

V703 Das Geiger-Mueller-Zaehlrohr

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

18. Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Aufbau und prinzipielle Funktionsweise	3
2.2	Totzeit und Nachentladungen	5

1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird das Geiger-Mueller-Zaehlrrohr untersucht, welches ionisierende Strahlung detektieren und messen kann. Es ist in der Lage einen elektrischen Impuls auszugeben, sollte ein α - oder β -Teilchen im Inneren detektiert werden. Dieser Impuls kann dann von einem Impulszaehler gezaehlt werden und die pro Zeit- und Flaecheneinheit einfallenden Teilchen bzw. Quanten messen und dadurch die Intensitaet bestimmen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Aufbau und prinzipielle Funktionsweise

Der prinzipielle Aufbau des Zaehlrrohrs ist in 1 zu sehen.

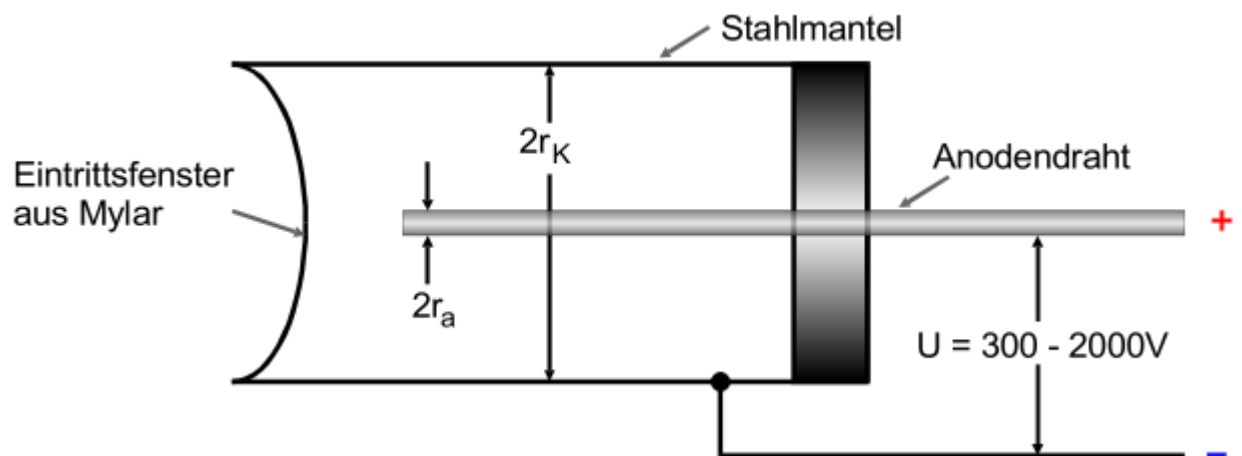


Abbildung 1: Aufbau eines Geiger-Mueller-Zaehlrrohrs mit Endfenster

Das Zaehlrrohr besteht aus einem Stahlzylinder mit dem Radius r_k , welcher die Kathode darstellt. In seinem Inneren befindet sich ein Draht, welcher die Anode (Radius r_a) darstellt. Der Zylinder ist versiegelt und mit einem Gasgemisch gefuellt. Durch das Anlegen einer ausseren Spannung U (ca. 300 bis 2000V) bildet sich ein elektrisches, radialsymmetrisches Feld aus. Die Feldstaerke betraegt im Abstand r von der Mittelachse $E(r) = \frac{U}{r \ln(\frac{r_k}{r_a})}$. Wenn ein geladenes Teilchen in das Zaehlrrohr eintritt, wird es in dem E-Feld beschleunigt. Diese Beschleunigung steigt bei Annaeherung an den Draht mit $\frac{1}{r}$ mit ($r_a < r < r_k$). Theoretisch kann diese als beliebig gross werden, wenn nur der Drahtradius r_a hinreichend klein gewaehlt wird.

Sollte nun ein geladenes Teilchen ins Zaehlrrohr gelangen, bewegt es sich so lange durch den Gasraum bis seine Energie durch Ionisation aufgebraucht ist. Da eine Ionenpaarbildung im Mittel nur etwa 26eV benoetigt, gegenueber einer Teilchenenergie von etwa 100keV, ist die Anzahl der positiven Ionen und Elektronen proportional zur Energie des ins Zaehlrrohr eingefallenen Teilchens. Die angelegte Spannung hat nun einen grossen Einfluss auf die

nach der Primaerionisation stattfindenden Prozesse. Eine Visualisierung findet sich in dem Diagramm in 2.

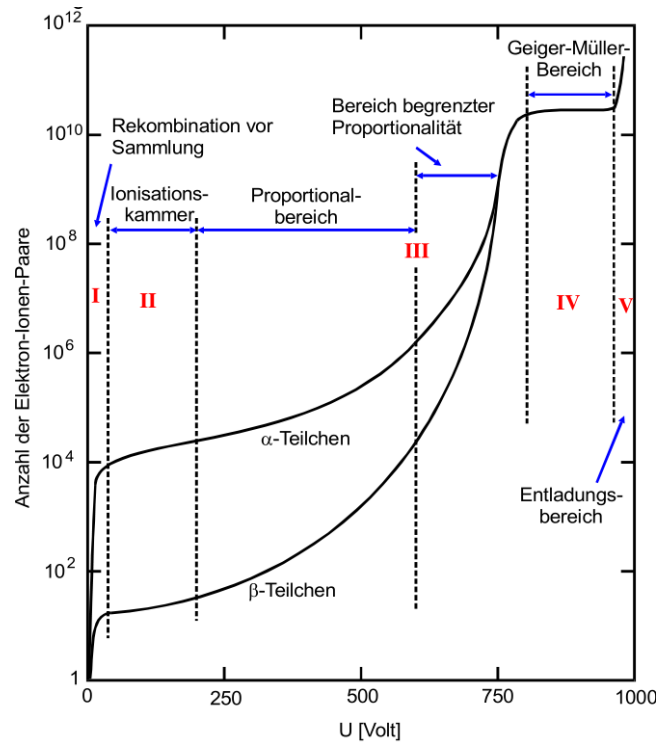


Abbildung 2: Anzahl der erzeugten Ionenpaare gegenueber der angelegten Spannung

Das Diagramm laesst sich dabei in verschiedene Bereiche einteilen. Zu Beobachten ist zum Beispiel der Bereich fuer sehr kleine Spannungen. Dabei werden die Ionen nicht stark genug beschleunigt, um den Draht zu erreichen. Viele rekombinieren sich vorher bereits (Bereich I). Je groesser die Spannung wird, desto groesser wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Ionen sich nicht vor Erreichen des Drahtes rekombinieren. Es erreichen somit quasi alle Elektronen den Draht. In diesem Bereich ist der Ionisationsstrom zwischen Kathodenzyylinder und Anodendraht proportional zur Energie und Intensitaet der einfallenden Teilchen. Dieser Zustand nennt sich Ionisationskammer und ist in Bereich II zu sehen. Zur tadellosen Funktion wird hierbei aber eine grosse Strahlungsintensitaet benoetigt. Bei noch hoerer Spannung wird die Feldstaerke in Drahtnaehe so gross, dass die entstehenden Elektronen zwischen zwei Zusammenstoessen genuegend Energie aufnehmen, um ihrerseits andere Gasteilchen ionisieren zu koennen. Dieser Vorgang nennt sich Stossionisation. Unter ausreichend grosser Spannung koennen die freigesetzten Elektronen selbst andere Teilchen ionisieren. Es bildet sich eine so genannte Townsend-Lawine. Hier ist nun auch die pro Teilchen einfallende Ladung gross genug, um sie als Ladungsimpuls zu messen. Durch die vorhandene Proportionalitaet zwischen der Ladung Q und der Teilchenenergie, laesst sich am Ladungsimpuls ein Mass fuer die Teilchenenergie festmachen. Eine Apparatur, die sich diese Proportionalitaet zu Nutze

macht, nennt sich Proportionalitätszählrohr (Bereich III). Bei wiederum höheren Spannungen U ist die Ladung nicht mehr proportional zur Primäerionisation. Dieser Bereich nennt sich Auslösebereich (Bereich IV). In diesem Bereich arbeitet ein Geiger-Mueller-Zählrohr unter normalen Bedingungen. Statt einer lokalen Elektronenlawine breitet sich die Lawine nicht nur in radialer Richtung, sondern auch entlang des Drahtes aus. Ausgelöst wird dieser Prozess durch die in der primären Lawine entstandenen UV-Photonen, welche durch die Anregung von Argon-Atomen im Füllgas freisetzen. Diese Photonen können sich auf Grund ihrer Ladungsneutralität auch senkrecht zum E-Feld bewegen. Ihre Energie, welche sie durch Zusammenstöße abgeben können, bildet den Grundstein für neue Elektronenlawinen im vollständigen Zählvolumen. Die am Draht gemessene Ladung hängt dann nicht mehr von der ersten Ionisation ab, sondern bloss vom Volumen des benutzten Zählrohrs und der angelegten Spannung. Bei dieser Spannung kann das Zählrohr nur noch als Intensitätsmessgerät benutzt werden. Eine Energiemessung ist nicht mehr möglich. Dafür kann die freigesetzte Ladung eines einfallenden Teilchens nun auf Grund ihrer nun relativ grossen Grösse mit geringem elektronischem Aufwand gut gemessen werden. Der so genannte Auslösebereich beginnt in 2 dort, wo α - und β -Kurve in einander übergehen. Dort ist der Ladungsimpuls abgekoppelt vom Ionisationsvermögen der einfallenden Strahlung.

2.2 Totzeit und Nachentladungen

Die entstehenden positiven Ionen haben eine bedeutend höhere Masse als die Elektronen, weshalb sie deutlich langsamer abwandern. Sie halten sich also länger im Raum zwischen Anode und Kathode. Aus diesem Grund bilden sie eine temporäre, radialsymmetrische, positive Raumladung aus. Diese wird auf Grund der zylindrischen Form des Rohrs auch Ionenschlauch genannt. Dadurch wird kurzzeitig für eine Zeit T die Feldstärke in Drahtnähe soweit herab, dass praktisch keine Stössionisation mehr möglich ist. In dieser Zeit ist das Zählrohr nicht in der Lage eintreffende Teilchen zu detektieren, weshalb man diese Zeit auch Totzeit T nennt. Der Zustand löst sich durch Wandern der positiven Ladung in Richtung des Mantels auf. Die normale Feldstärke stellt sich wieder her nachdem die Ionen vollständig neutralisiert wurden. Diese Zeit der Wiederherstellung des Normalzustandes nennt sich treffenderweise Erholungszeit T_E , welche sich an die Totzeit anschliesst, bis das Zählrohr wieder unter Normalbedingungen detektieren kann. Auf der Manteloberfläche können die auftreffenden Ionen, durch ihre Neutralisationsenergie, Elektronen freisetzen. Diese Sekundärelektronen werden zum Messdraht hin beschleunigt durch das E-Feld und sorgen auf diesem dann für ein erneutes Auslösen des Messgeräts. Dadurch kann durch ein einzelnes eintreffendes Teilchen mehrere Entladungen am Zählrohrdraht hervorgerufen werden. Diese zusätzlichen Entladungen nennen sich Nachentladungen. Der zeitliche Abstand der Nachentladungen entspricht der Laufzeit T_L der Elektronen von der Zylinderwand zum Draht. Diese Nachentladungen sind sehr unerwünscht, da sie das Vorhandensein von ionisierender Strahlung vortäuschen. Sie sollten also so weit wie möglich unterbunden werden, was durch eine kleine Beimengung von Alkoholdämpfen zum Füllgas gut gelingt.

2.3 Charakteristik des Zaehlröhrs