

TU Dortmund

# V703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr

Korrektur

Markus Stabrin

markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke

kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 9. April 2013

Abgabedatum: 7. Mai 2013

# 1 Einleitung

In diesem Versuch werden Funktionsweise und Kenngrößen des Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht. Das Gerät ermöglicht die Messung der Intensität ionisierender Strahlung. Auf Grund des einfachen Aufbaus ist das Geiger-Müller-Zählrohr kostengünstig und wegen seiner Verbreitung besonders interessant.

## 2 Theorie

Zunächst soll die Funktionsweise grob beschrieben werden.

### 2.1 Aufbau

Das Instrument besteht aus einem Anodendraht, der von einem Kathodenzyylinder umschlossen ist. Der Raum zwischen Draht und Zylinder ist mit einem Gasgemisch niedrigen Drucks gefüllt, das sich leicht ionisieren lässt. Es wird eine Spannung  $U$  zwischen 300 V und 2000 V an Anode und Kathode angelegt, wodurch ein radialsymmetrisches Feld im Innern des Zylinders entsteht. Der Zylinder ist von einem Stahlmantel umgeben, wobei eine Stirnseite aus einer dünnen Membran aus Mylar besteht. Hierdurch wird möglichst wenig Strahlung beim Eintritt absorbiert und Gleichzeitig der Niederdruck im Inneren des Zählrohrs bewahrt.

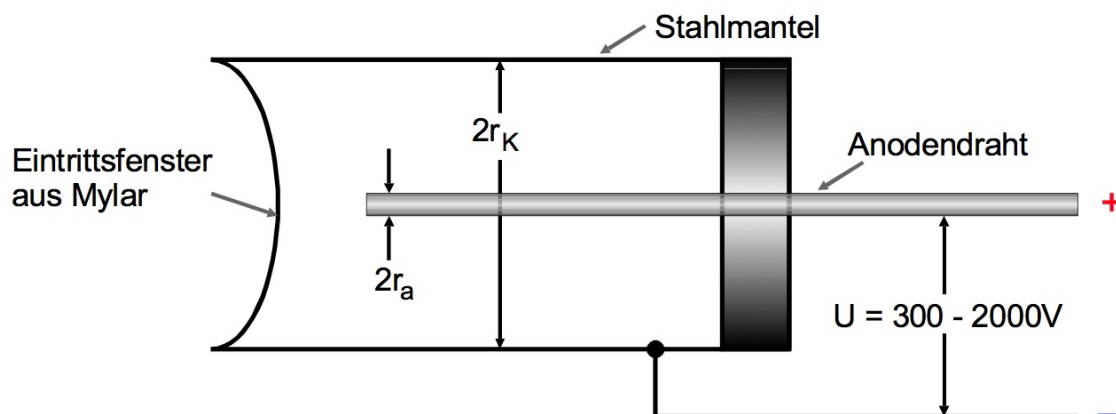


Abbildung 1: Querschnitt des Geiger-Müller-Zählrohrs [1]

### 2.2 Funktionsweise

Wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohr eintritt, gibt es seine Energie an die Gasatome ab und kann diese ionisieren, bis seine Energie aufgebraucht ist. Weil die Energie des einfallenden Teilchens wesentlich größer ist, als die zur Ionisation benötigte Energie, ist die Anzahl ionisierter Kerne proportional zur Energie des Teilchens. Die freigesetzten Gas-Ionen werden nun durch das elektrische Feld abgelenkt und bei genügend großer

Spannung  $U$  in Anode und Kathode absorbiert. Die verschiedenen Wirkungsbereiche werden im Folgenden erläutert.

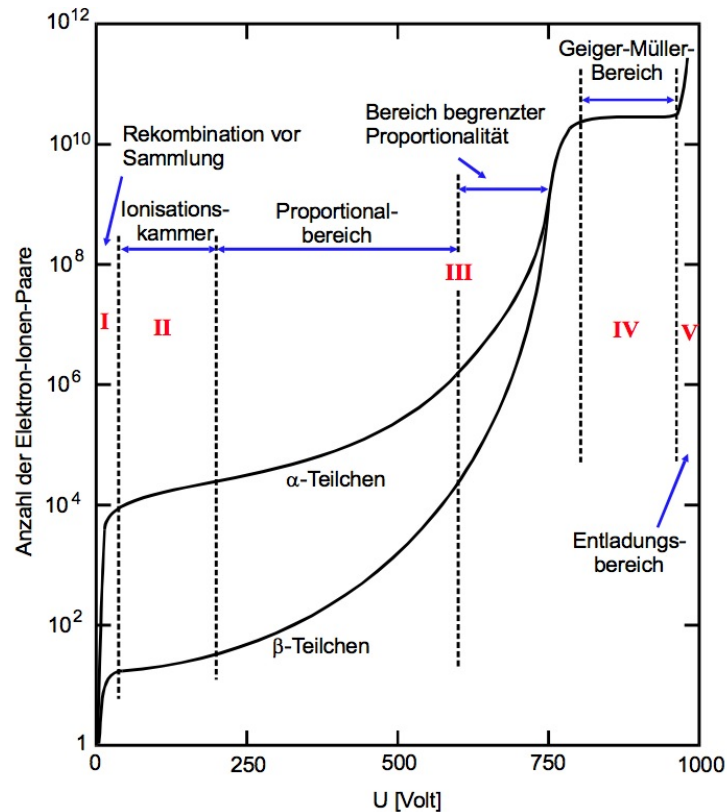


Abbildung 2: Wirkungsbereiche des Geiger-Müller-Zählrohrs [1]

### 2.2.1 Rekombination (I)

Bei zu geringer angelegter Spannung (beim vorliegenden Gerät  $U < 300$  V) reicht die Feldstärke im Zylinder nicht aus, um die Teilchen vollständig zu ionisieren. Sie rekombinieren und die einfallende Strahlung lässt sich nicht detektieren.

### 2.2.2 Ionisationskammer (II)

Erhöht man die Spannung, wird jedes ionisierte Molekül absorbiert und der Strom zwischen Anode und Kathode ist proportional zur Energie und zur Intensität der einfallenden Strahlung. Da der auftretende Strom jedoch sehr gering ist, kann nur Strahlung hoher Intensität gemessen werden. Man bezeichnet das Zählrohr dann als Ionisationskammer.

### 2.2.3 Proportionalitätsbereich (III)

Bei größerer Spannung haben die im Zylinder freigesetzten Elektronen genügend Energie, um ihrerseits Moleküle zu ionisieren. Auf diese Weise werden immer mehr Elektronen frei und man spricht man von einer TOWNSEND-LAWINE. Die Anzahl der freigesetzten Elektronen ist dabei nahezu proportional zur Energie der einfallenden Teilchen und die Spannung ist messbar groß. In diesem Bereich arbeitet der Detektor als Proportionalitätszählrohr.

### 2.2.4 Geiger-Müller-Bereich (IV)

Wird die Spannung weiter erhöht, entsteht bei den ersten Ionisationen eine Vielzahl von UV-Photonen, die sich im gesamten Zählrohr ausbreiten und neue Elektronenlawinen auslösen. Die Ladung, die sich auf der Anode ansammelt, ist dann unabhängig von der Energie des einfallenden Teilchens. Dieser Spannungsbereich wird auch als Auslösebereich bezeichnet und ist die hauptsächliche Verwendungsart des Geiger-Müller-Zählrohrs. Die Anzahl der gemessenen Teilchen ist hier nahezu konstant. Das so entstehende Plateau beschreibt die Charakteristik des Zählrohrs. Ein langes Plateau mit geringer Steigung bedeutet dabei ein hochwertiges Zählrohr.

Bei noch höheren Spannungen wird durch ein einzelnes einfallendes Teilchen eine Dauerentladung gezündet, wobei der anfallende Strom schließlich so stark wird, dass das Gerät zerstört werden kann.

## 2.3 Nebeneffekte: Totzeit und Nachentladungen

Ein unerwünschter Effekt des Geiger-Müller-Zählrohrs wird als Totzeit bezeichnet. Weil die positiv geladenen Atomrümpfe langsamer von der Kathode absorbiert werden, als die leichten Elektronen, bilden die Rümpfe für eine kurze Zeit eine Ladungswolke, die dem elektrischen Feld entgegenwirkt. Dies macht weitere Ionisationen unmöglich.

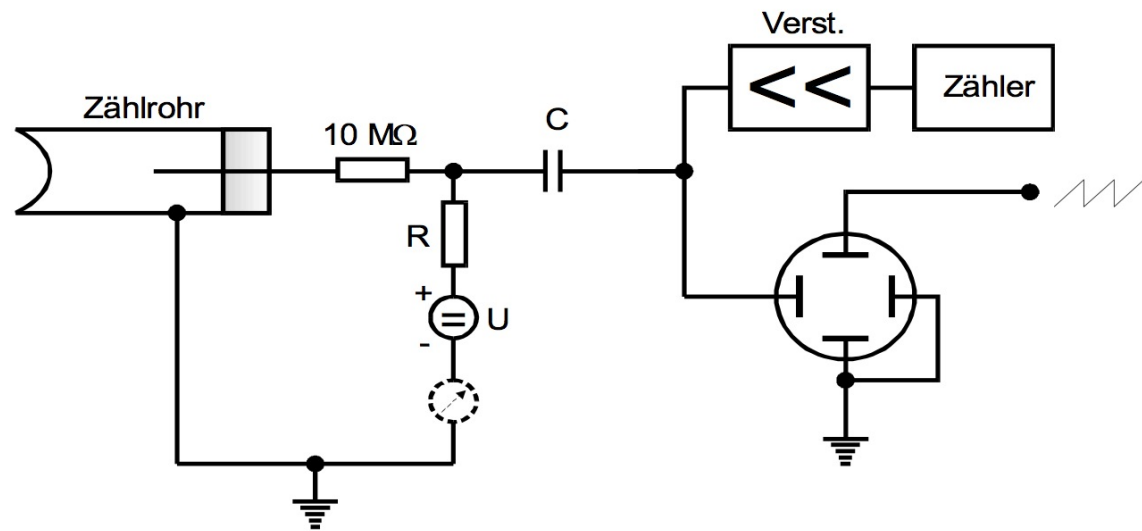
Zudem werden bei der Absorption der Atomrümpfe in der Zylinderhülle möglicherweise Elektronen herausgeschlagen. Diese durchlaufen das gesamte Potential und können wiederum eine Lawine und damit einen messbaren Spannungsimpuls hervorrufen, der das Ergebnis verfälscht. Diesem als Nachentladung bezeichneten Effekt wird durch die Zugabe eines Alkohol-Gases entgegengewirkt.

## 2.4 Ansprechvermögen

Das Ansprechvermögen bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Teilchen detektiert werden kann. Weil  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung genügend große Massen haben, wird diese zu nahezu 100 % nachgewiesen. Das Ansprechvermögen für Photonen liegt dagegen nur bei etwa 1 %, weshalb hier nur sehr hohe Intensitäten gemessern werden können.

Durch die in 2.1 erwähnte, dünne Membran an der Eintrittsseite des Zylinders wird gewährleistet, dass möglichst viele Teilchen die Zählkammer erreichen.

Der Versuch wird, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt, aufgebaut. Die Ladung  $Q$  wird über einen Widerstand  $R$  auf einem Kondensator  $C$  gesammelt und durch einen Verstärker in den Zähler geleitet. Zudem lässt sich jeder Impuls im Oszilloskop sichtbar machen, was die Identifizierung von Nachentladungen ermöglicht. Die angelegte Spannung kann variiert werden, um die Zählrohrcharakteristik aufnehmen zu können.



### 3.1 Messungen

Zunächst wird die Zählrate  $N$  in Abhängigkeit der Spannung  $U$  aufgenommen, um die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs zu bestimmen. Auf Grund der Totzeit muss darauf geachtet werden, dass die Zählrate im einzelnen nicht  $N = 100 \frac{1}{s}$  übersteigt. Der Fehler  $\Delta N$  der Messungen soll dabei unter  $\Delta N = 1 \%$  liegen. Weil die Werte poissonverteilt sind, gilt

$$\Delta N = \sqrt{N} < 0,01$$
$$\Rightarrow N > 10\,000.$$

5

Nachentladung werden sichtbar. Hierbei ist der zeitliche Abstand  $T_{\text{tot}}$  zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls vom Oszilloskop abzulesen.

Die Totzeit  $T_{\text{tot}}$  soll zudem mit Hilfe der Zwei-Quellen-Methode gemessen werden. Hierfür wird die Zählrate  $N_1$  zunächst für eine Quelle gemessen. Ohne die Quelle zu verändern, wird eine weitere Quelle hinzugefügt und wiederum  $N_{1+2}$  gemessen. Die erste Quelle wird dann entfernt und es wird ein letztes Mal  $N_2$  gemessen.

Die Werte zeigen dann, dass auf Grund der Totzeit  $T_{\text{tot}}$  näherungsweise gilt:

$$\begin{aligned} N_{1+2} &< N_1 + N_2 \\ \Rightarrow T_{\text{tot}} &\approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Schließlich wird die pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge  $Q$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U$  ermittelt. Hierfür wird der mittlere Zählstrom  $\bar{I}$  gemessen.

## 4 Auswertung

### 4.1 Aufnahme der Charakteristik des Zählrohrs

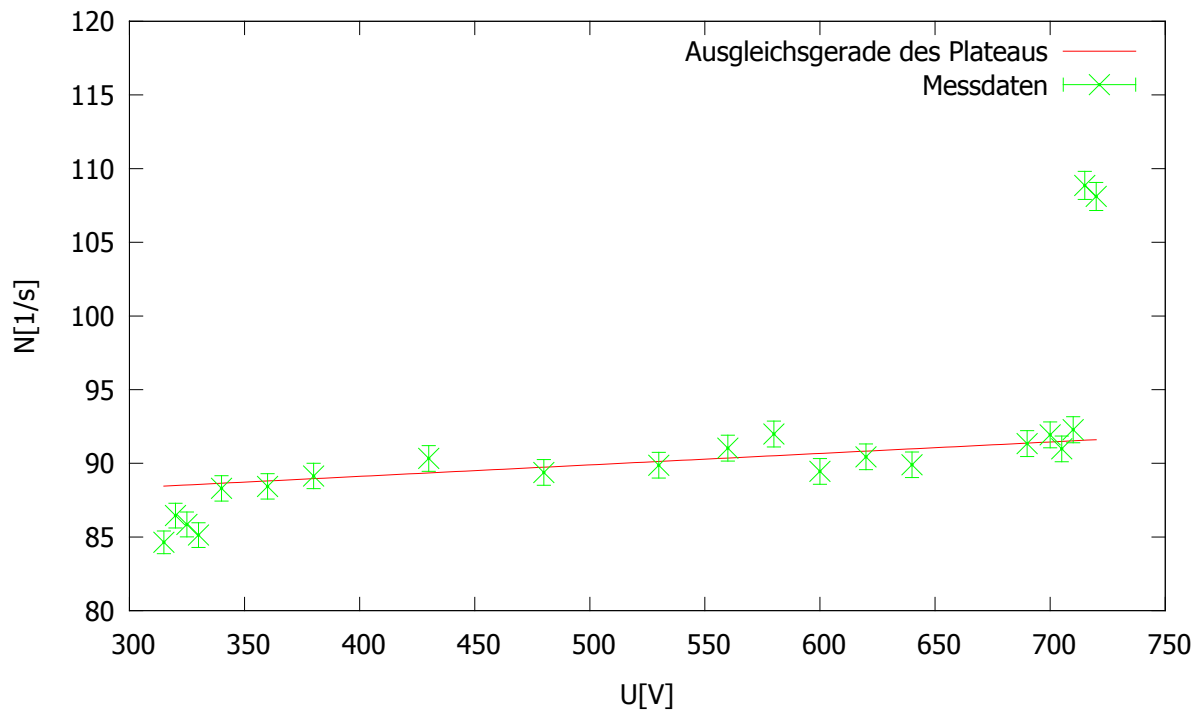


Abbildung 4: Darstellung der Charakteristik des Zählrohrs und einer Ausgleichsgeraden des Plateaus. Dafür wurden die Werte von 340 V bis 710 V verwendet.

| U[V] | N     | $\Delta N$ | t[s] | N[1/s] | $\Delta N[1/s]$ |
|------|-------|------------|------|--------|-----------------|
| 300  | 0     | 0          | 140  | 0.00   | 0.00            |
| 310  | 0     | 0          | 140  | 0.00   | 0.00            |
| 315  | 11849 | 108        | 140  | 84.64  | 0.77            |
| 320  | 10374 | 101        | 120  | 86.45  | 0.84            |
| 325  | 10302 | 101        | 120  | 85.85  | 0.84            |
| 330  | 10216 | 101        | 120  | 85.13  | 0.84            |
| 340  | 10596 | 103        | 120  | 88.30  | 0.86            |
| 360  | 10611 | 103        | 120  | 88.43  | 0.86            |
| 380  | 10697 | 103        | 120  | 89.14  | 0.86            |
| 430  | 10840 | 104        | 120  | 90.33  | 0.87            |
| 480  | 10725 | 104        | 120  | 89.38  | 0.87            |
| 530  | 10784 | 104        | 120  | 89.87  | 0.87            |
| 560  | 10924 | 105        | 120  | 91.03  | 0.88            |
| 580  | 11039 | 105        | 120  | 91.99  | 0.88            |
| 600  | 10734 | 104        | 120  | 89.45  | 0.87            |
| 620  | 10853 | 104        | 120  | 90.44  | 0.87            |
| 640  | 10788 | 104        | 120  | 89.90  | 0.87            |
| 690  | 10961 | 105        | 120  | 91.34  | 0.88            |
| 700  | 11032 | 105        | 120  | 91.93  | 0.88            |
| 705  | 10917 | 104        | 120  | 90.98  | 0.87            |
| 710  | 11073 | 105        | 120  | 92.28  | 0.88            |
| 715  | 13063 | 114        | 120  | 108.86 | 0.95            |
| 720  | 12973 | 114        | 120  | 108.11 | 0.95            |

Tabelle 1: Messdaten zur Bestimmung der Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs.

Die Messungen für die Charakteristik des Zählrohrs ergaben die in Tabelle 1 aufgelisteten Werte. Eine graphische Darstellung findet sich in Graph 4. Für die Messung der Ausgleichsgeraden vom Typ  $f(x) = m * x + b$  ergab sich:

$$\begin{aligned}
 m &= (0,008 \pm 0,002) \text{ 1/Vs} \\
 b &= (86,00 \pm 0,91) \text{ 1/s} \\
 f(x) &= (0,008 \pm 0,002) \text{ 1/Vs} * x + (86,00 \pm 0,91) \text{ 1/s}
 \end{aligned}$$

Die Steigung der Geraden von  $m = (0,008 \pm 0,002) \text{ 1/Vs}$  entspricht einer Steigung von 0,99 % pro 100 V. Aus den Messdaten lässt sich ablesen, dass die Plateaulänge etwa 370 V beträgt. Eine für die Messung geeignete Zählrohrspannung befindet sich am Anfang des Plateaus und liegt etwa bei 400 V. Da sich dort der Arbeitsbereich des Geiger Müller Zählrohrs befindet, ist die Anzahl der Nachentladungen noch gering.

Die in der Tabelle errechneten Fehler der Impulsrate ergeben sich durch  $\sqrt{N}$ , da diese Poissonverteilt sind.

## 4.2 Sichtbarmachung von Nachentladungen und Messung der Totzeit mithilfe des Oszilloskops

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $T_{\text{nach}}$ | 200 $\mu\text{s}$ |
| $T_{\text{tot}}$  | 200 $\mu\text{s}$ |

Tabelle 2: Messdaten bei der Bestimmung der Nachentladungszeit  $T_{\text{nach}}$  und der Totzeit  $T_{\text{tot}}$  mithilfe des Oszilloskops.

Für die Bestimmung des zeitlichen Abstands zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls ergaben sich die in Tabelle 2 aufgelisteten Werte. Dafür wurde die Zeit zwischen den auf dem Oszilloskop sichtbaren Maxima abgelesen. Da dies sehr ungenau ist, wird die Totzeit gleich der Nachentladungszeit abgeschätzt.

## 4.3 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

| Probe | N     | $\Delta N$ | t[s] | N[1/s] | $\Delta N[1/s]$ |
|-------|-------|------------|------|--------|-----------------|
| N1    | 13302 | 115        | 180  | 73.90  | 0.64            |
| N2    | 7902  | 89         | 360  | 21.95  | 0.27            |
| N12   | 16798 | 130        | 180  | 93.32  | 0.72            |

Tabelle 3: Messdaten zur Bestimmung der Totzeit  $T_{\text{tot}}$  mithilfe der Zwei-Quellen-Methode bei  $U = 450 \text{ V}$ .

Bei der Messung ergaben sich die Werte aus Tabelle 3. Für die Berechnung der Totzeit wurde die Näherung (1) verwendet. Da die Zählrate eines Messwertes unter der Grenze von 10000 liegt, wirkt sich dies auf den Fehler der Messung aus. Der Fehler bei einer Zählrate von  $N = 10000$  beträgt  $\Delta N = 100$  und unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von dem Fehler bei  $N = 7902$  mit  $\Delta N = 89$  im Verhältnis zur gemessenen Größe. Es ergibt sich daraus:

$$T_{\text{tot}} = (779,17 \pm 301,63) \mu\text{s} \quad .$$

Die Abweichung bezüglich der Messung mit dem Oszilloskop könnte deshalb kommen, da wirklich nur sehr ungenau abgelesen werden konnte. Der Fehler berechnet sich durch Gauß'sche Fehlerfortpflanzung:



$$\begin{aligned}
\frac{\partial T}{\partial N_1} &= \frac{2N_1N_2 - 2N_2(N_1 + N_2 - N_{12})}{4N_1^2N_2^2}, \\
\frac{\partial T}{\partial N_2} &= \frac{2N_1N_2 - 2N_1(N_1 + N_2 - N_{12})}{4N_1^2N_2^2}, \\
\frac{\partial T}{\partial N_{12}} &= -\frac{1}{2N_1N_2}, \\
\Delta T &= \left( \left( \left| \frac{\partial T}{\partial N_1} \right| \Delta N_1 \right)^2 + \left( \left| \frac{\partial T}{\partial N_2} \right| \Delta N_2 \right)^2 + \left( \left| \frac{\partial T}{\partial N_{12}} \right| \Delta N_{12} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned}$$

#### 4.4 Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge

| U[V] | N     | $\Delta N$ | N[1/s] | $\Delta N$ [1/s] | I[ $\mu$ A] | $\Delta I$ [ $\mu$ A] | Q \ T[ $1 \cdot 10^{10}$ e] | $\Delta Q$ \ T[ $1 \cdot 10^{10}$ e] |
|------|-------|------------|--------|------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 480  | 10725 | 104        | 89.38  | 0.87             | 0.4         | 0.1                   | 2.79                        | 0.6998                               |
| 580  | 11039 | 105        | 91.99  | 0.88             | 0.5         | 0.1                   | 3.40                        | 0.6802                               |
| 600  | 10734 | 104        | 89.45  | 0.87             | 0.6         | 0.1                   | 4.19                        | 0.6992                               |
| 620  | 10853 | 104        | 90.44  | 0.87             | 0.6         | 0.1                   | 4.14                        | 0.6916                               |
| 640  | 10788 | 104        | 90.44  | 0.87             | 0.6         | 0.1                   | 4.17                        | 0.6957                               |

Tabelle 4: Messdaten zur Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge

Die Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse zur Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge. Grafik 5 zeigt die freigesetzte Ladung Q in Abhängigkeit von der Spannung U.

## 5 Diskussion

Auffällig bei diesem Versuch ist die relativ große Abweichung bei der Totzeitmessung des Zählrohrs. Für die ermittelung der Totzeit mithilfe des Oszilloskops ergab sich  $T_{\text{tot}} = 200 \mu\text{s}$ . Bei der Zwei-Quellen-Methode ergab sich  $T_{\text{tot}} = (779,17 \pm 301,63) \mu\text{s}$ . Die Messung mithilfe des Oszilloskops ist jedoch auch sehr ungenau, da die Maxima nicht gut ablesbar sind und auch nur für eine sehr kurze Zeit sichtbar sind.

Die Probe war relativ schwach, sodass es schwierig war das Plateau des Zählrohrs zu verlassen.

Der Unterschied wurde erst bei der Zwei-Quellen-Methode deutlich, als mehr als die doppelte Messzeit bei gleichem Abstand benutzt werden musste, um an die nötigen 10000 Ereignisse heranzukommen.

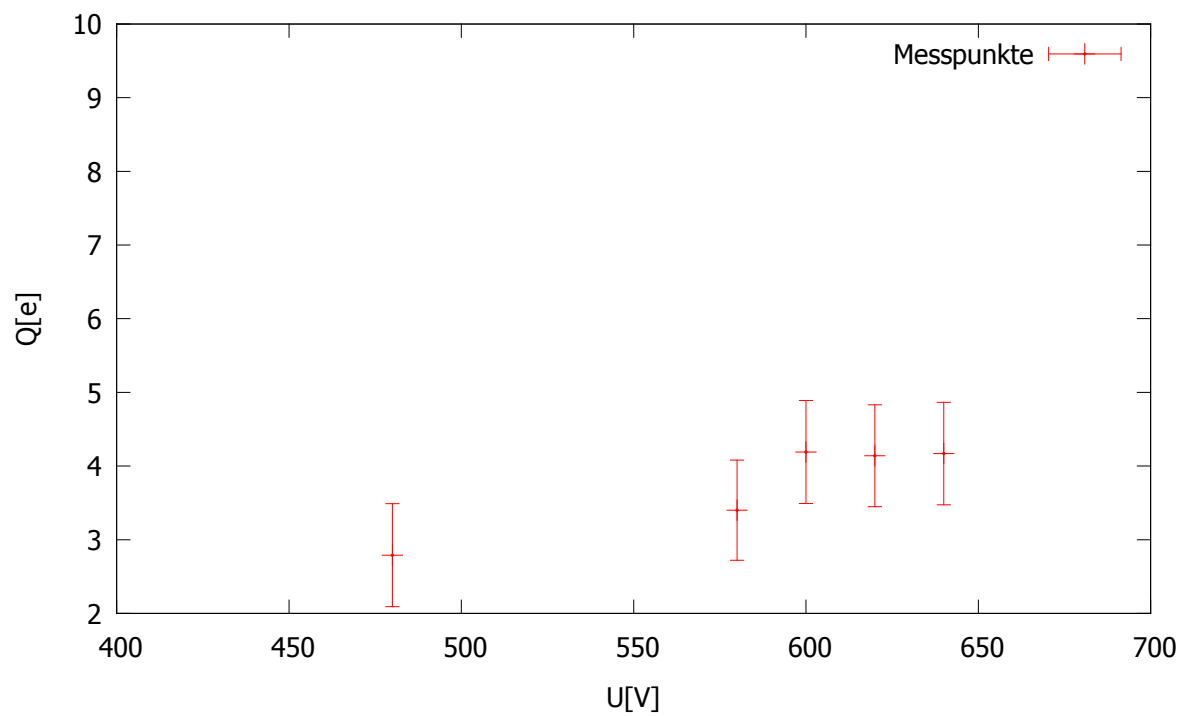


Abbildung 5: Freigesetzte Ladung  $Q$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U$

## Literatur

- [1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch Nr. 703 - Das Geiger-Müller-Zählrohr. Stand: April 2013.