

Versuch V703: Geiger-Müller-Zählrohr

Martin Bieker
Julian Surmann

Durchgeführt am 27.05.2014
TU Dortmund

1 Einleitung

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein einfaches Messinstrument zur Messung der Intensität von ionisierender Strahlung. In diesem Versuch werden einige Kenndaten dieser Apparatur ermittelt.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Funktion

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Draht mit Radius r_a , der sich in einem Metallzylinder mit Radius r_k befindet (siehe Abb. 1). Zwischen diesen Elementen wird eine

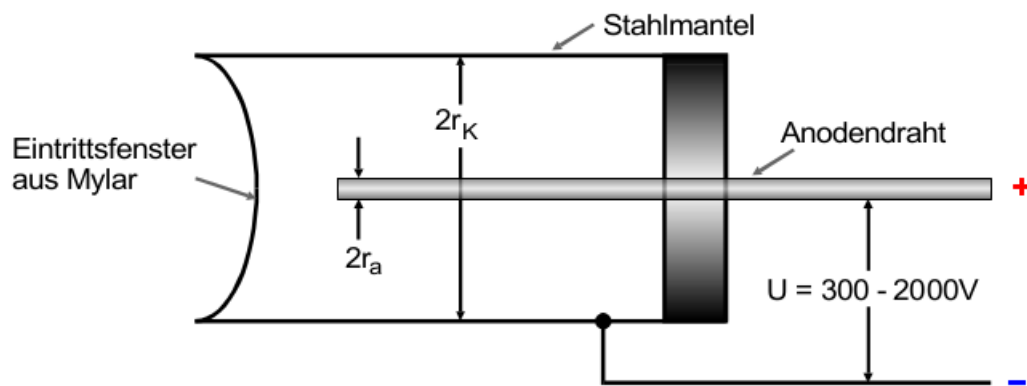


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs. [1]

elektrische Spannung von 300 V bis 2000 V angelegt. Auf diese Weise entsteht zwischen Anodendraht und Kathodenzyylinder ein radial-symmetrisches Feld. Der Innenraum ist mit einem Edelgasgemisch gefüllt. Da im Innenraum ein Unterdruck herrschen soll, ist das Zählrohr an den Enden verschlossen. An einer Seite befindet sich aber eine dünne Mylarfolie, damit auch α und β -Teilchen in den Innenraum eindringen können.

Wenn Strahlung in das Zählrohrvolumen eindringt, werden die Edelgasatome ionisiert. Da die Energie der Strahlung ein Vielfaches der Ionisierungsenergie ist, können mehrere Atome ionisiert werden, bis die Strahlung vollständig absorbiert ist. Die durch die Ionisierungsakte freigesetzten Elektronen werden durch das elektrische Feld zum Anodendraht beschleunigt. Die nach der ersten Ionisation ablaufenden Prozesse hängen sehr stark von der Zylinder anliegenden Spannung ab. In Abbildung 2 wird die Anzahl der pro einfallendem Teilchen erzeugten Elektronen-Ionen-Paare als Funktion der am Zählrohr angelegten Spannung dargestellt. Ist das elektrische Feld nicht sehr stark, werden rekombinieren mit den Ionen bevor sie den Anodendraht erreichen. Dies entspricht Bereich I in der Abbildung. Wird die Spannung erhöht erreichen mehr Elektronen den Draht bevor sie rekombinieren können. In diesem Spannungsbereich (II in der Abbildung) wird das Zählrohr als Ionisationskammer betrieben. Bei weiterer Erhöhung der Spannung sind die beschleunigten Elektronen auf Grund ihrer Energie in der Lage weitere Atome zu ionisieren. Es entsteht eine so genannte Townsend-Lawine. Es kann nun ein Ladungsimpuls gemessen werden, welcher von der Energie der einfallenden Strahlung abhängt. In diesem Bereich können mit dem Zählrohr sowohl die Intensität, als auch die Energie einer Strahlungsquelle gemessen werden. Daher wird die Apparatur in diesem Bereich als

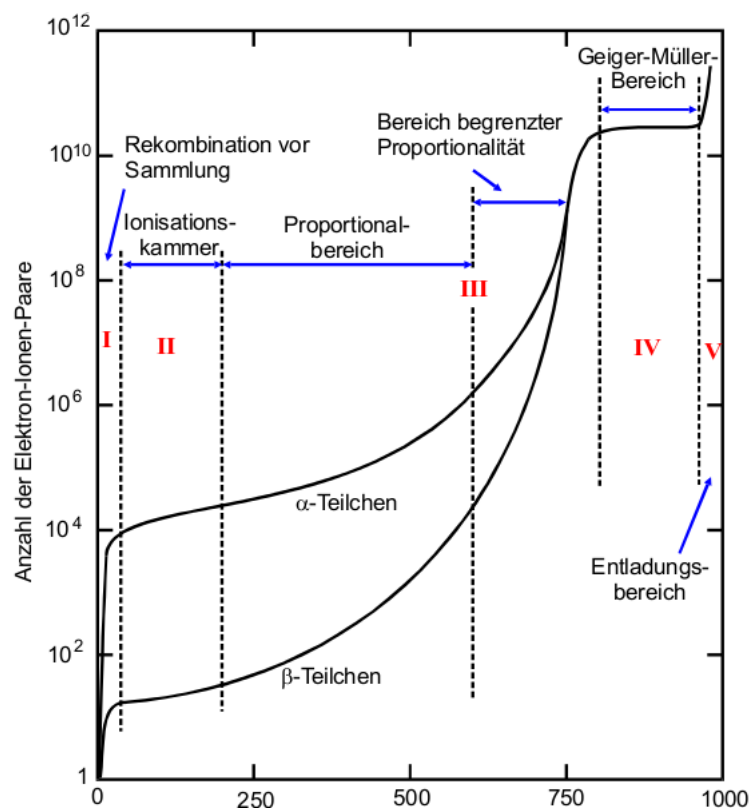


Abbildung 2: Anzahl der pro Teilchen erzeugten Ladungen als Funktion der Betriebsspannung.[1]

Proportionalitätszählrohr bezeichnet. Steigt die Spannung weiter an, sind die Spannungsimpulse nicht mehr von der Teilchenenergie abhängig (Bereich IV). Bei der Ionisation durch die Elektronen entstehen auf Grund des starken elektrischen Feldes UV-Quanten. Da diese ungeladen sind, verursachen sie auf ganzer Länge des Zählrohrs weitere Ionisationslawinen auslösen. In diesem Spannungsbereich wird ein Geiger-Müller-Zählrohr betrieben. Bei weiterer Steigerung der Spannung wird die Apparatur durch Dauerentladungen zerstört.

2.2 Charakteristik

Die Anzahl der Ladungsimpulse bei gegebener Zeit und Quellenintensität als Funktion der anliegenden Spannung wird als Charakteristik des Zählrohrs. Diese ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt. Das in dieser Abbildung dargestellte Plateau ist der eigentliche Messbereich

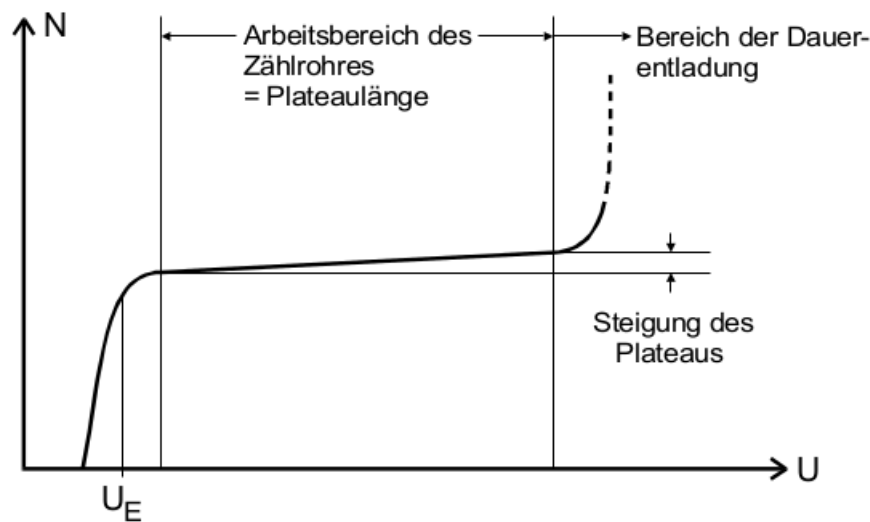


Abbildung 3: Charakteristik eines Zählrohrs. [1]

ich des Geiger-Müller-Zählrohrs. Die Länge und die Steigung des Plateaus sind wichtige Kennziffern für die Qualität der Apparatur.

2.3 Totzeit und Nachentladungen

Die, bei den Ionisationsvorgängen entstehenden, positiven Edelgasionen haben im Vergleich zu den Elektronen eine sehr große Masse. Daher wandern diese nur langsam zur Kathode. Durch die im Zylinder vorherrschende positive Ladungsdichte schirmt das Feld indes Anodendrahts ab. Aus diesem Grund können für eine gewisse Zeit T nach einem Impuls keine weiteren Teilchen erkannt werden. Dieser Effekt wird als Totzeit bezeichnet. Erst nachdem alle positiven Ionen neutralisiert wurden, erreichen die Ladungsimpulse ihre volle Stärke. Dieser Zeitraum heißt Erholungszeit T_E .

Treffen die Edelgasionen auf den Kathodenzyylinder lösen diese dort Elektronen aus der Metalloberfläche. Diese Elektronen können weitere Ionisations- und Endladungslawinen auslösen. Diese Nachentladungen verfälschen das Messergebnis, da dann bei einem Ladungsimpuls nicht unterschieden werden kann, ob dieser von einem Teilchen oder von einem Elektron aus dem Kathodenmaterial ausgelöst wurde. Um die Entstehung solcher Nachentladungen zu verhindern, wird dem Gas im Zählrohr eine geringe Menge eines Alkohols hinzugefügt. Diese

relativ großen Moleküle nehmen die Energie der Ionen auf und wandeln diese in thermische Schwingungen um. Auf diese Weise können keine Elektronen aus der Metalloberfläche ausgelöst werden.

3 Durchführung

Der Versuch ist wie in Abbildung 4 gezeigt aufgebaut. Das Zählrohr ist an eine variable Span-

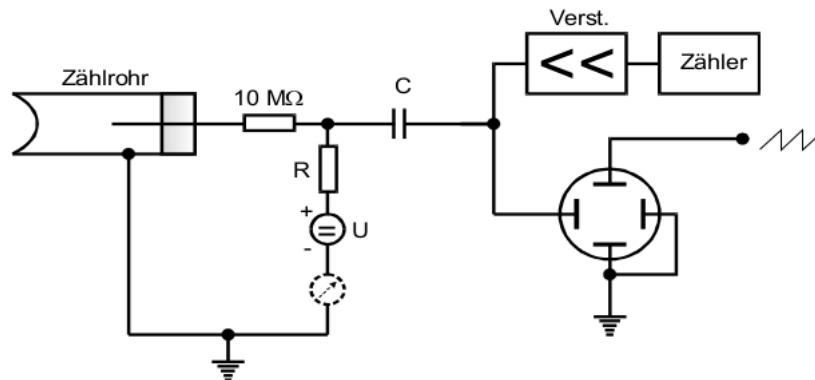


Abbildung 4: Schaltplan für Messungen am Geiger-Müller-Zählrohr. [1]

nungsquelle angeschlossen. In einen hochohmigen Widerstand werden die Ladungsimpulse in Spannungsimpulse gewandelt und über einen Kondensator ausgekoppelt. Diese Impulse werden dann einerseits verstärkt und gezählt und andererseits mit einem Oszilloskop sichtbar gemacht.

3.1 Aufnahme der Charakteristik

Zur Aufnahme der Charakteristik wird ein β -Strahler vor dem Zählrohr angebracht und die Zählrate in Abhängigkeit von der Spannung gemessen. Dabei wird die Spannung von 300 V bis 700 V in 20 V variiert. Damit der relative Fehler der Messung unter 1 % bleibt, wird der Messzeitraum

$$\Delta t$$

so gewählt, dass die Anzahl der gezählten Ereignisse

$$N \geq 10\,000$$

ist. Zusätzlich wird mit einem Strommessgerät der durch das Zählrohr fließende Strom gemessen, um später die pro Teilchen freigesetzte Ladungsmenge zu bestimmen.

3.2 Oszillographische Messungen

Zunächst sollen die Nachentladungen am Oszilloskop sichtbar gemacht werden. Dazu wird zunächst die Intensität der β -Quelle soweit gesenkt, dass die Wahrscheinlichkeit für zwei direkt aufeinander folgende Teilchen vernachlässigbar klein ist. Danach wird das Zählrohr einmal mit einer Spannung betrieben bei der Nachentladungen unwahrscheinlich sind. Danach wird die Zählrohrspannung auf ihr Maximum von 700 V erhöht.

Danach soll die Totzeit und die Erholungszeit mit Hilfe des Oszilloskops bestimmt werden. Dazu wird eine hohe Stahlintensität gewählt. Es ergibt sich ein Oszillogramm wie in Abbildung 5. Aus diesem können Totzeit und die Erholungszeit grob abgelesen werden.

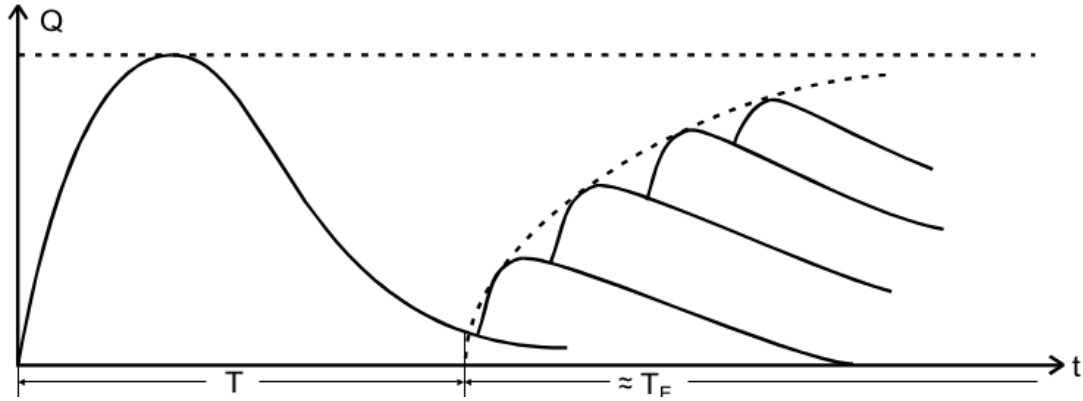


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Oszillogramms zur Bestimmung von Tot- und Erholungszeit. [1]

3.3 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Zur Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode wird zunächst die Zählrate mit einer Quelle N_1 bestimmt. Danach wird eine zweite Quelle in den Versuchsaufbau eingebracht und die Zählrate beider Quellen N_{1+2} ermittelt. Im Anschluss wird die erste Quelle entfernt und die Zählrate nur in Anwesenheit der zweiten Quelle N_2 gemessen. Die Totzeit T ist dann durch

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

gegeben.

4 Auswertung

Alle Fehler wurden mit python uncertainties errechnet.

4.1 Aufnahme der Charakteristik

Die gemessenen und errechneten Werte sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Gemessen wurde die Zählrate bei einer Spannung von 300 V bis 700 V.

U[V]	N	t[s]	$I \left[\frac{1}{s} \right]$	$\sigma_{I,rel}[\%]$
300.0	0.0	100.0	0	nan
320.0	13 617.0	250.0	54.5 ± 0.5	0.86
340.0	11 192.0	200.0	56.0 ± 0.5	0.95
360.0	11 231.0	200.0	56.2 ± 0.5	0.94
380.0	11 601.0	200.0	58.0 ± 0.5	0.93
400.0	11 410.0	200.0	57.0 ± 0.5	0.94
420.0	11 459.0	200.0	57.3 ± 0.5	0.93
440.0	11 496.0	200.0	57.5 ± 0.5	0.93
460.0	11 433.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.94
480.0	11 379.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94
500.0	11 457.0	200.0	57.3 ± 0.5	0.93
520.0	11 437.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.94
540.0	11 376.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94
560.0	11 564.0	200.0	57.8 ± 0.5	0.93
580.0	11 620.0	200.0	58.1 ± 0.5	0.93
600.0	11 333.0	200.0	56.7 ± 0.5	0.94
620.0	11 382.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94
640.0	11 449.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.93
660.0	11 414.0	200.0	57.1 ± 0.5	0.94
680.0	11 507.0	200.0	57.5 ± 0.5	0.93
700.0	11 642.0	200.0	58.2 ± 0.5	0.93

Tabelle 1: Messdaten und Fehlerangabe

Die gemessene Charakteristik ist in Abbildung 6 zu sehen.

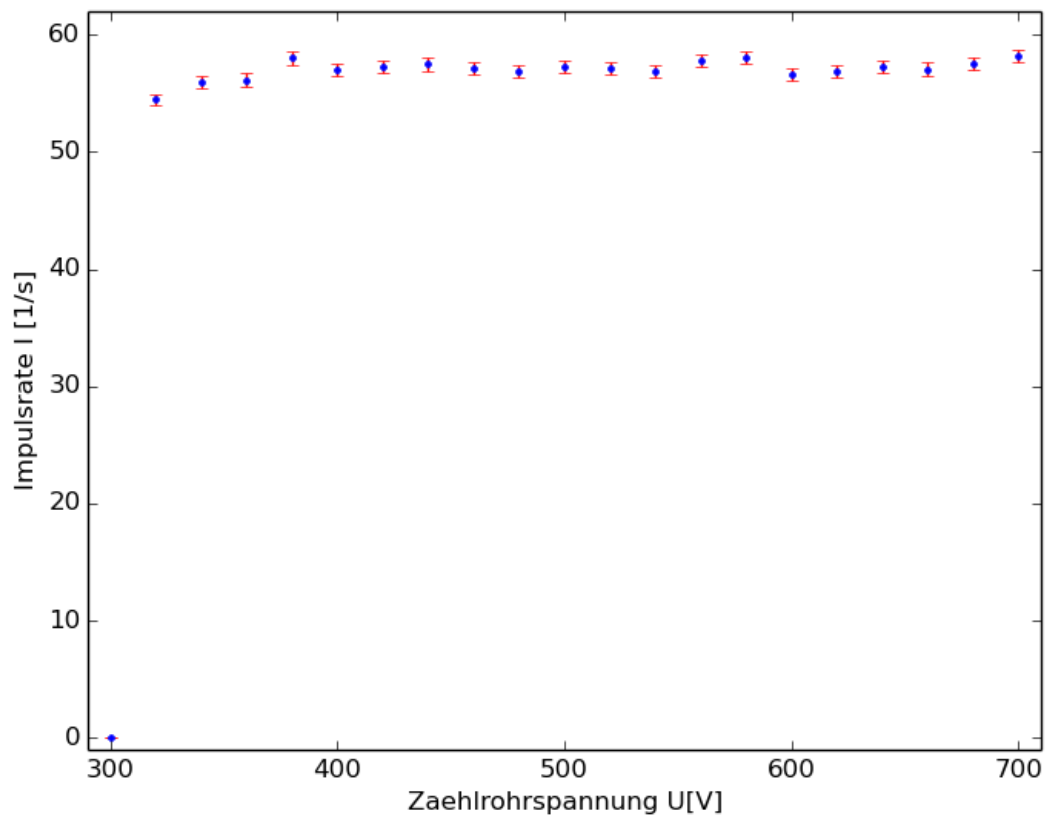


Abbildung 6: Messwerte

An diesem Plot lässt sich ablesen, dass sich das Plateaus zwischen 340 V und 700 V befindet. Im Bereich des Plateaus wird nun eine lineare Regression durchgeführt. Diese ist in Abbildung 7 gezeigt.

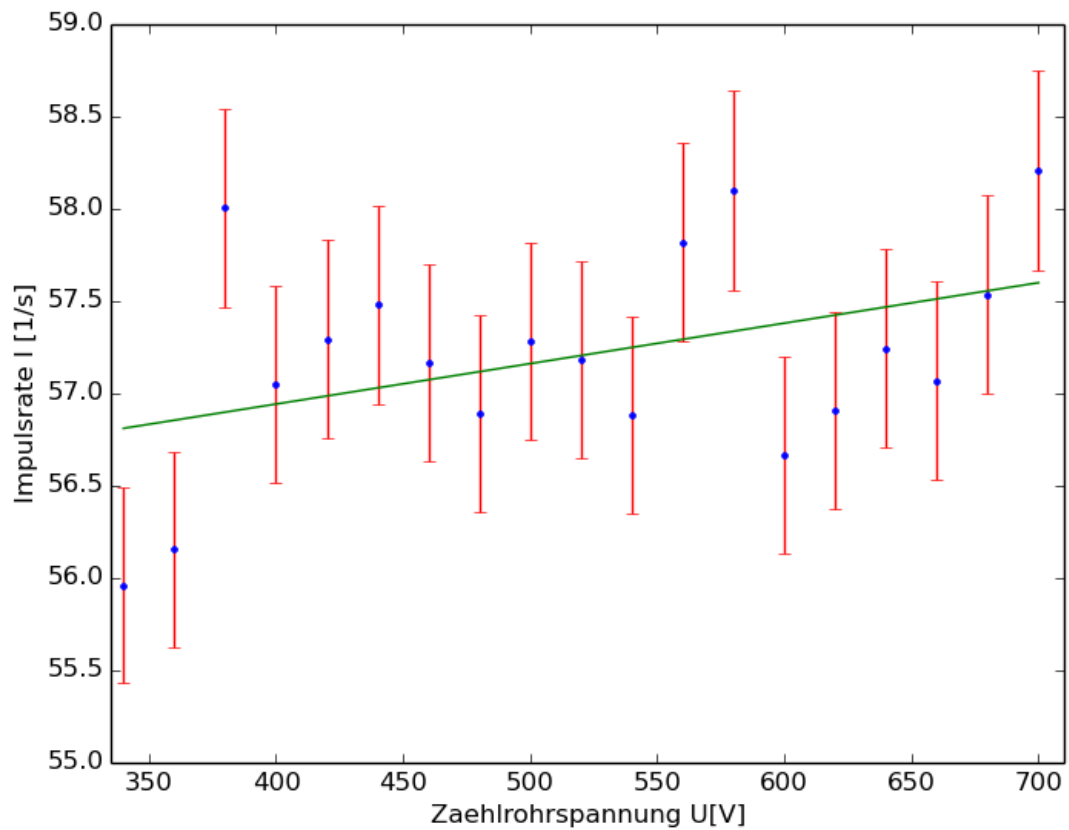


Abbildung 7: Lineare Regression

Als Regressionsgerade ergibt sich

$$I(U) = (0.0022 \pm 0.0011) \cdot U + (56.1 \pm 0.6).$$

Um die Steigung des Plateaus in % pro 100 V zu berechnen, sind folgende ermittelte Werte benötigt:

- $\Delta U = 360 \text{ V}$
- $I(340) = (56.8 \pm 0.7) \frac{1}{s}$
- $I(700) = (57.6 \pm 1.0) \frac{1}{s}$

Damit ergibt sich die Steigung zu

$$m_I = (0.46 \pm 0.23) \frac{\%}{100 \text{ V}}.$$

4.2 Zeitlicher Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpuls

Es werden am Oszilloskop die Werte

- $(195 \pm 1) \mu\text{s}$
- $(163 \pm 1) \mu\text{s}$

abgelesen.

4.3 Oszillographische Messung der Totzeit

Die Totzeit wurde am Oszillographen abgelesen:

$$T_t = (124 \pm 30) \mu\text{s}.$$

Die Erholungszeit konnte nur grob abgeschätzt werden. Es ergab sich

$$T_E \approx (467 \pm 30) \mu\text{s}.$$

4.4 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Die gemessenen Werte der Zwei-Quellen-Methode sind in Tabelle 2 eingetragen.

Quelle	N	t[s]	$I \left[\frac{1}{s} \right]$	$\sigma_{I,rel} [\%]$
N_1	17 483.0	200.0	87.4 ± 0.7	0.76
N_{1+2}	20 229.0	200.0	101.1 ± 0.7	0.70
N_2	13 280.0	1000.0	13.28 ± 0.12	0.87

Tabelle 2: Zweiquellenmethode

Als Wert für die Totzeit ergibt sich

$$T_t = (-0.0002 \pm 0.0004) \text{ s}.$$

Dieser Wert ist negativ, weil die gemeinsame Messung der Quellen eine höhere Intensität ergab als beide Einzelmessungen addiert. Im Rahmen der Unsicherheiten ist ein positiver Wert jedoch generell möglich. Der hier gemessene Wert hat jedoch keine Aussagekraft.

4.5 Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge

Die Messwerte, die zur Bestimmung der Ladung nötig sind, sowie die Ergebnisse sind in Tabelle 3 abgebildet.

U[V]	$I[\mu A]$	N	t[s]	$I \left[\frac{1}{s} \right]$	$\sigma_{I,rel}[\%]$	$Q[10^{-7}C]$
320.0	0.05 ± 0.05	13617.0	250.0	54.5 ± 0.5	0.86	2.3 ± 2.3
340.0	0.05 ± 0.05	11192.0	200.0	56.0 ± 0.5	0.95	1.8 ± 1.8
360.0	0.10 ± 0.05	11231.0	200.0	56.2 ± 0.5	0.94	3.6 ± 1.8
380.0	0.15 ± 0.05	11601.0	200.0	58.0 ± 0.5	0.93	5.2 ± 1.7
400.0	0.17 ± 0.05	11410.0	200.0	57.0 ± 0.5	0.94	6.0 ± 1.8
420.0	0.19 ± 0.05	11459.0	200.0	57.3 ± 0.5	0.93	6.6 ± 1.7
440.0	0.20 ± 0.05	11496.0	200.0	57.5 ± 0.5	0.93	7.0 ± 1.7
460.0	0.20 ± 0.05	11433.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.94	7.0 ± 1.8
480.0	0.20 ± 0.05	11379.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94	7.0 ± 1.8
500.0	0.22 ± 0.05	11457.0	200.0	57.3 ± 0.5	0.93	7.7 ± 1.7
520.0	0.23 ± 0.05	11437.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.94	8.0 ± 1.8
540.0	0.24 ± 0.05	11376.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94	8.4 ± 1.8
560.0	0.25 ± 0.05	11564.0	200.0	57.8 ± 0.5	0.93	8.6 ± 1.7
580.0	0.30 ± 0.05	11620.0	200.0	58.1 ± 0.5	0.93	1.03 ± 0.17
600.0	0.35 ± 0.05	11333.0	200.0	56.7 ± 0.5	0.94	1.24 ± 0.18
620.0	0.40 ± 0.05	11382.0	200.0	56.9 ± 0.5	0.94	1.41 ± 0.18
640.0	0.40 ± 0.05	11449.0	200.0	57.2 ± 0.5	0.93	1.40 ± 0.18
660.0	0.40 ± 0.05	11414.0	200.0	57.1 ± 0.5	0.94	1.40 ± 0.18
680.0	0.45 ± 0.05	11507.0	200.0	57.5 ± 0.5	0.93	1.56 ± 0.17
700.0	0.50 ± 0.05	11642.0	200.0	58.2 ± 0.5	0.93	1.72 ± 0.17

Tabelle 3: Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge

Der gemessene Strom in Abhängigkeit von der Betriebsspannung ist in Abbildung 8 zu sehen.

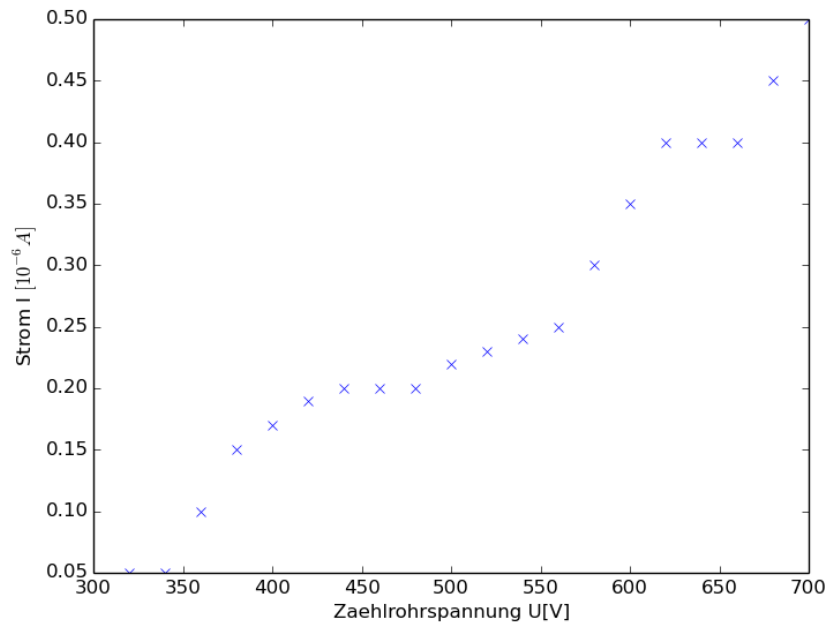


Abbildung 8: Messwerte

Diese Messwerte sind so fehlerbehaftet, dass eine weitere Auswertung zwecklos ist. Es ergäbe sich ein linearer Zusammenhang.

5 Diskussion

Auffällig ist die hohe statistische Abweichung der Messwerte. Die für die lineare Regression verwendeten Werte weisen hohe Schwankungen auf. Alle vom Oszilloskop abgelesenen Werte sind sehr ungenau. Sie konnten nur geschätzt werden. Die Messung mit der Zwei-Quellen-Methode hat nicht funktioniert. Einen Grund hierfür könnte die geringe Aktivität der radioaktiven Proben sein, da so kaum Energie-Emissionen während der Totzeiten auftreten. Die letzte Messung war leider mit einem sehr großen Fehler behaftet, da die Empfindlichkeit des Amperemeters kaum geeignet war.

6 Quellen

- [1] Entnommen der Praktikumsanleitung der TU Dortmund.
 Download am 01.06.14 unter:
<http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V703.pdf>

7 Anhang

- Auszug aus dem Messheft