Praktikumsprotokoll

Versuch Nr. 703
Das Geiger-Müller-Zählrohr

Frank Hommes
und
Kilian Klug

Durchgeführt am:
20 April 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **3**

2 Theoretische Hintergründe **3**
2.1 Spannungsabhängigkeit 3
2.2 Einfluss der positiven Ionenrümpfe 6
2.3 Weitere Kenndaten 7
2.3.1 Charakteristik 7
2.3.2 Ansprechvermögen 7

3 Durchführung und Auswertung **8**
3.1 Zählrohr-Charakteristik 8
3.2 Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpulsen 8
3.3 Oszillographische Messung der Totzeit 9
3.4 Bestimmung der Totzeit mit der 2-Quellen Methode 9
3.5 Messung der freigesetzten Ladungsmenge 10

1 Einleitung

Das 1929 entwickelte Geiger-Müller-Zählrohr dient zur Messung der Intensität ionisierender Strahlung. Es weist zwar eine Reihe von Nachteilen auf, die jedoch durch seine einfache Konstruktion und die geringen Anforderungen an die elektronischen Zusatzgeräte ausgeglichen werden.

Ziel dieses Versuches ist es, einige Kenndaten des verwendeten Gerätes, wie Charakteristik und Totzeit, zu untersuchen.

2 Theoretische Hintergründe

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem metallischen Zylinder mit einem mittig darin verlaufenden Draht. Der äußere Zylinder dient als Kathode, der innere Draht als Anode, so dass im Inneren des Zählrohrs ein elektrisches Feld entsteht, wenn eine Spannung angelegt wird. Abb. 1 zeigt den Aufbau. Hier nicht zu

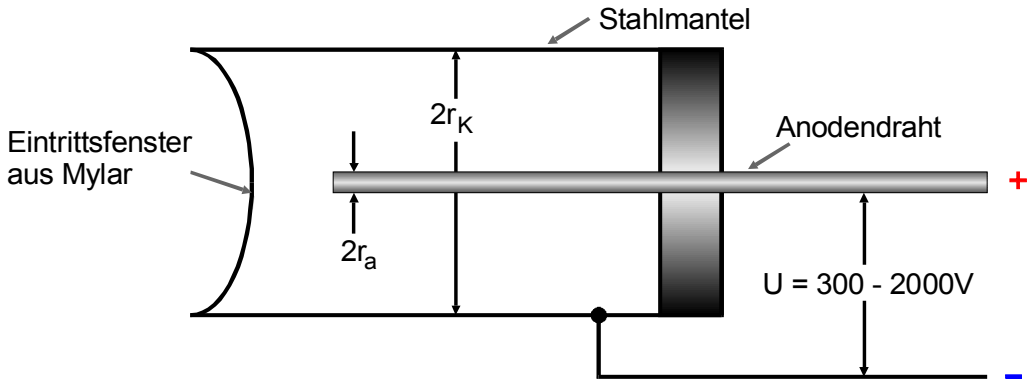


Abbildung 1: Querschnitt durch ein Endfenster-Zählrohr

erkennen ist, dass das Zählrohr mit einem Gasgemisch gefüllt ist (z.B. Argon und Ethylalkohol).

2.1 Spannungsabhängigkeit

Die Vorgänge, die sich abspielen, wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohr gelangt, sind abhängig von der angelegten Spannung, wie Abb. 2 verdeutlicht. Hier unterscheidet man verschiedene Bereiche:

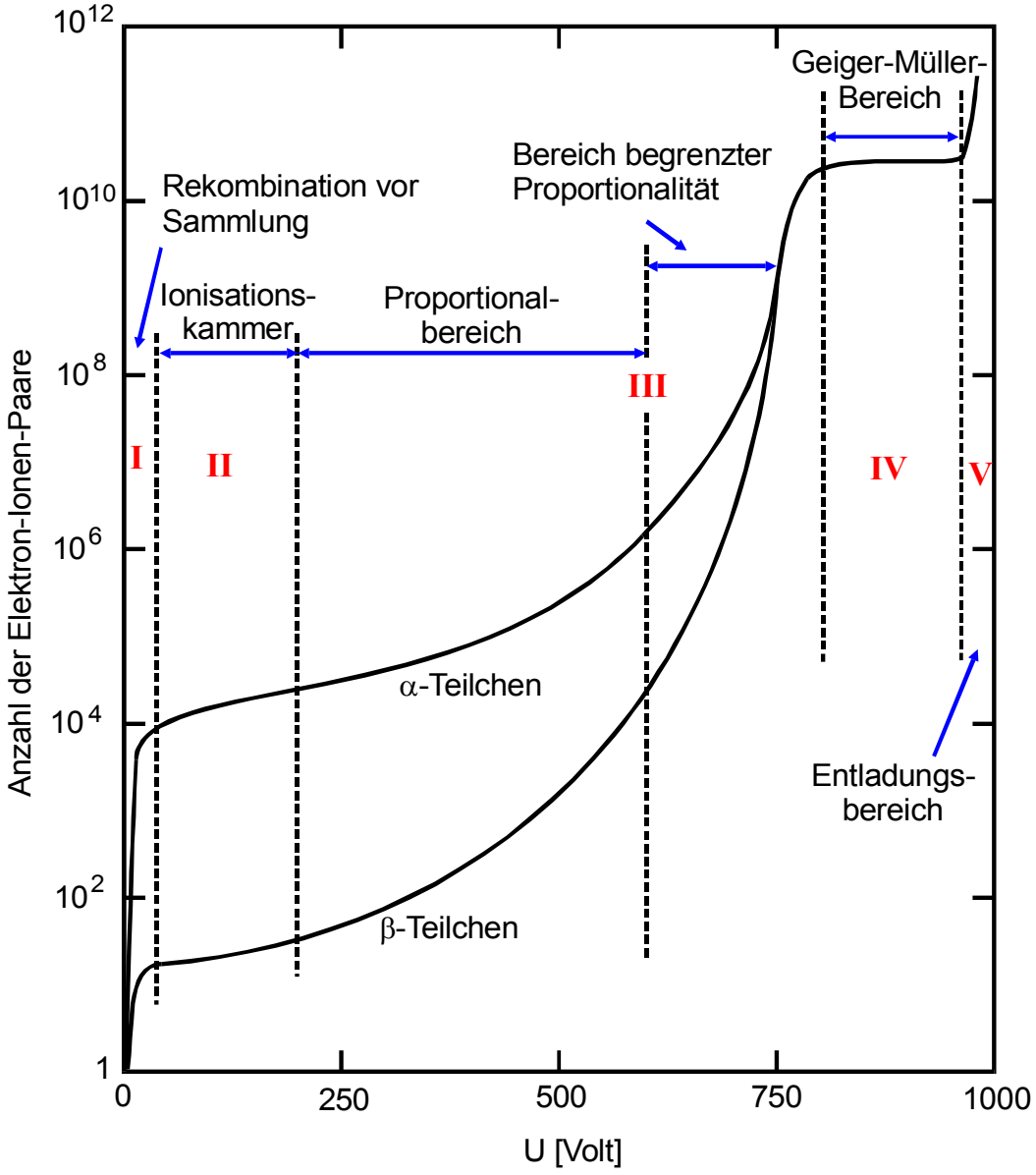


Abbildung 2: Spannungsabhängigkeit

1. Rekombination
   Jedes einfallende geladene Teilchen wird etliche Elektronen-Ionen-Paare erzeugen, da seine Energie ($\approx$ 100 KeV) wesentlich höher ist als die für einen Ionisierungsvorgang benötigte (26 eV). Zudem vergrößert die Ladung der einfallenden Teilchen ihren Wirkungsquerschnitt (z.B. gegenüber ungeladenen γ-Quanten) und damit auch die Wahrscheinlichkeit das es zu einer Wechselwirkung kommt. Die Anzahl der entstehenden Elektronen und Ionen ist somit proportional zur Teilchenenergie.

   Ist die angelegte Spannung jedoch zu gering, wird man keinen Ladungsimpuls messen können, da die meisten Elektronen rekombinieren, bevor sie den Anodendraht erreichen.

2. Ionisierungskammer
   Die Rekombinationswahrscheinlichkeit nimmt schon bei etwas höheren Spannungen schnell ab, sodass der durch die ionisierende Strahlung hervorgerufene Strom proportional zur Energie und zur Intensität ist.

   Man spricht bei Geräten, die in diesem Bereich sehr niedriger Spannung arbeiten, von Ionisationskammern. Ein Vorteil ist hier, dass es praktisch keine Totzeit gibt, jedoch sind die auftetenden Ströme sehr gering, weshalb Messungen sehr aufwändig sind.

3. Proportionalbereich
   Bei Spannungen ab einigen hundert Volt nehmen die durch Ioniesierung freigesetzten Elektronen auf ihrem Weg zur Anode genügend Energie auf um weitere Ionisierungen zu bewirken (”Stoßionisation”). Setzt sich dieser Vorgang über mehrere Stufen hinweg fort, wird ein großer Ladungsimpuls Q erzeugt und man spricht von einer sogenannten Townsend-Lawine. Q ist auch hier proportional zur Primärteilchenenergie, da die Townsend-Lawine lokal beschränkt ist.Neben der Strahlintensität können auch Energiemessungen durchgeführt werdenio.

4. Geiger-Müller-Bereich
   Wie in Abb.řefspannung im Bereich IV am Zusammenlaufen der Linien des α- und β-Teilchens zu sehen ist, wird ab einer gewissen Spannung der Ladungsimpuls Q unabhängig von der Primärionisation (und damit von der Energie der detektierten Strahlung). Vielmehr ist nun das Volumen des Zählrohr relevant, da Ionisationsvorgänge im gesamten Volumen auftreten. Dies wird durch UV-Photonen bewirkt, welche bei großen Spannungen in hoher Zahl entstehen. Diese breiten sich aufgrund ihrer Ladungsneutralität unabhängig vom elektrischen Feld - also auch senkrecht dazu - aus und lösen ihrerseits weitere Elektronenlawinen aus.

Dieser Bereich - auch Auslösebereich genannt - ist das Anwendungsgebiet des auch im Experiment verwendeten Geiger-Müller-Zählrohres.

5. Entladungsbereich
   Wird eine zu große Spannung angelegt, so verursacht bereits ein einzelnes ionisierendes Teilchen eine Dauerentladung im Gas. Die dabei auftretenden, hohen Stromdichten zerstören das Zählrohr. Dieser Bereich beginnt bei dem verwendeten Gerät oberhalb von etwa 710 V.

2.2 Einfluss der positiven Ionenrümpfe

Neben den zuvor hauptsächlich berücksichtigten Elektronen ist natürlich auch das Verhalten der positiven Ionenrümpfe von Interesse.

Diese sind bedeutend schwerer und verbleiben deshalb wesentlich länger im Zählrohr als die Elektronen. Sie bilden also für die Dauer ihres Aufenthaltes im Gasraum eine positive Raumladung, deren Feld das bestehende elektrische Feld abschwächt (bzw. den Anodendraht abschirmt). Das resultierende, verminderte Feld ist nicht mehr stark genug, um während dieser Zeit durch weitere Ionisierungen entstehende Elektronen derart zu beschleunigen, dass es zu Stoßionisationen kommen kann. In dieser Zeit eintreffende ionisierende Strahlung kann also nicht in der oben beschriebenen Weise eine Townsendlawine auslösen und wird deshalb nicht registriert.

Die Zeit bis die positive Ladungswolke zum Zylindermantel abgewandert ist bezeichnet man als Totzeit T.

Da das Abwandern jedoch eine gewisse Zeit dauert nimmt währenddessen die Feldstärke kontinuierlich zu, bis sie wieder ihren ursprünglichen Wert erreicht hat, siehe Abb. 3 Mit der Zunahme der Feldstärke gewinnen auch die registrierten

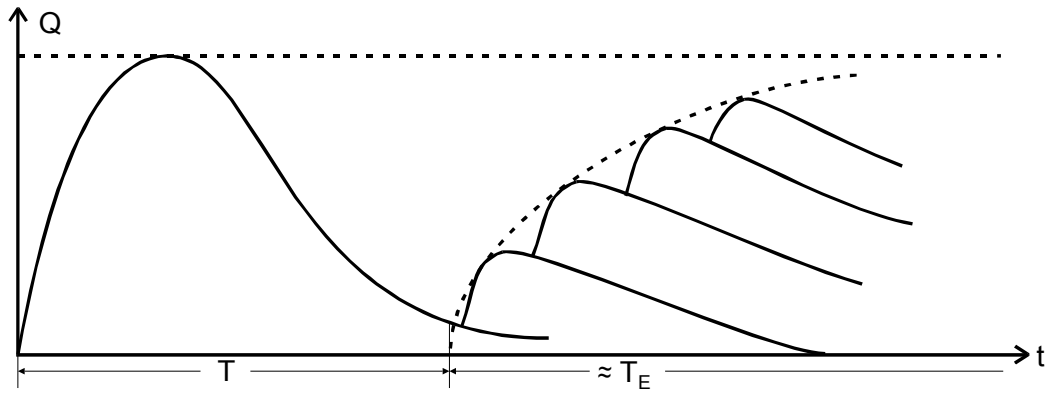


Abbildung 3: Tot- und Erholungszeit

Ladungsimpulse an Stärke. Die Dauer, bis sie wieder ihre ursprüngliche Höhe erreicht haben nennt man Erholungszeit T_E.

Ein weiterer Effekt der Ionenrümpfe sind die Nachentladungen. Dazu kann es kommen, wenn bei der Neutralisation der Ionen in der Zylinderwand erneut Elektronen freigesetzt werden. Diese durchlaufen in der Zeit T_L die gesamte Strecke bis zum Anodendraht. Da T_L größer ist als die Totzeit T, können sie dabei einen erneuten Impuls erzeugen, der auch vom Zählrohr registriert wird. Durch ein einzelnes ionisierendes Teilchen können also mehrere zeitlich versetzte Ladungsimpulse ausgelöst werden, was die Messung verfälscht.

Um dies möglichst zu verhindern werden dem Edelgas z.B. Alkoholdämpfe beigefügt. Diese Molekühle werden beim Zusammenstoß mit den Edelgasatomen ionisiert, da ihre Ionisierungsenergie geringer ist. Bei der Neutralisation der Alkoholmoleküle werden jedoch keine weiteren Elektronen ausgelöst, da die Energie statt dessen zur Anregung von Schwingungen verbraucht wird.

Auf diese Weise lassen sich die meisten Nachentladungen verhindern.

2.3 Weitere Kenndaten

Zwei weitere Eigenschaften eines Zählrohrs sind die sogenannte Charakteristik sowie das Ansprechvermögen.

2.3.1 Charakteristik

Unter der Charakteristik eines Zählrohres versteht man die Kurve, die man erhält, wenn die registrierte Teilchenzahl N gegen die Spannung U aufgetragen wird. Sie hat etwa die in Abb. 4 dargestellte Gestalt. Von besonderem Interesse ist hier die Steigung des mittigen Plateaus. Idealerweise sollte diese null und das Plateau möglichst lang sein.

2.3.2 Ansprechvermögen

Das Ansprechvermögen bezeichnet die Wahrscheinlichkeit mit der ein einfallendes Teilchen registriert wird. Es werden zwar fast sämtliche einfallende α- und β-Teilchen registriert, jedoch ist die Wechselwirkung von Röntgen- und γ-Quanten wesentlich geringer. Hier sollte das Geiger-Müller-Zählrohr nur bei hohen Intensitäten eingesetzt werden. Ein etwas besseres Ergebniss lässt sich durch den Einsatz von schwereren Füllgasen wie etwa Xenon erzielen.

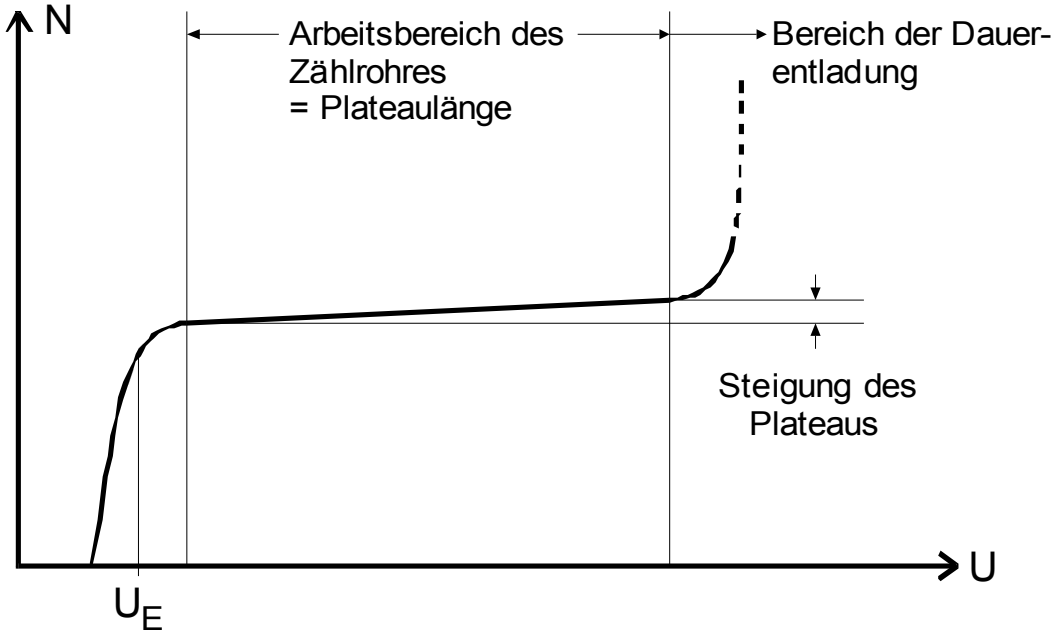


Abbildung 4: Charakteristik eines Zählrohrs

3 Durchführung und Auswertung

3.1 Zählrohr-Charakteristik

Zuerst nehmen wir die Charakteristik, des uns vorliegenden Halogenzählrohrs auf. Dazu stellen wir eine schwache β-Quelle vor das Fenster des Zählrohrs und variieren die Spannung. Bei einer Anfangsspannung von 315 V erhalten wir erste Messdaten. Wir variieren anfangs in kleineren Schritten und ab 375 V in 25 V Schritten. Bei 700 V hören wir auf, um das Zählrohr nicht zu beschädigen.

Als Plateau haben wir den Bereich von 375 V bis 625 V erkannt. Die Plateau-Steigerung ergibt sich zu 0,2 % pro 100 V. Der statistische Fehler liegt unterhalb des Auflösungsvermögen.

3.2 Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpulsen

Um den Abstand zwischen Primär- und Nachentladungsimpulsen zu messen, stellt man das Oszilloskop so ein, dass während eines Laufs des Kathodenstrahls von links nach rechts bei einer niedrigen Spannung von ca. 350 V kein weiterer Impuls zu sehen ist.

Nach Erhöhung der Spannung auf 700 V konnten wir deutliche Nachentladungen sehen, welche in Hinsicht auf den Abstand zur Primärentladung statistisch hinter ihr verteilt waren. Ein genaues Ablesen war hier nicht gut möglich; die erste Nachentladung lag im Bereich von 90 bis 120 μs.

3.3 Oszillographische Messung der Totzeit

Nun wird die schwache β-Quelle durch eine starke ersetzt. An dem enstehenden Schirmbild gemäß Abb. 3 kann nun bei bekannter Ablenkgeschwindigkeit (hier 50 μs/cm) die Totzeit abgelesen werden. Wir ermitteln einen Wert von ca. 70 bis 110μs. Die Erholungszeit konnten wir nur grob mit 200 bis 300 μs abschätzen.

3.4 Bestimmung der Totzeit mit der 2-Quellen Methode

Nun soll die Totzeit erneut bestimmt werden, jedoch mit einer anderen Methode - der sogenannten 2-Quellen-Methode. Bei dieser Methode wird ausgenutzt, dass aufgrund der Totzeit die registrierte Impulszahl N_r kleiner ist als die wahre Anzahl N_w der in das Zählrohr gelangten ionisierenden Teilchen. Es gilt dabei

$$N_w = \frac{Impulsrate}{Messzeit} = \frac{N_r t}{(1-TN_r)t} = \frac{N_r}{1-TN_r}$$

Weiterhin unterscheidet man verschiedene (gemessene) Zählraten:
$N_1 \hat{=}$ Zählrate mit Quelle 1
$N_{1+2} \hat{=}$ Zählrate mit Quelle 1 und Quelle 2 gleichzeitig
$N_2 \hat{=}$ Zählrate mit Quelle 2
Mit $T^2 N_i^2 \ll$ (i=1,2,1+2) findet man für die Totzeit T näherungsweise

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

Der Fehler von T errechnet sich nach Gauß folgendermaßen:

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \left(\frac{2N_1N_2) - 2N_2 \cdot (N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}\right)^2 \cdot \sigma(N_1)^2 + \\
&+ \left(\frac{2N_1N_2 - 2N_1(N_1 + N_2 - N_{1+2})}{2N_1N_2}\right)^2 \cdot \sigma(N_2)^2 + \left(\frac{-1}{2N_1N_2}\right)^2 \cdot \sigma(N_{1+2})^2 \\
\sigma &= 2,04
\end{aligned}$$

Für die einzelnen Zählraten erhalten wir bei einer Messzeit von 100 Sekunden folgende Ergebnisse:

Damit beträgt der die Totzeit etwa 77 $(\pm 2)\mu$s. Dies liegt in der gleichen Größenordnung wie der zuvor mit Hilfe des Oszilloskops bestimmte Wert.

Quelle(n)	Counts pro 100s	Counts pro 1s	Fehler
N_1	257941	2579,41	0,197 %
$N_1 + N_2$	346210	3462,10	0,170 %
N_2	146862	1468,62	0,261%

Tabelle 1: Messergebnisse nach der 2-Quellen-Methode

3.5 Messung der freigesetzten Ladungsmenge

Für den mittleren, bei hohen Zählraten auftretenden Zählstrom $\bar{I}$ gilt ($\tau \gg T$):

$$\bar{I} := \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{U(t)}{R} dt.$$

Daraus lässt sich bei bekannter Impulszahl pro Zeiteinheit die pro eindringendem Teilchen vom Zählrohr freigesetzte Ladungsmenge berechnen. Gemäß der Definition des Stromes als die pro Zeitintervall Δt transportierte Ladungsmenge ΔQ gilt, wenn Z Teilchen in der Zeit Δt registriert wurden

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

Es wurden folgende Messwerte aufgenommen:

U [V]	Counts pro 10s	Counts pro 1s	I [μA]	Q [10^9e]
320	28491	2849,1	0,7	1,53 ($\pm 0,04$)
330	30373	3037,3	1,1	2,26 ($\pm 0,05$)
340	30721	3072,1	1,6	3,25 ($\pm 0,06$)
350	31155	3115,5	2,1	4,21 ($\pm 0,07$)
375	31742	3174,2	3,2	6,29 ($\pm 0,09$)
400	31823	3182,3	4,4	8,63 ($\pm 0,10$)
425	31891	3189,1	5,8	11,35 ($\pm 0,12$)
450	31635	3163,5	7,0	13,81 ($\pm 0,13$)
475	31815	3181,5	8,3	16,28 ($\pm 0,14$)
500	32149	3214,9	9,4	18,25 ($\pm 0,15$)

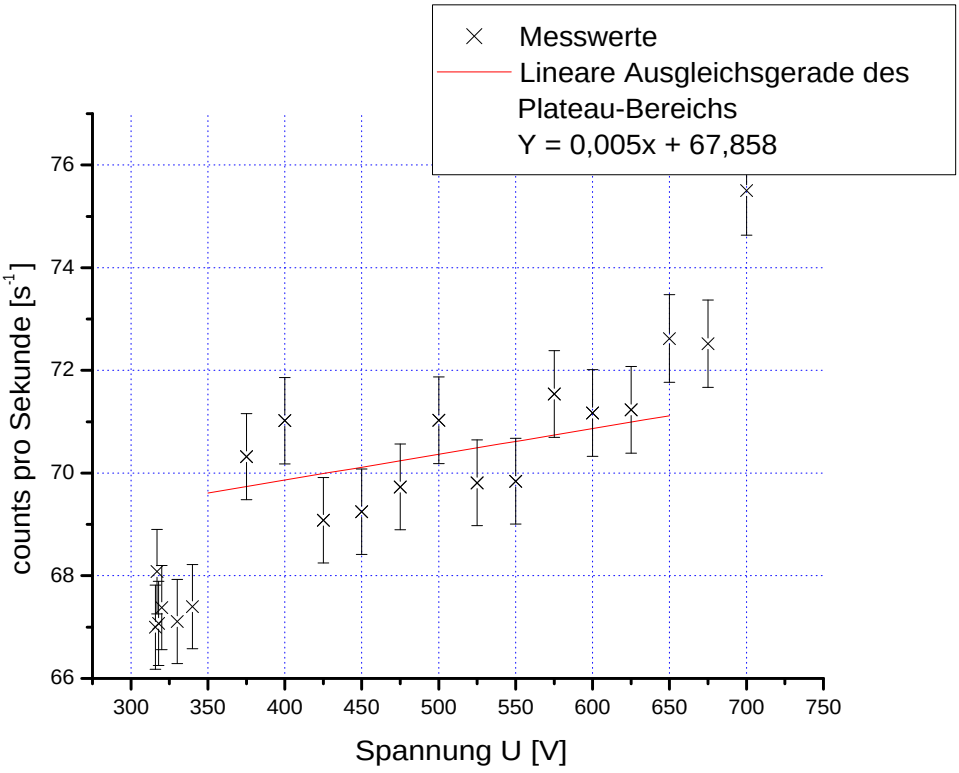


Abbildung 5: Charakteristik eines Zählrohrs als Funktion der angelegten Spannung

Spannung U [V]	Counts pro 100 Sekunden
315	554
316	6700
317	6808
318	6707
320	6738
330	6711
340	6740
375	7032
400	7102
425	6908
450	6925
475	6973
500	7103
525	6981
550	6984
575	7154
600	7117
625	7123
650	7262
675	7252
700	7550

Tabelle 2: Aufnahme der Charakteristik des Halogenzählrohrs