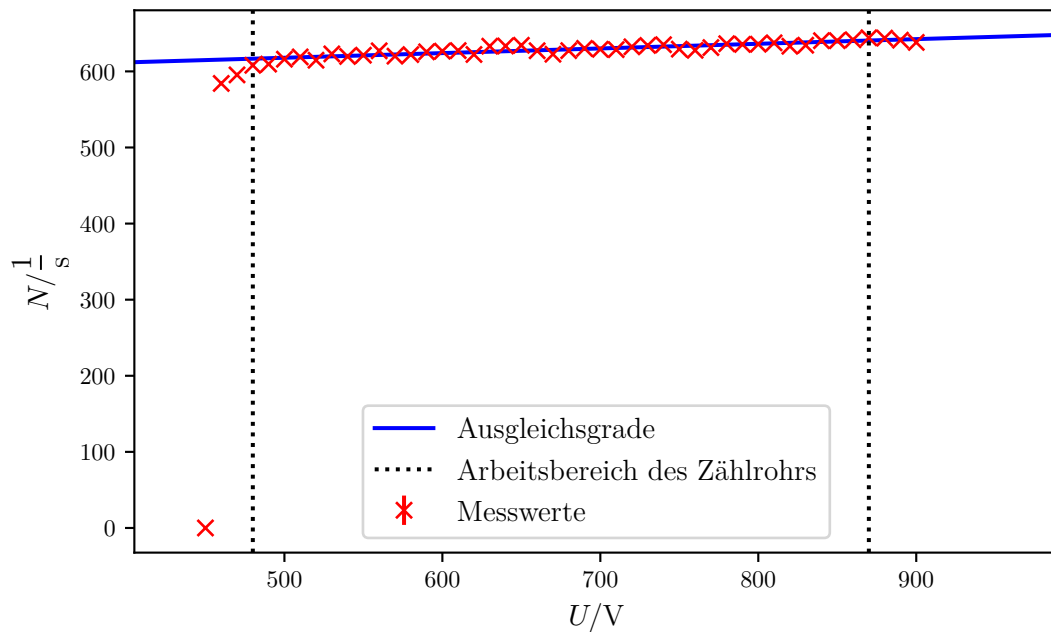


Abbildung 6: Zählrohrcharakteristik des Halogen-Zählrohrs samt markierter Plateaulänge und Ausgleichsgraden zur Bestimmung der Plateausteigung.

4.2 Untersuchung von Nachentladungen

Der Vergleich des Oszilloskopbilds bei einer geringen Betriebsspannung von etwa 450 V mit einer hohen Betriebsspannung von etwa 700 V zeigt, dass häufige und deutliche Nachentladungen lediglich für hohe Betriebsspannungen am Oszilloskopschirm sichtbar werden. Nach Abbildung 2 wird die Zeit zwischen dem ersten Impuls und den Nachentladungen abgelesen zu $\Delta t = 175 \mu s$.

4.3 Bestimmung der Totzeit aus dem Oszilloskopbild

Die Totzeit lässt sich nach Abbildung 2 aus dem Oszilloskop ablesen. In Tabelle 2 finden sich die bei verschiedenen Betriebsspannungen abgelesenen Totzeiten T , sowie die zugehörigen Erholungszeiten T_E . Da diese sich sehr willkürlich und nur ungenau bestimmen lassen, ist eine weitere Betrachtung der Erholungszeiten nicht sinnvoll. Eine Mittelung über alle Totzeiten ergibt eine mittlere Totzeit von $\bar{T} = 175 \mu s$.

4.4 Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode

In Tabelle 3 finden sich die gemessenen Impulsraten der Messung zur Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode. Es wird erneut nach der Poisson-Verteilung ein

Tabelle 2: Messdaten zur Bestimmung der Totzeit aus dem Oszilloskopbild.

U/V	$T/\mu s$	$T_E/\mu s$
450	175	150
500	175	100
550	175	125
600	175	150
650	175	200

Tabelle 3: Messdaten zur Bestimmung der Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode.

Quelle	N/min	N/s
N_1	3499	58 ± 1
N_{1+2}	49676	828 ± 4
N_2	46298	772 ± 4

Vertrauensintervall von $\pm \frac{\sqrt{N_i}}{t}$ angenommen. Nach Formel (3) ergibt sich die Totzeit zu:

$$T = (22,4 \pm 0,2) \mu s \quad (8)$$

4.5 Bestimmung der freigesetzten Ladung pro einfallendem Teilchen in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung

Mit Formel (5) und den Messwerten aus Tabelle 4 lässt sich die freigesetzte Ladungsmenge pro Teilchen berechnen. Die bestimmten Werte sind ebenfalls in Tabelle 4 aufgetragen. Es ergibt sich der Mittelwert

$$\Delta Q = (47 \pm 21) \cdot 10^{10} \text{ eV}.$$

Tabelle 4: Messdaten zur Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge.

U/V	N	$N_{\text{sec}}/1/s$	$I / \mu A$	$\Delta Q / 10^{10} \text{ eV}$
490	36574	609	0.001	11.76
500	36961	616	0.001	14.25
510	37141	619	0.001	16.29
520	36881	614	0.001	17.07
530	37379	622	0.001	20.10
540	37176	619	0.001	21.68
550	37276	621	0.001	24.80
560	37621	627	0.002	25.93
570	37201	620	0.002	27.33
580	37326	622	0.002	28.22

Tabelle 4: Messdaten zur Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge.

U/V	N	$N_{\text{sec}}/1/s$	$I / \mu\text{A}$	$\Delta Q / 10^{10} \text{ eV}$
590	37541	625	0.002	29.23
600	37594	626	0.002	29.68
610	37640	627	0.002	34.36
620	37334	622	0.002	37.61
630	37986	633	0.002	38.93
640	38002	633	0.002	40.97
650	38058	634	0.003	42.40
660	37629	627	0.003	44.96
670	37353	622	0.003	48.31
680	37637	627	0.003	48.64
690	37815	630	0.003	49.76
700	37743	629	0.003	52.05
710	37716	628	0.003	53.18
720	37938	632	0.003	53.60
730	38047	634	0.003	56.91
740	38104	635	0.003	57.26
750	37755	629	0.004	60.95
760	37662	627	0.004	63.36
770	37877	631	0.004	63.17
780	38182	636	0.004	64.22
790	38128	635	0.004	66.98
800	38142	635	0.004	67.44
810	38252	637	0.004	71.66
820	37984	633	0.005	75.27
830	38063	634	0.005	77.03
840	38422	640	0.005	76.10
850	38423	640	0.005	78.64
860	38492	641	0.005	79.62
870	38650	644	0.005	80.22

5 Diskussion

Die Güte des Geiger-Müller-Zählrohrs ist definiert über die Breite des Plateaubereichs und der hier vorliegenden Steigung. Im vorliegenden Versuch ergibt sich die Steigung pro 100 V zu

$$P_S = (0,97 \pm 0,08) \, \%.$$

Die Breite des Plateaubereichs lässt sich nicht eindeutig angeben, da sich zum Ende des Plateaubereichs kein weiterer Anstieg der gemessenen Impulse zeigt. Seine Breite wird

daher angenommen zu

$$\Delta U_p = 390 \text{ V.}$$

Zwischen den beiden bestimmten Totzeiten zeigen sich sehr große Abweichungen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Totzeit nicht mit beiden Methoden im vorliegenden Fall zuverlässig bestimmt werden kann. Es ist davon auszugehen, dass die über die Zwei-Quellen-Methode bestimmte Totzeit näher an der tatsächlichen Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohr liegt, da bei der Bestimmung am Oszilloskopbild große Ablesefehler möglich sind. Mit Gewissheit lässt sich aber keine Aussage über die tatsächliche Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs treffen. Die bestimmte Totzeit über die Zwei-Quellen-Methode scheint allerdings auch zu gering. Für eine höhere Genauigkeit in der Bestimmung der Totzeit müsste die Strahlungsintensität geringer sein, die Strahlungsquellen also weiter weg vom Eintrittsfenster des Geiger-Müller-Zählrohrs platziert werden.

Bei der Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge fällt auf, dass diese mit steigendem anliegendem Beschleunigungspotential größer wird. Dies lässt sich durch das größer werdende elektrische Feld im Zählrohr erklären. Ein Vergleich mit Abbildung 1 zeigt zudem, dass die richtige Größenordnung gemessen wurde. Ebenso wie in der Abbildung ist die pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge für den Geiger-Müller-Bereich in der Größenordnung $1 \cdot 10^{10} \text{ eV}$.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 703, Das Geiger-Müller-Zählrohr*. 2016. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf> (besucht am 30.06.2017).
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] 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/>.