

# Versuch 703 – Das Geiger-Müller-Zählrohr

Marco Lafrentz      Philipp Leser

13.12.2005 – Abtestiert am 16.01.2006

Ziel des durchgeführten Versuchs war die Ermittlung der Charakteristiken eines Geiger-Müller-Zählrohres.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Theorie</b>	<b>2</b>
2.1. Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	2
2.2. Nachteile des GEIGER-MÜLLER-Zählrohres: Totzeit, Nachentladung	4
2.3. Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	4
2.4. Ansprechvermögen des Zählrohrs . . . . .	5
<b>3. Versuchsdurchführung</b>	<b>5</b>
<b>4. Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1. Die Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	6
4.2. Der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladungen . .	7
4.3. Bestimmung der Totzeit des Zählrohrs . . . . .	9
4.3.1. Messung mit Hilfe des Oszilloskops . . . . .	9
4.3.2. Messung mit der Zweiquellenmethode . . . . .	9
4.4. Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladung . . . . .	10
<b>A. Anhang</b>	<b>10</b>
A.1. Literatur . . . . .	10
A.2. Messdaten . . . . .	10

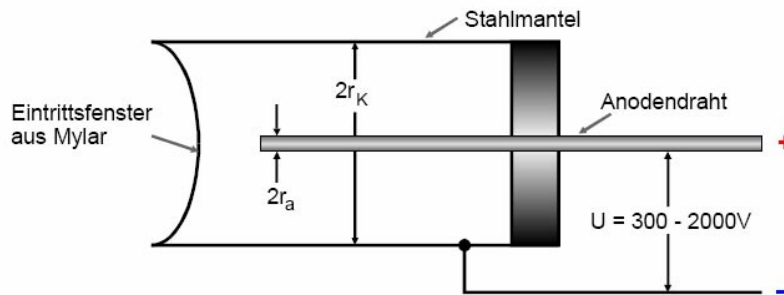


Abbildung 1: Querschnitt durch ein Endfenster-Zählrohr [1]

## 1. Einleitung

Das in diesem Experiment verwendete Messinstrument, das GEIGER-MÜLLER-Zählrohr, wird zur Intensitätsmessung von ionisierender Strahlung verwendet. Man nutzt hierzu die Fähigkeit des Zählrohres, bei Absorption eines  $\alpha$ -,  $\beta$ - oder auch  $\gamma$ - bzw. Röntgen-Quants einen elektrischen Impuls erzeugen zu können. So ist es möglich, über einen Impulszähler die Intensität, also die Zahl der pro Flächen- und Zeiteinheit einfallenden Quanten, zu messen.

In diesem Versuch gehen wir insbesondere auf die charakteristischen Kenndaten, wie Totzeit und Plateau-Anstieg, eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres ein. Wir werden hierzu zunächst den Aufbau und die Funktionsweise des GEIGER-MÜLLER-Zählrohres erläutern, um im weiteren Verlauf Messverfahren vorzustellen, um die gesuchten Kenndaten zu ermitteln.

## 2. Theorie

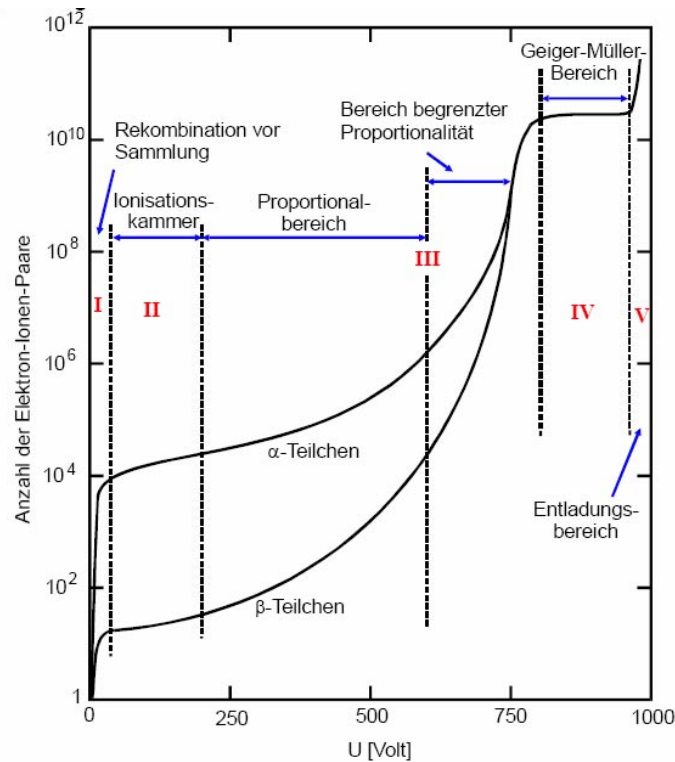
### 2.1. Aufbau und Wirkungsweise

Das GEIGER-MÜLLER-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzylinder (Radius  $r_k$ ) und einem im Inneren axial verlaufenden Anodendraht (Radius  $r_a$ ) (siehe Abbildung 1). Der Zylinder ist mit einem Gasgemisch gefüllt, z.B. 100 mbar Argon und 10 mbar Ethylalkohol. Legt man eine Spannung  $U$  (üblicherweise 300-2000V) an, so entsteht zwischen Anodendraht und Kathodenzylinder ein radialsymmetrisches Feld

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

Durch den  $\frac{1}{r}$ -Term kann die Feldstärke für sehr kleine Radien beliebig groß werden, sofern  $r_a$  ausreichend klein ist.

Tritt ein Teilchen in das Zählrohr ein, so wird es sich solange durch das Gasgemisch bewegen, bis seine Energie durch Ionisationsvorgänge vollständig aufgebraucht ist. Da seine Energie ca. 400 mal so groß ist, wie die benötigte Ionisationsenergie, erhält man ein proportionales Verhältnis zwischen Teilchenenergie und Anzahl an entstehenden Elektronen und positiven Ionen. Die Vorgänge nach den



**Abbildung 2:** Anzahl der erzeugten Elektron-Ionenpaare als Funktion der Spannung eines Proportionalzählrohrs. [1]

Primärionisationen sind abhängig von der Zählrohrspannung. Man beachte hierzu Abbildung 2. Es werden grundsätzlich fünf Bereiche unterschieden: Bei sehr geringen Beschleunigungsspannungen erreicht nur eine kleine Anzahl an erzeugten Elektronen den Draht, da die meisten durch Rekombination verloren gehen (Bereich I).

Bei etwas höheren Feldstärken sinkt die Wahrscheinlichkeit für Rekombinationen, sodass praktisch alle erzeugten Elektronen den Draht erreichen. Der zwischen Anode und Kathode fließende Strom wird als Ionisationsstrom bezeichnet und ist proportional zur Energie der einfallenden Teilchen. Ein Gerät das in diesem Bereich arbeitet wird üblicherweise Ionisationskammer (Bereich II) genannt. Nachteil ist, dass auf Grund der geringen Ströme hohe Strahlintensitäten nötig sind.

Erhöht man die Spannung weiter, so können die freigesetzten Elektronen so viel Energie aufnehmen, dass sie weitere Ionisationsvorgänge anregen, so genannte Stoßionisation. Die Zahl der freiwerdenden Ionen nimmt stark zu; man spricht hier von einer TOWNSEND-Lawine. In diesem Bereich, dem Proportionalitätsbereich (Bereich III), sind die gemessenen Ladungsimpulse proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. Neben der Intensitätsmessung ist hier auch eine Messung der Teilchenenergie möglich.

Der folgende Bereich entspricht dem Arbeitsbereich des GEIGER-MÜLLER-Zählrohrs (Bereich IV). In diesem sogenannten Auslösebereich treten im gesamten Rohr Ioni-

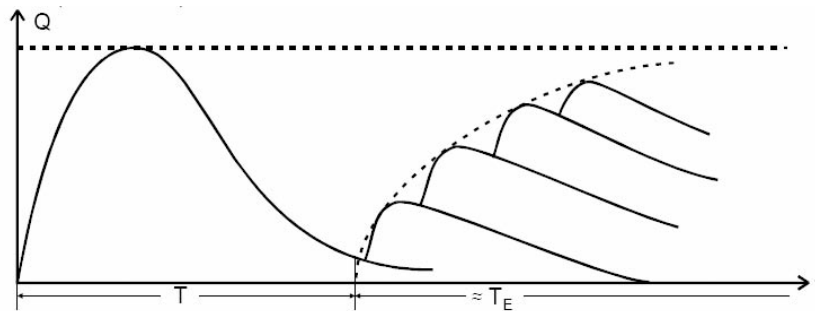


Abbildung 3: Ladungs-Zeit-Diagramm mit Tot- und Erholungszeit [1]

sationslawinen auf, denn in den primären Elektronenlawinen entstehen UV-Photonen infolge der Anregung der Argon-Atome durch Elektronenstöße. Die neutralen Photonen breiten sich auch senkrecht zur Feldrichtung aus und regen im gesamten Zählrohr Elektronenlawinen an. Die Proportionalität zur Teilchenenergie geht hierbei verloren. Es ist nur noch eine Intensitätsmessung möglich.

## 2.2. Nachteile des GEIGER-MÜLLER-Zählrohres: Totzeit, Nachentladung

Ein großer Nachteil des GEIGER-MÜLLER-Zählrohres ist die sogenannte Totzeit  $T$ . Gemeint ist die Zeit, in der keine einfallenden Teilchen registriert werden können. Die erzeugten Elektronen fließen recht schnell ab, nicht aber die trägen positiven Ionen. Die so entstehende positive Raumladung schwächt das elektrische Feld im Zylinder und verhindert, dass einfallende Teilchen gemessen werden. Die Rückführung in einen raumladungsfreien Zustand ist ein kontinuierlicher Prozess, der sich an die Totzeit anschließt. Diese Phase nennt man Erholungszeit  $T_E$  (siehe auch Abbildung 3).

Ein weiterer negativer Effekt wird von den hochenergetischen positiven Ionen, die auf den Zylindermantel auftreffen, hervorgerufen. Bei Kollision mit dem Zählrohrmantel werden Sekundärelektronen freigesetzt, welche ebenfalls einen elektrischen Impuls erzeugen. Dieser Effekt wird Nachentladung genannt. Um dies zu unterdrücken, fügt man dem Gasgemisch Alkohol- oder Halogenmoleküle hinzu. Diese haben den Vorteil, dass ihre Ionen keine Sekundärelektronen auslösen, sondern die Energie zur Anregung von Schwingungen der vielatomigen Alkoholmoleküle verbrauchen. Trotzdem noch auftretende Nachentladungen sorgen für eine Steigung des theoretisch konstanten Plateaus.

## 2.3. Charakteristik des Zählrohres

Unter einer Charakteristik eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres versteht man die registrierte Teilchenzahl  $N$  gegenüber der angelegten Spannung  $U$ , bei konstanter Strahlungsintensität. Wie in Abbildung 4 zu erkennen setzt der Auslösebereich etwa bei  $U_E$  ein. Der nachfolgende lineare Abschnitt wird Plateau genannt. Ein ideales Zählrohr sollte eine Plateausteigung von Null besitzen. Der praktisch beobachtete leichte Anstieg des Plateaus lässt sich auf Nachentladungen zurückführen, die trotz des Alkoholdampfzusatzes entstehen. Je geringer die Steigung und

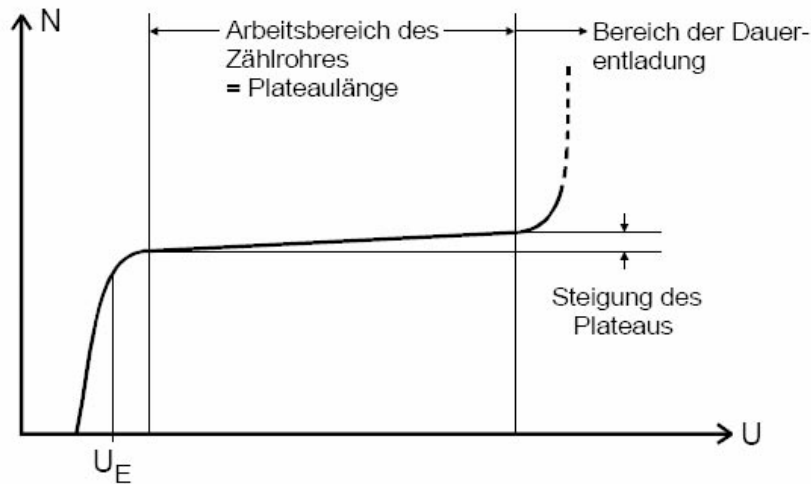


Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik [1]

je länger das Plateau, um so hochwertiger ist das Zählrohr.

Am Ende des Plateaus nimmt die Zahl der Nachentladung gewaltig zu. Sie geht schließlich in den Bereich der selbständigen Gasentladung über, in welchem das Zählrohr schnell zerstört wird.

#### 2.4. Ansprechvermögen des Zählrohrs

Unter dem Ansprechvermögen versteht man die unterschiedliche Empfindlichkeit mit der Teilchen bzw. Quanten in einem Zählrohr registriert werden.  $\alpha$  bzw.  $\beta$ -Teilchen besitzen wegen ihres hohen Ionisationsvermögens ein Ansprechvermögen von beinahe 100%. Es zeigt sich, dass Photonen im Gegensatz zu  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Teilchen nur äußerst selten in Wechselwirkung treten (ca. 1%) und somit eine höhere  $\gamma$ -Strahlungsintensität nötig ist. Auch wenn die Registrierung von  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Strahlung sehr gut funktioniert, muss diese erst einmal in den Zylinder eindringen können. Dies wird praktisch, zum Beispiel, mit Endfensterzählrohren realisiert, deren Stirnseite aus einer dünnen Mylarfolie besteht, sodass selbst  $\alpha$ -Teilchen hindurch gelangen können.

### 3. Versuchsdurchführung

Der schematische Aufbau der Versuchsanordnung ist der Abbildung 5 zu entnehmen. Die Ladung  $Q$ , die auf dem Zählrohr gesammelt wird, fließt über den Widerstand  $R$  ab und erzeugt dort ein Spannungsimpuls. Über einen Kondensator  $C$  wird dieser ausgekoppelt und im Verstärker vergrößert und im Impulszähler registriert oder auf dem Schirm eines Oszillographen sichtbar gemacht.

Wir beginnen unser Experiment mit der Bestimmung der Charakteristik des GEIGER-MÜLLER-Zählrohrs. Hierzu platzieren wir eine  $\beta$ -Quelle vor die Stirnseite des Endfensterzählrohrs und messen die Impulse pro Zeiteinheit in Abhängig-

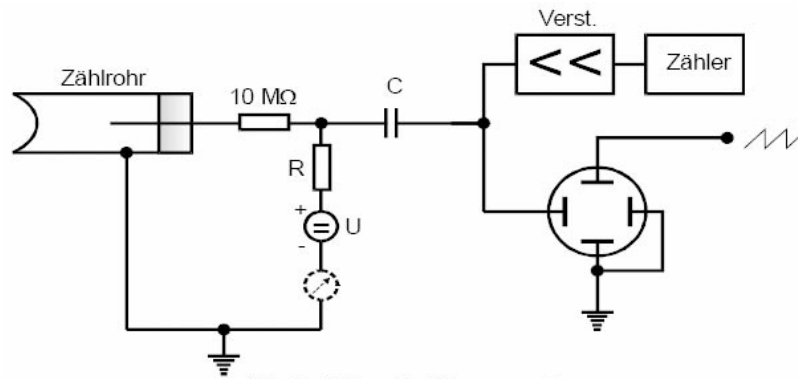


Abb.5: Skizze der Messapparatur

**Abbildung 5:** Skizze der Messapparatur [1]

keit von der Betriebsspannung  $U$ . Eine Spannung von 700V darf nicht überschritten werden.

Weiter ermitteln wir den mittleren Abstand zwischen Nachentladung und Primärentladung. Dies geschieht mit Hilfe eines Oszillographen. Anschließend messen wir die Totzeit des Zählrohres. Zunächst mit dem Oszillographen, dann mit der so genannten Zwei-Quellen-Methode. Wenn die Ablenkzeit des Kathodenstrahls im Oszillographen bekannt ist, kann die Totzeit am Oszillogramm abgelesen werden. Bei der Zwei-Quellen-Methode verfahren wir wie folgt. Wir messen zunächst die Impulsrate  $N_1$  eines Präparats, dann die Impulsrate  $N_{1+2}$  dieses Präparats und eines weiteren und dann die Implusrate  $N_2$  des zweiten Präparats. Daraus lässt sich dann die Totzeit  $T$  bestimmen.

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \quad (3.1)$$

Abschließend messen wir noch die pro Teilchen im Zählrohr freigesetzte Ladung  $Q$ . Diese ermitteln wir über den bekannten Zählstrom  $I$ , die bekannte Spannung  $U$ , dem Messintervall  $\Delta t$  und der Zählrate  $Z$ .

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z$$

## 4. Auswertung

### 4.1. Die Charakteristik des Zählrohres

Unter der Charakteristik versteht man ein Diagramm, in dem man die Anzahl der registrierten Impulse pro Zeiteinheit in Abhängigkeit von der benutzten Beschleunigungsspannung aufträgt. Es werden 13 Messpunkte im Spannungsbereich von 350 V bis 700 V aufgenommen, jeweils mit einer Messdauer von 200 s pro Messpunkt (Tabelle 1). Die in der Abbildung 6 aufgetragene Zählrate ergibt sich dabei, indem man die registrierte Anzahl von Teilchen durch die Messdauer teilt.

Radioaktive Zerfallsprozesse, wie sie in diesem Versuch eine Rolle spielen, gehorchen einer POISSON-Statistik, was eine einfache Berechnung der absoluten Ungenauigkeit der einzelnen Messpunkte ermöglicht. Diese ist für eine einzelne Messung als die Wurzel aus der Anzahl der registrierten Teilchen  $n$  anzugeben:

$$\sigma = \sqrt{n}$$

Da jede Messung über ein längeres Zeitintervall durchgeführt wird, liegen jedoch mehrere Messungen für jeden Wert vor, der Fehler der tatsächlich in einer Periode  $t$  durchgeführten Messung liegt dann bei

$$\sigma = \sqrt{N}/t.$$

Zur Bestimmung der Plateaulänge und der Steigung ist zunächst die Lage des Plateaus aus den Messwerten abzulesen. Unter Berücksichtigung der im Diagramm markierten Punkte innerhalb des Plateaus wird so eine Plateaulänge von 210 V ermittelt. Mit den Punkten in diesem Plateau wird eine lineare Regression mit der Methode der kleinsten Quadrate ausgeführt, die mit den bereits errechneten Ungenauigkeiten gewichtet wird. Hierbei ist zu beachten, dass offensichtlich zu große Messwerte aus der Menge der in der Regression berücksichtigten Punkte herausgenommen werden. Man erhält dabei eine Gerade der Art  $mx + b$  mit den folgenden Parametern:

$$\begin{aligned} m &= (1.01 \cdot 10^{-2} \pm 0.25 \cdot 10^{-2}) \frac{1}{\text{Vs}} \\ &= 1.01 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{Vs}} \pm 24.7\% \\ b &= (100 \pm 1.25) \frac{1}{\text{s}} \\ &= 100 \frac{1}{\text{s}} \pm 1.25\% \end{aligned}$$

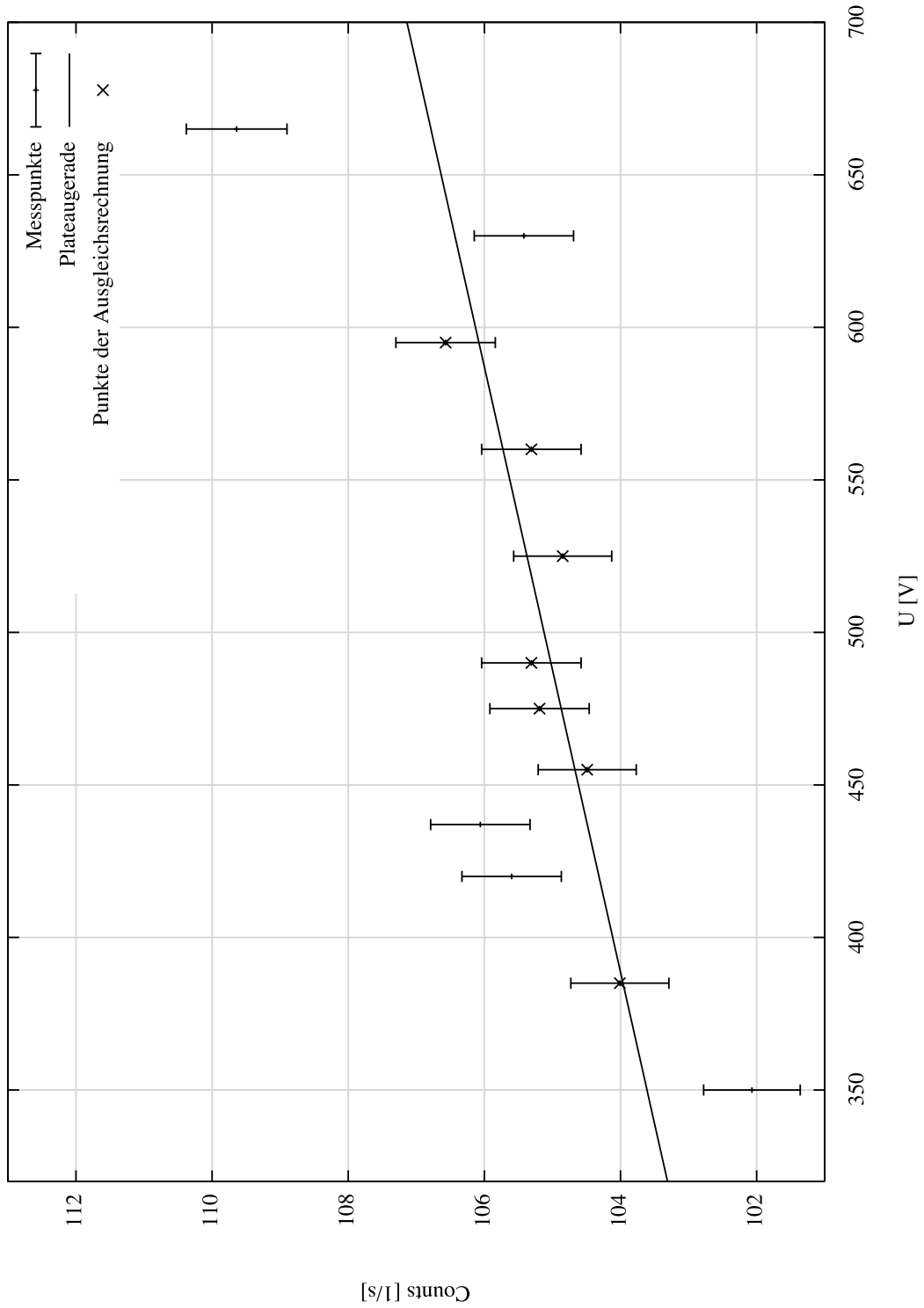
Es überrascht die sehr hohe Ungenauigkeit der Steigung, die jedoch direkt aus der Regressionsrechnung folgt. Die geringe Anzahl an Messpunkten sowie die starke statistische Streuung sind offenbar dafür verantwortlich. Die Plateausteigung ist damit

$$(1.01 \pm 0.25) \% / 100 \text{ V.}$$

#### 4.2. Der zeitliche Abstand zwischen Primär- und Nachentladungen

Bei einer angelegten Spannung von  $U = 310 \text{ V}$  zeigt das Oszilloskop einen gemessenen Impuls und wenige kurz aufflackernde Impulse. Nach der Hochregelung auf  $U = 700 \text{ V}$  werden deutlich mehr Impulse beobachtet, die als Nachentladungen gedeutet werden. Der relativ grob am Oszilloskop ausgemessene Abstand von 4 Skalenteilen mit je  $50 \mu\text{s}/\text{cm}$  ergibt dann einen zeitlichen Abstand von

$$\Delta t = 200 \mu\text{s}.$$



**Abbildung 6:** Charakteristik des Zählrohrs. Für die zur Berechnung der Plateauausgangslage ausgeführte lineare Regression werden nur die markierten Punkte benutzt. Der Messwert für  $U = 700$  V ist wegen der Übersichtlichkeit nicht im Diagramm enthalten.



**Tabelle 1:** Messpunkte zur Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

$U$ [V]	Counts	$N$ [1/s]	$\sigma_N$
350	20414	102.07	0.71
385	20802	104.01	0.72
420	21119	105.60	0.73
437	21212	106.06	0.73
455	20897	104.49	0.72
475	21038	105.19	0.73
490	21062	105.31	0.73
525	20970	104.85	0.72
560	21062	105.31	0.73
595	21314	106.57	0.73
630	21083	105.42	0.73
665	21927	109.64	0.74
700	24581	122.91	0.78

### 4.3. Bestimmung der Totzeit des Zählrohrs

#### 4.3.1. Messung mit Hilfe des Oszilloskops

Die Messung der Totzeit mit dem Oszilloskop erfolgt methodisch wie im letzten Abschnitt ( $U = 310$  V) und ergibt eine ungefähre Totzeit von

$$t_{\text{tot}} = 140 \mu\text{s}.$$

#### 4.3.2. Messung mit der Zweiquellenmethode

Bei der Zweiquellenmethode werden zunächst zwei unterschiedliche Quellen einzeln gemessen. Schließlich werden beide Quellen zusammen vor dem Zählrohr platziert und eine gemeinsame Messung durchgeführt. Die Messwerte werden hier bei einer Spannung von  $U = 525$  V und einer Messzeit von  $t = 200$  s aufgenommen.

	$N_1$ [1/s]	$N_2$ [1/s]	$N_{12}$ [1/s]
	246.25	1375.37	1523.17
$\sigma$	1.11	2.62	2.76

Die Gleichung 3.1 liefert nun eine Totzeit von

$$t_{\text{tot}} = (145 \pm 5.52) \mu\text{s}.$$

Die Ungenauigkeit ergibt sich aus einer GAUSS'schen Fehlerfortpflanzung (gestrichene Größen meinen hier immer die konkreten Messwerte und ihre Ungenauigkeiten,  $t_{\text{tot}}$  bezeichnet die Funktion zur Berechnung der Totzeit):

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\sigma_{N'_1} \frac{\partial t_{\text{tot}}}{\partial N_1} \Big|_{N'_1}\right)^2 + \left(\sigma_{N'_2} \frac{\partial t_{\text{tot}}}{\partial N_2} \Big|_{N'_2}\right)^2 + \left(\sigma_{N'_{12}} \frac{\partial t_{\text{tot}}}{\partial N_{12}} \Big|_{N'_{12}}\right)^2}$$

Die errechnete Totzeit und die am Oszilloskop abgelesene zeigen eine gute Übereinstimmung.

#### 4.4. Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladung

Zur Bestimmung der pro Teilchen freigesetzten Ladung wird erneut eine Messreihe über den Spannungsbereich von 350 V bis 700 V aufgenommen, zusätzlich wird jedoch der gemessene Strom  $I$  für jede Spannung notiert. Die Ergebnisse der Messungen sind in der Tabelle 2 zu finden, ein Diagramm der Ergebnisse in Abbildung 7. Für die Berechnung der Ungenauigkeiten ist zu beachten, dass die relative Ungenauigkeit des Ergebnisses identisch mit der relativen Ungenauigkeit der Zählrate ist.

**Tabelle 2:** Messreihe zur Bestimmung der freigesetzten Ladung  $Q$  pro Teilchen. Die Spalten nach dem Doppelstrich geben die Ergebnisse in Vielfachen der Elementarladung  $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C mit der relativen Ungenauigkeit  $r$ , sowie der absoluten Ungenauigkeit  $\sigma$  an. Man erhält die freigesetzte Ladung, indem man den Strom durch die Zählrate teilt.

$U$ [V]	Counts [1]	$I$ [ $\mu$ A]	$Z$ [1/s]	$Q/TL$ . [ $10^{-9} \cdot C$ ]	$Q/TL$ . [ $10^{10} \cdot e$ ]	$r$ [%]	$\sigma$ [ $10^{10} \cdot e$ ]
350	86263	0.42	431.32	0.97	0.61	0.340	0.00207
385	88003	0.70	440.02	1.59	0.99	0.337	0.00335
420	89113	1.02	445.57	2.29	1.43	0.335	0.00479
455	89105	1.30	445.53	2.92	1.82	0.335	0.00610
490	90389	1.62	451.95	3.58	2.24	0.333	0.00744
525	89918	1.90	449.59	4.23	2.64	0.333	0.0088
560	89864	2.23	449.32	4.96	3.10	0.334	0.0103
595	89949	2.60	449.75	5.78	3.61	0.333	0.0120
630	90548	2.90	452.74	6.41	4.00	0.332	0.0133
665	94179	3.20	470.90	6.80	4.24	0.326	0.0138
700	106123	3.90	530.62	7.35	4.59	0.307	0.0141

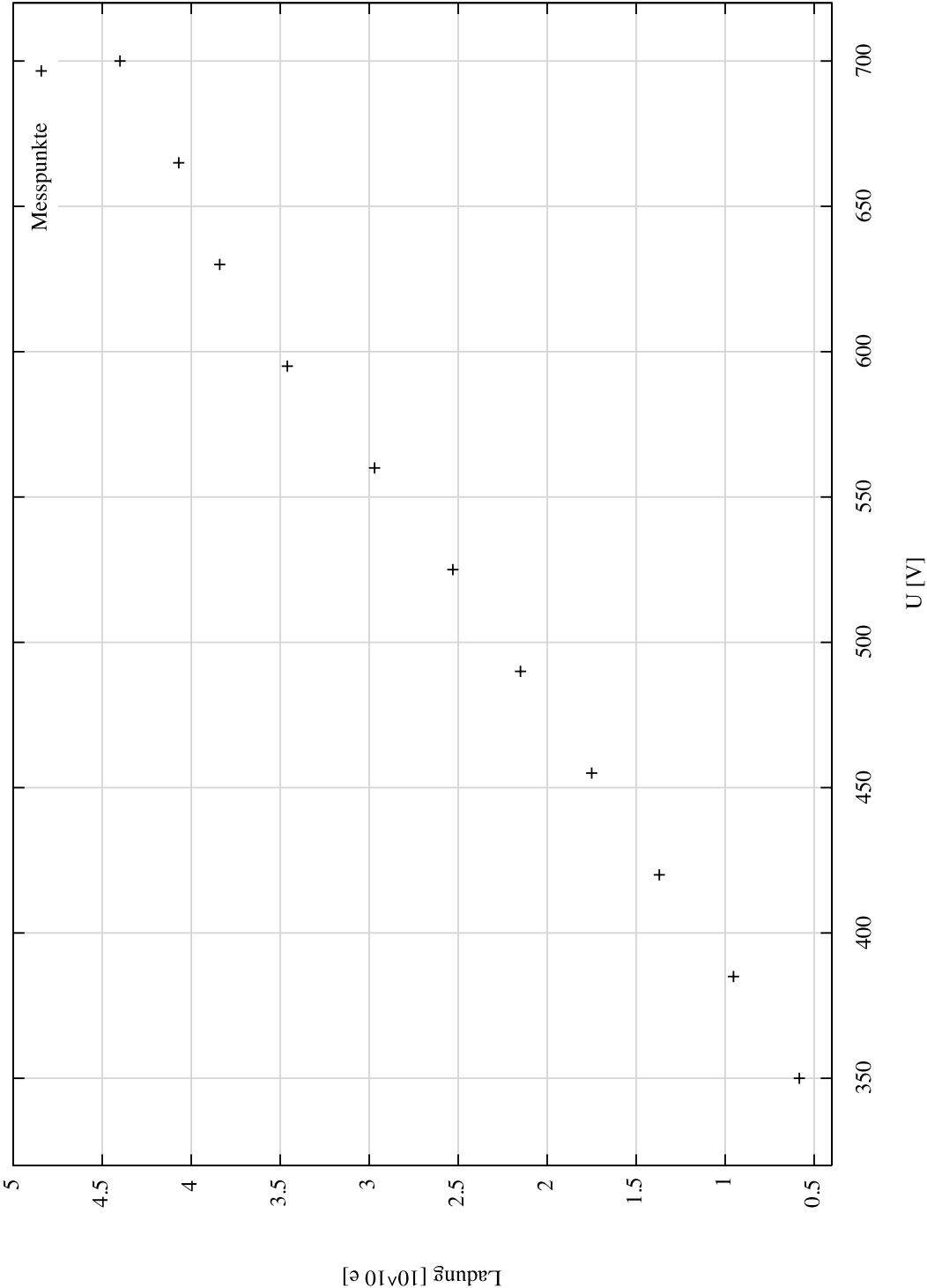
## A. Anhang

### A.1. Literatur

- [1] Die Abbildungen im Theorieteil stammen aus der Versuchsanleitung (<http://berners-lee.physik.uni-dortmund.de/praktikum/AP-Anleitungen/INHALTneu.htm>).

### A.2. Messdaten

Angefügt in Kopie.



**Abbildung 7:** Freigesetzte Ladung pro Teilchen in Vielfachen der Elementarladung in Abhängigkeit von der angelegten Spannung  $U$ . Die Fehlerbalken sind kleiner als die Messpunkte.