

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 ??). Zwischen diesen Elementen wird eine elektrische Spannung von 300 V bis 2000 V angelegt. Auf diese Weise entsteht zwischen Anodendraht und Kathodenzylinder ein radialsymmetrisches Feld. Der Innenraum ist mit einem Edgasgemisch gefüllt. Da im Innenraum ein Unterdruck herrschen soll, ist das Zählrohr an den Enden verschlossen. An einer Seite befindet sich aber eine dünnere 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 ?? 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 sie 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 aufgrund 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 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 aufgrund des starken elektrischen Feldes UV-Quanten. Da diese ungeladen sind, verursachen sie auf ganzer Länge des Zählrohrs weitere Ionisationslawinen auszulösen. 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 bezeichnet. Diese ist beispielhaft in Abbildung ?? dargestellt. Das in dieser Abbildung dargestellte Plateau ist der eigentliche Messbereich 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 ?? gezeigt aufgebaut.

3.1 Aufnahme der Charakteristik

3.2 Oszillographische Messung der Totzeit

3.3 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

3.4 Messung der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge

4 Auswertung

Alle Fehler wurden mit python uncertainties errechnet.

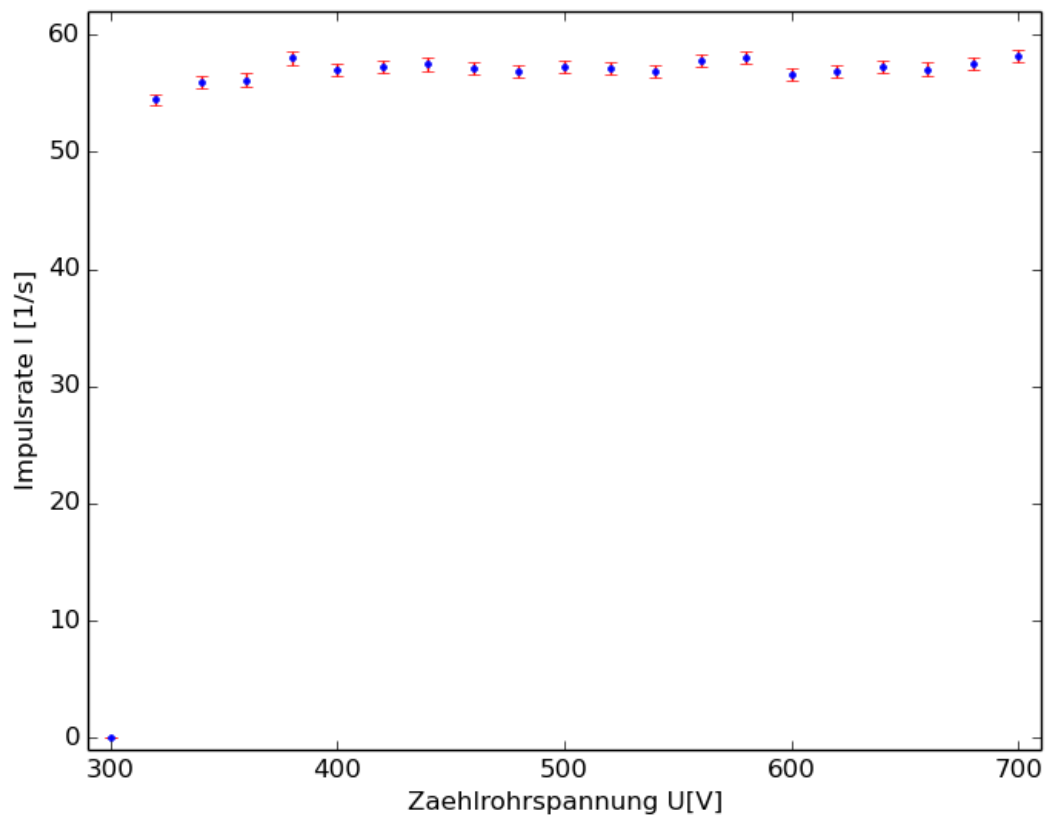
4.1 Aufnahme der Charakteristik

Die gemessenen und errechneten Werte sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Gemessen wurde die Zählrate bei einer Spannung von 300 V bis 700 V.

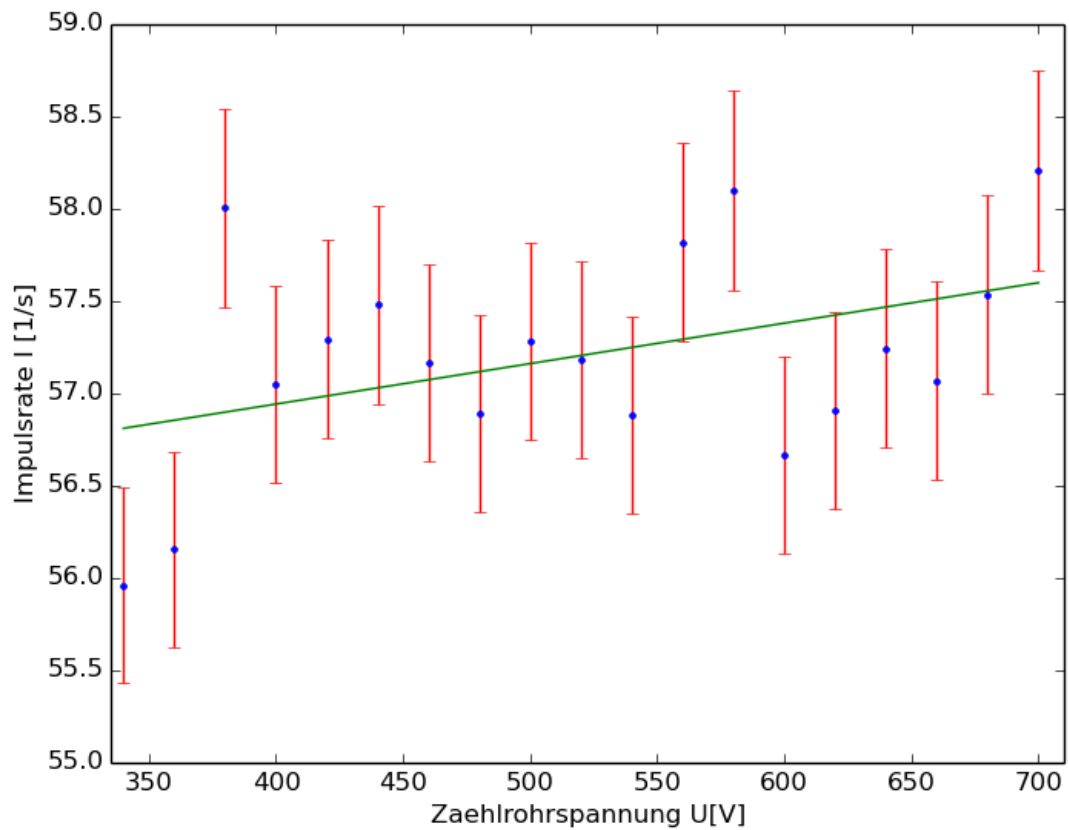
U[V]	N	t[s]	$I \left[\frac{1}{s} \right]$	$\sigma_{I,rel}[\%]$
300.0	0.0	100.0	0	nan
320.0	13 617.0	250.0	54.5 ± 0.5	0.86
340.0	11 192.0	200.0	56.0 ± 0.5	0.95
360.0	11 231.0	200.0	56.2 ± 0.5	0.94
380.0	11 601.0	200.0	58.0 ± 0.5	0.93
400.0	11 410.0	200.0	57.0 ± 0.5	0.94
420.0	11 459.0	200.0	57.3 ± 0.5	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 4.1 zu sehen.



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 4.1 gezeigt.



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

- $(195 \pm 1) \mu s$

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

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 4.4 eingetragen.

Quelle	N	t[s]	$I \left[\frac{1}{s} \right]$	$\sigma_{I,rel}[\%]$
1	17 483.0	200.0	87.4 ± 0.7	0.76
1 / 2	20 229.0	200.0	101.1 ± 0.7	0.70
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.

5 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>

6 Anhang

- Tabellen
- Auszug aus dem Messheft