

V703

# **Das Geiger-Müller Zählrohr**

Jonas Osterholz

Moritz Rempe

Durchführung: 30.04.2019

Abgabe: 07.05.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Der Aufbau . . . . .	3
2.2	Die Wirkungsweise . . . . .	3
2.3	Der Einfluss der positiven Ionen . . . . .	5
2.4	Charakteristik des Zählrohrs . . . . .	6
2.5	Ansprechvermögen des Zählrohrs . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1	Charakteristik . . . . .	7
4.2	Totzeit . . . . .	10
4.2.1	Ablesen des Oszilloskops . . . . .	10
4.2.2	Zwei-Quellen-Methode . . . . .	11
4.3	Freigesetzte Ladung . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>14</b>

# 1 Zielsetzung

Das Geiger-Müller-Zählrohr wird zur Messung der Intensität ionisierender und radioaktiver Strahlung verwendet. Dabei erzeugt die Absorption der Strahlung einen messbaren elektrischen Impuls. Es können  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen, sowie  $\gamma$ -Strahlung nachgewiesen und deren Intensität gemessen werden.

## 2 Theorie

### 2.1 Der Aufbau

Hauptsächlich besteht das Geiger-Müller-Zählrohr aus einem metallischen Hohlzylinder und einem darin axial verlaufenden Draht. Zwischen diesen beiden Elementen wird eine Spannung zwischen 300 - 2000 V angelegt, weshalb sie auch als Anodendraht mit dem Radius  $r_a$  und Kathodenzylinder mit dem Radius  $r_k$  bezeichnet werden. Im Innern des Zählrohrs befindet sich ein Gasgemisch aus einem Edelgas und Alkoholdämpfen. An einer Seite des Zylinders liegt ein Eintrittsfenster aus Mylar, welches aufgrund des Unterdrucks eingewölbt ist. Des Weiteren ergibt sich durch die angelegte Spannung ein radialsymmetrisches elektrisches Feld mit der Feldstärke

$$E(r) = \frac{U}{r \ln\left(\frac{r_k}{r_a}\right)}. \quad (1)$$

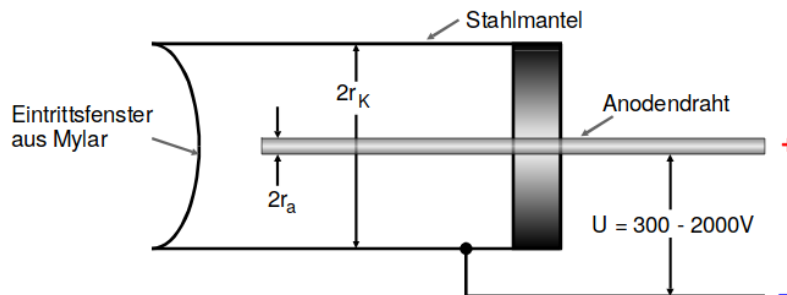
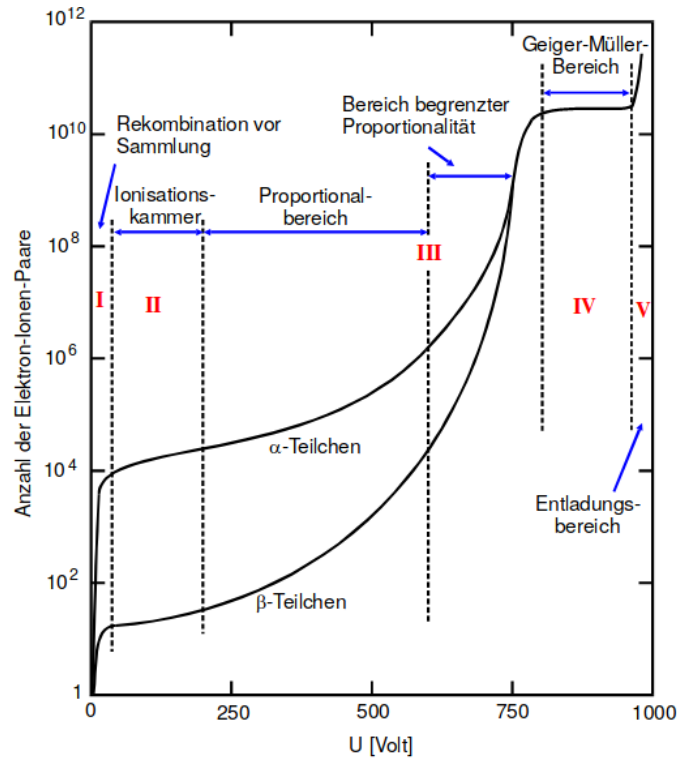


Abbildung 1: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs.

### 2.2 Die Wirkungsweise

Die Wirkungsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs ist abhängig von der Spannung und lässt sich grundsätzlich in 5 verschiedene Bereiche einteilen. Wenn ein zu detektierendes Teilchen in das Zählrohr eindringt, wird es absorbiert, indem dessen Energie für die Ionisation von Gasmolekülen verwendet wird. Dabei entsteht bei jeder Ionisation ein Elektron und ein positives Ion. Bei dieser Primärionisation ist die Energie des einfallenden Teilchens proportional zur Anzahl der entstehenden Elektronen.



**Abbildung 2:** Abhängigkeit der Anzahl der Elektron-Ionen-Paare von der angelegten Spannung und die verschiedenen Wirkungsbereiche.

In Abbildung 2 werden die verschiedenen Wirkungsbereiche des Geiger-Müller-Zählrohrs aufgezeigt. Bei kleinen Spannungen im Bereich **I** geht ein Großteil der Elektronen-Ionen-Paare durch Rekombination verloren, da die Feldstärke zu gering ist.

Der Bereich **II** wird als Ionisationskammer bezeichnet, eine Vorstufe des Zählrohrs. Dabei herrscht eine höherer Feldstärke, sodass praktisch alle gelösten Elektronen zum Anodendraht gelangen und gemessen werden. In diesem Bereich liegt ein kontinuierlicher, aber sehr geringer Ionisationsstrom vor, der proportional zur Energie und Intensität der zu messenden Strahlung ist. Aufgrund des geringen Stroms ist die Ionisationskammer also nur bei hohen Strahlungsintensitäten einsetzbar.

Der Bereich **III** bildet den Proportionalitätsbereich. Dabei können freie Elektronen aufgrund der hohen Feldstärke genug Energie aufnehmen um zusätzlich andere Elektronen aus den Edelgasmolekülen zu lösen. Dieser Vorgang wird als Stoßionisation bezeichnet und endet in einer Townsend-Lawine, die die lawinenartige Zunahme freier Elektronen beschreibt. Dabei ist die am Anodendraht gesammelte Ladung  $Q$  immer noch proportional zur Energie der einfallenden Strahlung. Dieser Bereich wird deshalb auch als Proportionalitätszählrohr bezeichnet.

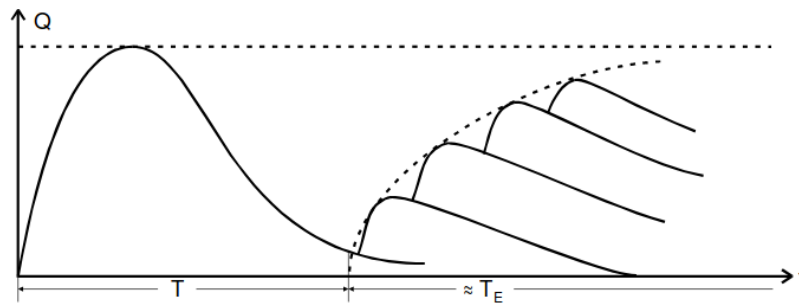
Das Geiger-Müller-Zählrohr bildet den Bereich **IV**. Dieser Auslösebereich beschreibt den Bereich, in dem das ganze Zählrohrvolumen zur Intensitätsmessung verwendet wird. Das entsteht aufgrund der Anregung von Edelgasmolekülen durch hochenergetische

freie Elektronen und der daraus resultierenden Aussendung von UV-Photonen, die sich anders als die Elektronen auch senkrecht zum elektrischen Feld ausbreiten können. Diese UV-Photonen lösen im gesamten Zählrohr Townsend-Lawinen aus, was die Anzahl der freien Elektronen immens steigert. Dadurch hängt die zu messende Intensität nur noch von der Betriebsspannung und dem Volumen des Zählrohrs ab. Anders als bei der Ionisationskammer in Bereich **II** können die elektrischen Impulse nun mit geringem Aufwand gemessen und die Intensität der Strahlung bestimmt werden. Allerdings ist eine Energiemessung aufgrund der räumlichen Ausbreitung im Geiger-Müller-Zählrohr nicht mehr möglich.

### 2.3 Der Einfluss der positiven Ionen

Der Ionisationsstrom wird anhand der freien Elektronen gemessen, die sich zum Anodendraht bewegen. Dabei werden die entstehenden positiven Ionen zunächst vernachlässigt. Allerdings bleiben die Ionen aufgrund ihrer höheren Masse zwischen Kathodenzyylinder und Anodendraht. Dadurch wird das elektrische Feld so weit herabgesetzt, dass keine Stoßionisation mehr möglich ist. Diese Zeit wird auch als Totzeit  $T$  bezeichnet.

Durch das elektrische Feld bewegen sich die Ionen zum Kathodenzyylinder und werden dort neutralisiert. Erst bei vollständiger Neutralisation wird wieder die gleiche Amplitude registriert. Vorher wird noch eine Erholungszeit  $T_E$  definiert, die den Zeitraum beschreibt, in dem die Ausgangsimpulse eine geringere Höhe haben, wie in Abbildung 3 gezeigt wird.



**Abbildung 3:** Tot- und Erholungszeit eines Zählrohrs im Zeit-Ladungs-Diagramm.

Außerdem wird bei der Neutralisation der Ionen an dem Kathodenzyylinder so viel Energie frei um Elektronen aus dem Metallmantel zu lösen. So kann durch ein einfallendes Teilchen ein weiterer zeitversetzter elektrischer Impuls registriert werden. Dieser Vorgang wird als Nachentladung beschrieben. Dabei entspricht die zeitliche Differenz der beiden Impulse  $T_L$  die Zeit, in der das Ion von seinem Entstehungsort zum Kathodenzyylinder gewandert ist. Da  $T_L$  größer ist als die Totzeit  $T$ , könnte es zu schlechten Messergebnissen in der nächsten Messreihe führen. Um dem entgegenzuwirken, werden Alkoholdämpfe in das Zählrohr eingebracht. Dies dient dazu, dass die positiven Ionen ihre Energie an die Alkoholmoleküle abgeben. Die Alkoholmoleküle werden dadurch ionisiert und wandern zum Metallmantel, wo sie allerdings nicht genug Energie aufbringen können um ein Elektron zu lösen. Dabei wird keine Nachentladung registriert und die Messwerte werden

nicht verfälscht.

## 2.4 Charakteristik des Zählrohrs

Die Charakteristik des Zählrohrs wird in Abbildung 4 dargestellt. Bei der Spannung  $U_E$  setzt der Auslösebereich ein. Das darauf folgende Plateau hat eine hohe Aussagekraft über die Qualität des Zählrohrs. Je flacher und länger das Plateau, desto höher ist die Qualität der Zählrohrs. Die Steigung wird durch Nachentladungen, die trotz des Alkoholdampfes entstehen, hervorgerufen. Die Zahl der Nachentladung steigt am Ende des Plateaus sehr stark an. Dadurch wird eine Dauerentladung gezündet, die in der Zerstörung des Zählrohrs enden kann.

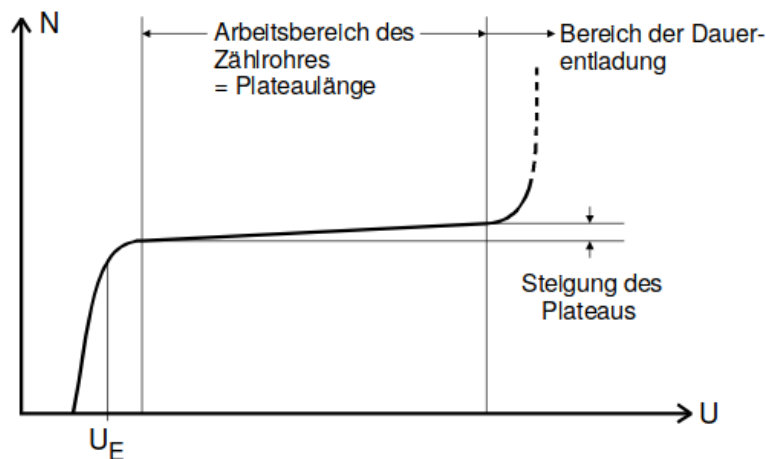


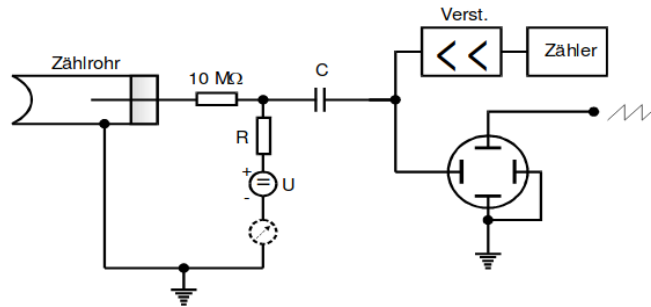
Abbildung 4: Arbeitsbereich der Zählrohrs im Teilchen-Spannungsdiagramm.

## 2.5 Ansprechvermögen des Zählrohrs

Das Ansprechvermögen beschreibt mit welcher Wahrscheinlichkeit ein einfallendes Teilchen im Zählrohr registriert wird. Um das Ansprechvermögen zu optimieren besteht das Eintrittsfenster aus Mylar, einem dünnwandigen Material. Wegen des hohen Ionisationsvermögens und der hohen Wechselwirkung mit Materie von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung liegt deren Ansprechvermögen bei nahezu 100%. Bei Photonen ist es vergleichsweise gering mit einem Ansprechvermögen von 1%. Das liegt an der geringen Wechselwirkung mit Materie.

## 3 Durchführung

In diesem Versuch wird die Schaltung aus Abbildung 5 verwendet. Im ersten Versuchsteil wird eine  $\beta$ -Quelle untersucht, indem sie vor das das Eintrittsfenster des Zählrohrs gestellt wird. Dann werden 40 Messwerte im Bereich 300-700V aufgenommen, wobei die Spannung nicht über 700 V gewählt werden darf um das Zählrohr nicht zu zerstören. Außerdem



**Abbildung 5:** Prinzipieller Aufbau der Messapparatur.

werden immer Messungen von 60s gemacht.

Im zweiten Versuchsteil wird die Totzeit auf zwei Wegen bestimmt. Der erste Weg erfolgt über einfache Ablesung auf dem Oszilloskop. Der zweite Weg erfolgt über die Messung zweier Proben. Zunächst wird die Impulsrate der ersten Probe gemessen, daraufhin die Impulsrate beider Proben zusammen und zuletzt die Impulsrate der zweiten Probe. Dabei ist es wichtig, diese Reihenfolge einzuhalten um die Lage der ersten Probe und danach die Lage der zweiten Probe relativ zum Eintrittsfenster nicht zu verändern.

## 4 Auswertung

### 4.1 Charakteristik

Die bei der Messung aufgenommenen Zählraten  $N$  sind in Tabelle 1 aufgetragen. Diese werden in Abhängigkeit von der Spannung  $U$  bei einer jeweiligen Messzeit von 60 s aufgenommen und auf 1 s umgerechnet. Der Fehler von  $N$  ergibt sich dabei durch

$$\Delta N = \sqrt{N}.$$

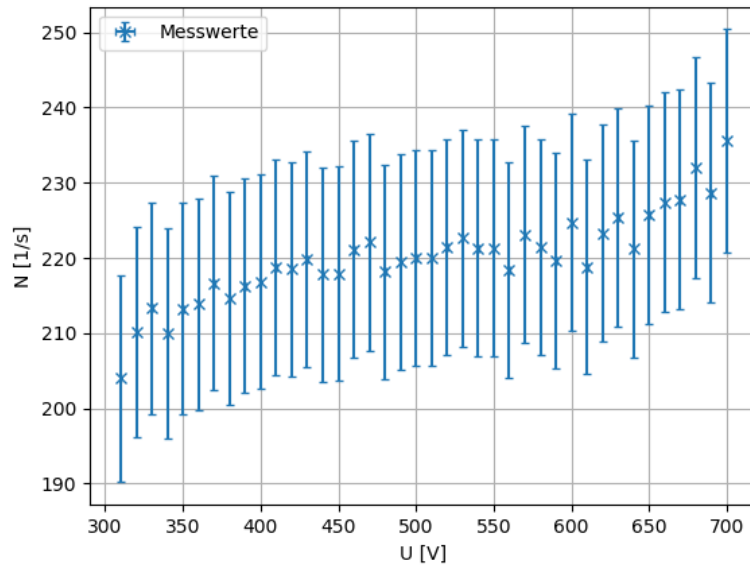
**Tabelle 1:** Messdaten der Charakteristik des Zählrohres.

$U/V$	$N/s$	$I/\mu A$
300	0	0
310	$190.17 \pm 13.79$	0.1
320	$196.10 \pm 14.00$	0.1
330	$199.20 \pm 14.11$	0.1
340	$196.02 \pm 14.00$	0.1
350	$199.15 \pm 14.11$	0.2
360	$199.70 \pm 14.13$	0.2
370	$202.40 \pm 14.23$	0.2
380	$200.50 \pm 14.16$	0.3
390	$202.08 \pm 14.22$	0.3
400	$202.62 \pm 14.23$	0.3
410	$204.47 \pm 14.30$	0.3
420	$204.22 \pm 14.29$	0.4
430	$205.55 \pm 14.34$	0.4
440	$203.50 \pm 14.27$	0.4
450	$203.60 \pm 14.27$	0.4
460	$206.78 \pm 14.38$	0.5
470	$207.67 \pm 14.41$	0.5
480	$203.88 \pm 14.28$	0.5
490	$205.08 \pm 14.32$	0.6
500	$205.62 \pm 14.34$	0.6
510	$205.67 \pm 14.34$	0.6
520	$207.02 \pm 14.39$	0.6
530	$208.18 \pm 14.43$	0.7
540	$206.93 \pm 14.39$	0.7
550	$206.95 \pm 14.39$	0.7
560	$204.08 \pm 14.29$	0.7
570	$208.63 \pm 14.44$	0.8
580	$207.05 \pm 14.39$	0.8
590	$205.38 \pm 14.33$	0.8
600	$210.23 \pm 14.50$	0.8
610	$204.50 \pm 14.30$	0.9
620	$208.87 \pm 14.45$	1.0
630	$210.90 \pm 14.52$	1.0
640	$206.82 \pm 14.38$	1.0
650	$211.22 \pm 14.53$	1.0
660	$212.85 \pm 14.59$	1.0
670	$213.13 \pm 14.60$	1.0
680	$217.32 \pm 14.74$	1.1
690	$214.05 \pm 14.63$	1.1
700	$220.70 \pm 14.86$	1.2



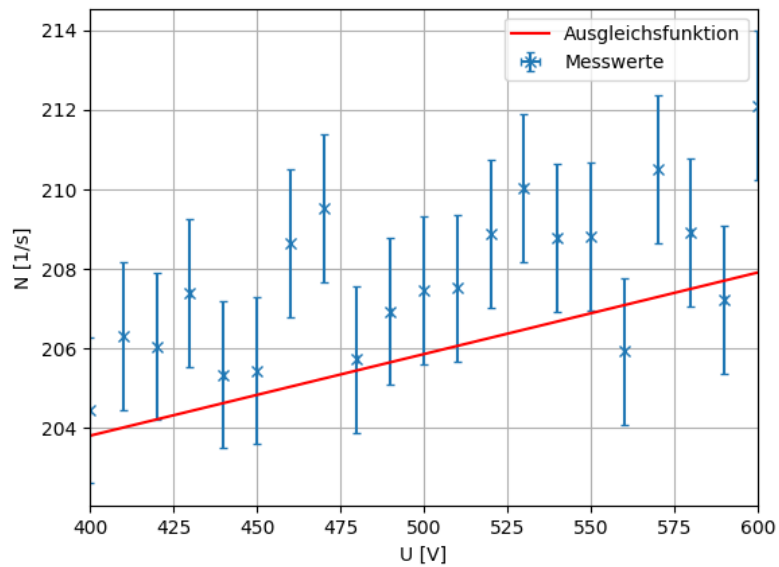
In Abbildung 6 ist die Charakteristik des Zählrohres abgebildet. Hierzu wurde Zählrate pro Sekunde verwendet ( $N \cdot \frac{1}{s}$ ). Die Fehler ergeben sich durch

$$\Delta n = \frac{\sqrt{N}}{\Delta t}$$



**Abbildung 6:** Charakteristik des Zählrohres.

Es ist zu erkennen, dass das Plateau erst bei einer Spannung von 310 V besteht. Um dieses Plateau nun genauer zu untersuchen, wird eine lineare Regression ab einer Spannung von 310 V durchgeführt. Diese ist in Abbildung 7 abgebildet.



**Abbildung 7:** Regression des Charakteristik-Plateaus.

Als Regressionsfunktion wurde

$$I(U) = m \cdot U + b$$

verwendet. Es ergeben sich folgende Werte:

$$m = 0.02051 \pm 0.00003 \frac{1}{Vs}$$

$$b = 196 \pm 7 \frac{1}{s}$$

Somit ergibt sich eine Plateauaussteigung von

$$m_{Pl} = (1 \pm 0.00005)\% \text{ pro } 100V.$$

## 4.2 Totzeit

### 4.2.1 Ablesen des Oszilloskops

Am Oszilloskop lassen sich folgende Totzeiten  $T_t$  und Erholungszeiten  $T_E$  ablesen:

**Tabelle 2:** Totzeiten  $T_t$  und Erholungszeiten  $T_E$  des Zählrohres.

$U/V$	$T_t/\mu s$	$T_E/\mu s$
550	$60 \pm 1$	$140 \pm 1$
500	$58 \pm 1$	$120 \pm 1$
450	$56 \pm 1$	$100 \pm 1$

Die Fehler ergeben sich, da ein genaues Ablesen nicht möglich ist. Aus den berechneten Werten wird dann der Mittelwert mit folgender Formel gebildet.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Somit ergibt sich nach dieser Messung eine Totzeit und eine Erholungszeit von:

$$T_t = 58 \pm 1$$

$$T_E = 120 \pm 1$$

#### 4.2.2 Zwei-Quellen-Methode

Bei der Zwei-Quellen-Methode werden folgende Zählraten innerhalb von 60 Sekunden, bei einer Spannung  $U$  von 450V, gemessen:

**Tabelle 3:** Totzeiten  $T_t$  und Erholungszeiten  $T_E$  des Zählrohres.

$\frac{N_1}{60s}$	$\frac{N_2}{60s}$	$\frac{N_{1+2}}{60s}$
$14034 \pm 118$	$13155 \pm 115$	$26491 \pm 163$

Durch Gleichung

$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}$$

ergibt sich somit für die Totzeit der Wert:

$$T_t = (19 \pm 6) s$$

Der Fehler lässt sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung bestimmen:

$$\Delta T = \left( \left( \frac{2n_1n_2 - (n_1 + n_2 - n_{1+2})2n_2}{(2n_1n_2)^2} \cdot \Delta n_1 \right)^2 + \left( \frac{2n_1n_2 - (n_1 + n_2 - n_{1+2})2n_1}{(2n_1n_2)^2} \cdot \Delta n_2 \right)^2 + \left( -\frac{2n_1n_2}{(2n_1n_2)^2} \cdot \Delta n_{1+2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

### 4.3 Freigesetzte Ladung

Die zur Bestimmung der Ladung benötigten Messwerte sind in Tabelle 4 aufgetragen.

Der Fehler ergibt sich dabei durch

$$\Delta Q = \frac{I}{e_0 N^2}$$

**Tabelle 4:** Messdaten der Charakteristik des Zählrohres.

$U/V$	$N/s$	$I/\mu A$	$Q \cdot 10^{10}/e_0$
300	0	0	0
310	$190.17 \pm 13.79$	0.1	$3.28 \pm 0.030$
320	$196.10 \pm 14.00$	0.1	$3.18 \pm 0.029$
330	$199.20 \pm 14.11$	0.1	$3.13 \pm 0.028$
340	$196.02 \pm 14.00$	0.1	$3.18 \pm 0.029$
350	$199.15 \pm 14.11$	0.2	$6.27 \pm 0.061$
360	$199.70 \pm 14.13$	0.2	$6.25 \pm 0.061$
370	$202.40 \pm 14.23$	0.2	$6.17 \pm 0.060$
380	$200.50 \pm 14.16$	0.3	$9.34 \pm 0.082$
390	$202.08 \pm 14.22$	0.3	$9.27 \pm 0.081$
400	$202.62 \pm 14.23$	0.3	$9.24 \pm 0.081$
410	$204.47 \pm 14.30$	0.3	$9.16 \pm 0.081$
420	$204.22 \pm 14.29$	0.4	$12.2 \pm 0.111$
430	$205.55 \pm 14.34$	0.4	$12.1 \pm 0.112$
440	$203.50 \pm 14.27$	0.4	$12.3 \pm 0.112$
450	$203.60 \pm 14.27$	0.4	$12.3 \pm 0.112$
460	$206.78 \pm 14.38$	0.5	$15.1 \pm 0.124$
470	$207.67 \pm 14.41$	0.5	$15.0 \pm 0.124$
480	$203.88 \pm 14.28$	0.5	$15.3 \pm 0.126$
490	$205.08 \pm 14.32$	0.6	$18.3 \pm 0.132$
500	$205.62 \pm 14.34$	0.6	$18.2 \pm 0.132$
510	$205.67 \pm 14.34$	0.6	$18.2 \pm 0.132$
520	$207.02 \pm 14.39$	0.6	$18.1 \pm 0.132$
530	$208.18 \pm 14.43$	0.7	$21.0 \pm 0.252$
540	$206.93 \pm 14.39$	0.7	$21.1 \pm 0.252$
550	$206.95 \pm 14.39$	0.7	$21.1 \pm 0.252$
560	$204.08 \pm 14.29$	0.7	$21.4 \pm 0.255$
570	$208.63 \pm 14.44$	0.8	$23.9 \pm 0.289$
580	$207.05 \pm 14.39$	0.8	$24.1 \pm 0.290$
590	$205.38 \pm 14.33$	0.8	$24.3 \pm 0.292$
600	$210.23 \pm 14.50$	0.8	$23.8 \pm 0.289$
610	$204.50 \pm 14.30$	0.9	$27.5 \pm 0.301$
620	$208.87 \pm 14.45$	1.0	$29.9 \pm 0.333$
630	$210.90 \pm 14.52$	1.0	$29.6 \pm 0.331$
640	$206.82 \pm 14.38$	1.0	$30.2 \pm 0.334$
650	$211.22 \pm 14.53$	1.0	$29.6 \pm 0.331$
660	$212.85 \pm 14.59$	1.0	$29.3 \pm 0.329$
670	$213.13 \pm 14.60$	1.0	$29.3 \pm 0.329$
680	$217.32 \pm 14.74$	1.1	$31.6 \pm 0.360$
690	$214.05 \pm 14.63$	1.1	$32.1 \pm 0.382$
700	$220.70 \pm 14.86$	1.2	$33.9 \pm 0.398$

## 5 Diskussion

In der Auswertung ist eine recht hohe Fehlerrate der Messwerte zu erkennen. Wird der Versuchsaufbau betrachtet, können diese Fehler auf statistische Zerfälle des Strahlers zurückzuführen sein. Die Steigung des Plateaus ist mit 1% pro 100V sehr flach, was auf ein sehr effektives Zählrohr schließen lässt.

Die Auswertung der Totzeit  $T_t$  am Oszilloskop ist äußerst ungenau, da es zu starkem "Flackern" kommt und das Ablesen somit erschwert ist. Es ergaben sich folgende Werte:

$$T_t = 58 \pm 1$$

$$T_E = 120 \pm 1$$

Die Auswertung durch die Zwei-Quellen-Methode funktioniert eher, hat jedoch auch eine große Fehleranfälligkeit. Hierbei ergibt sich eine Totzeit von  $T_t = (19 \pm 6)$  s. Somit weichen die beiden unterschiedlich gemessenen Totzeiten stark voneinander ab. Es ist jedoch anzunehmen, dass die durch die Zwei-Quellen-Methode gemessene Totzeit eher dem echten Wert entspricht. Eine weitere Fehlerquelle kann das Amperemeter sein. Es ist möglich, dass das Amperemeter nicht empfindlich genug für die Messungen ist und somit die letzte Messung ungeeignet für eine genaue Messung der Ladung ist.

## 6 Literatur

[1] TU Dortmund. Versuchsanleitung zum Experiment V703 - Geiger Müller Zählrohr. 2019.