

Verwandte Begriffe

Geiger-Müller-Zählrohr, Löschgas, Charakteristik, ionisierende Strahlung.

Prinzip

Das Zählrohr nutzt die ionisierende Wirkung von hochenergetischer Strahlung aus, um die Intensität der Strahlung zu messen. Die Charakteristik eines Zählrohrs beschreibt seinen Arbeitsbereich, also den Spannungsbereich, in dem es zuverlässig die eingehenden Teilchen zählt.

Material

1 XR 4.0 expert unit, Röntgengerät 35 kV	09057-99
1 X-ray Einschub mit Wolfram-Röntgenröhre	09057-80
1 Zählrohr Typ B	09005-00
1 XR 4.0 X-ray Blendentubus d = 1 mm	09057-01
1 XR 4.0 X-ray Zählrohrhalter	09057-07
1 Reiter für optische Profilbank, h = 30 mm	08286-01
<i>optional</i>	
1 Software für Röntgengerät 35 kV	14414-61
1 Datenkabel USB Steckertyp A/B PC, Windows® XP oder höher	14608-00



Abb. 1: X-ray expert unit 09057-99

Aufgabe

Bestimmen Sie die Zählrohrcharakteristik des verwendeten Zählrohrs Typ B.

Aufbau und Durchführung

Positionieren Sie das Zählrohr entweder mit Hilfe des Zählrohrhalters oder des Goniometers direkt im Primärstrahl. Setzen Sie den Blendentubus mit 1-mm-Durchmesser zur Kollimierung des Röntgenstrahls in den Strahlausgang des Röhreneinschubs ein. So schirmen Sie einen Großteil der Strahlung ab. Alternativ kann auch das Zählrohr aus dem Primärstrahl gerückt werden.

Hinweis

Eine Bestrahlung des Geiger-Müller-Zählrohres durch den primären Röntgenstrahl sollte über einen längeren Zeitraum vermieden werden.

Der Versuch kann entweder nur mit dem Röntgengerät oder computerunterstützt durchgeführt werden.

Durchführung ohne Computer

- Stellen Sie unter „Menü“, „X-ray Parameters“ den Anodenspannung und Anodenstrom ein. Es sollte eine Spannung von 35 kV und eine Stromstärke von 0,02 mA gewählt werden. Dies ergibt eine Zählrate von etwa 1500 Impulsen pro Sekunde, was für die Messung ausreicht ohne das Zählrohr unnötig abzunutzen.
- Wählen Sie unter „Menü“ auf dem Display „Settings“
- Im nächsten Auswahlfenster wählen Sie „GM-Spannung“ und stellen mit Hilfe der Pfeiltasten den gewünschten Wert ein.
- Die Zeit, über die die Impulse/Sekunde gemittelt wird stellen Sie unter „Menü“, „Settings“ „Gate time“ ein. Es empfiehlt sich, eine Integrationszeit von etwa 10 Sekunden einzustellen, um statistische Abweichungen zu vermeiden.
- Notieren Sie nun bei Zählrohrspannungen zwischen 300 und 600 V die Zählrate in Schritten von 10 V. An den Wendepunkten sollte in kleineren Schritten (1 V) gemessen werden.

Durchführung computerunterstützt

- Der PC und das Röntgengerät werden mit Hilfe des Datenkabels über die USB Buchse verbunden (der entsprechende Anschluss am Röntgengerät ist in Abb. 2 gekennzeichnet).
- Starten Sie nun das „Measure“-Programm: das Röntgengerät erscheint auf dem Bildschirm.
- In dem Sie die verschiedenen Funktionen auf und unter dem abgebildeten Gerät anklicken, können



Abb. 2: Anschluss des Computers

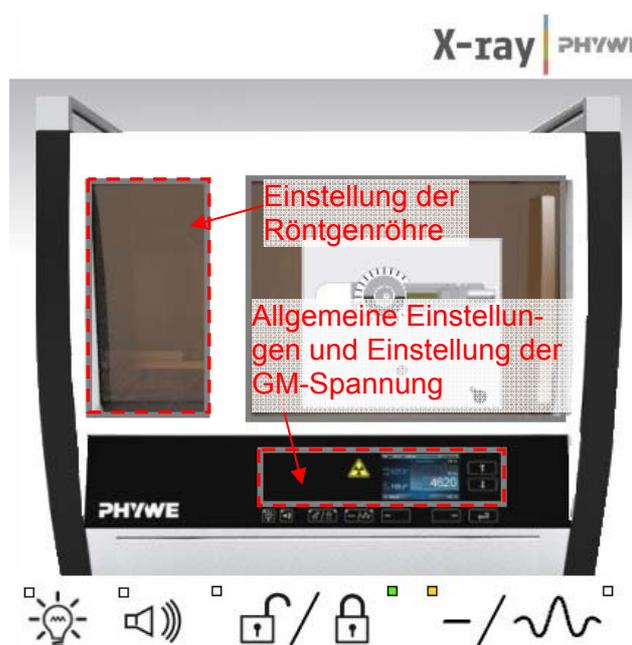


Abb. 3: Teil der Bedienoberfläche in der Software

Sie nun das Gerät vom Computer aus bedienen. Alternativ können die Parameter auch am Gerät geändert werden – das Programm übernimmt die entsprechenden Einstellungen automatisch.

- Wenn Sie auf das Display des virtuellen Geräts klicken (siehe rote Kennzeichnung in Abb. 3), können Sie die Parameter für das Experiment verändern (Abb. 4).
- Klicken Sie auf die Röntgenröhre klicken, um Spannung und Strom der Röntgenröhre ändern. Wählen Sie die Einstellungen wie in Abb. 5 angegeben.
- Notieren sie nun bei Zählrohrspannungen zwischen 300 und 600 V die Zählrate in Schritten von 10 V. An den Wendepunkten sollte in kleineren Schritten (1 V) gemessen werden.

Theorie und Auswertung

Aufbau des Zählrohrs

Ein Zählrohr besteht aus einem mit einem Gasgemisch unter vermindertem Druck gefüllten, dünnwandigen Metallrohr, in dessen Achse ein dünner Metalldraht isoliert eingesetzt ist. Das Metallrohr und der Draht bilden also einen Zylinderkondensator, der über einen Hochohmwiderstand R mit der Spannungsquelle verbunden ist. Abb. 6 zeigt eine Prinzipschaltung.

Das Gehäuse ist aus so dünnem Metall, dass es von Gamma-Strahlung durchdrungen werden kann. Damit auch alpha- und beta- Strahlung sowie Röntgenstrahlung detektiert werden kann, ist an einer Seite das Glimmerfenster angebracht – es ist sehr empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung und sollte möglichst mit der mitgelieferten Kappe geschützt werden. Der axiale Zählrohrdraht ist über einen $10\text{-M}\Omega$ -Widerstand mit dem zentralen Leiter und der Zählrohrmantel mit dem Außenleiter des BNC-Kabels verbunden. Zwischen dem Zählrohrdraht und dem Zählrohrmantel wird eine Spannung angelegt. Um Spitzenentladungen am Metalldraht zu vermeiden, ist er zu einer Kugel aufgeschmolzen.

Messprinzip

Das Zählrohr nutzt die ionisierende Wirkung von hochenergetischer Strahlung aus: Treten Röntgenstrahlen in das Zählrohr ein, ionisieren sie die Gasteilchen zu positiv geladenen Ionen und freien Elektronen, den Primärelektronen. Letztere werden zum positiv geladenen Zählrohrdraht beschleunigt und gewinnen dabei genug Energie um weiter Gasteilchen zu ionisieren. Diese sogenannte Gasverstärkung bewirkt, dass eine Lawine von Elektronen die Anode erreicht. Auf diese Weise kommt es zu einem Stromfluss zwischen Zählrohrwand und Zählrohrdraht und somit zu einem Spannungsabfall, der detektiert wird. Der so entstandene Stromfluss kann über einen Widerstand in ein Spannungssignal umgewandelt werden. Bei



Abb. 4: Einstellung der GM-Spannung

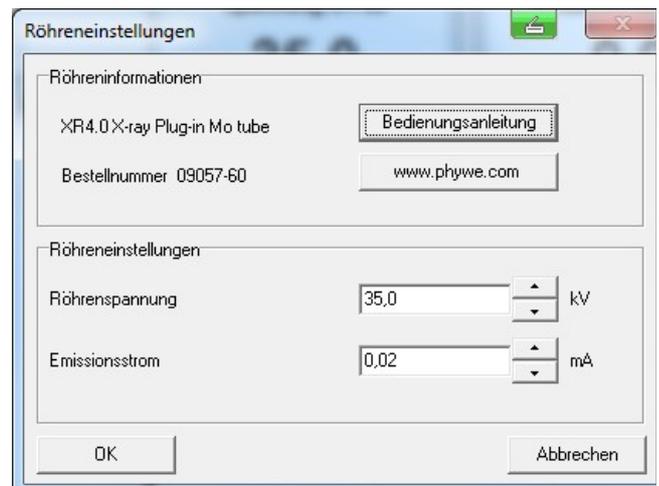


Abb. 5: Einstellung der Spannung der Stromstärke

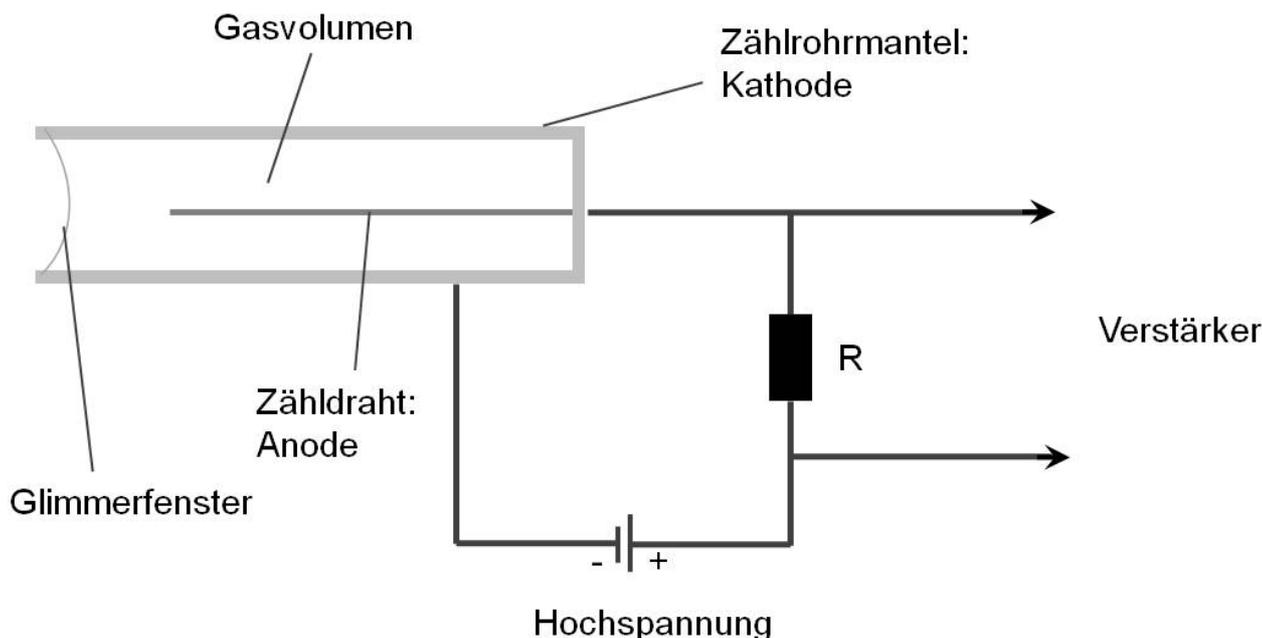


Abb. 6: Prinzipschaltung eines GM-Zählrohrs

tragbaren Geiger-Müller-Zählrohren wird dieses Signal dann elektronisch verstärkt und optisch oder akustisch wiedergegeben.

Der Innenraum des Zählrohrs ist mit einem Gasgemisch gefüllt, das größtenteils aus einem Edelgas besteht. Da allerdings die ionisierten Gasteilchen aus der Zählrohrwand Sekundärelektronen freisetzen können, die zu einer Verfälschung des Messergebnisses führen würden, müssen sie durch ein Löschgas abgefangen werden, das in diesem Fall ein Halogen ist. Es wird durch die Reaktion mit den ionisierten Gasteilchen verbraucht. Deshalb ist die Lebensdauer des Zählrohrs begrenzt.

Die Charakteristik eines Zählrohrs beschreibt seinen Arbeitsbereich, also den Spannungsbereich, in dem es zuverlässig die eingehenden Teilchen zählt.

Passiert ionisierende Strahlung das Zählrohr ein, werden die Gas-Teilchen ionisiert und es werden Primärelektronen frei. Sie werden zum Zähldraht beschleunigt. Dort kommen sie aber nur an, wenn sie nicht vorher mit den Gasteilchen rekombinieren. Ist die Zählrohrspannung also zu gering, verliert man einen Teil der Impulse auf dem Weg und das Signal ist nicht aussagekräftig (Rekombinationsbereich). Bei Erhöhung der Spannung treffen ab einem bestimmten Punkt alle primär freigewordenen Elektronen die Anode. Der gemessene Strom ist damit proportional zur Energie der eintretenden Strahlung. Bei weiterer Erhöhung nehmen die Primär-Elektronen so viel Energie auf, dass sie weitere Gasteilchen ionisieren. Der gemessene Strom ist aber weiter proportional zur Energie der einfallenden Strahlung (Proportionalbereich).

Bei weiterer Erhöhung der Zählrohrspannung bleibt die Ionisationsstromstärke innerhalb eines bestimmten Spannungsintervalls konstant. Jedes in das Zählrohr eintretende Teilchen erzeugt den gleichen Stromstoß, da durch das einfallende Teilchen eine vollständige Gasentladung eingeleitet wird. Dieser Bereich wird auch Plateau- oder Geiger-Müller-Bereich genannt (Abb. 7). Er sollte möglichst lang sein und eine geringe Steigung aufweisen. Betreibt man ein Zählrohr in diesem Spannungsbereich, so spricht

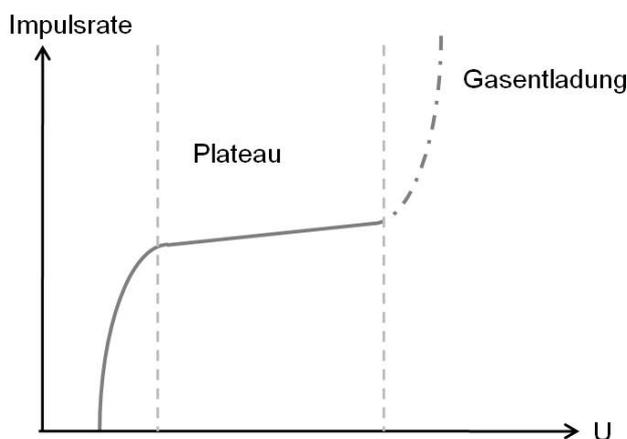


Abb. 7: Schematischer Verlauf der Zählrohrcharakteristik.

man von einem Auslösezählrohr.

Bei weiterer Erhöhung der Zählrohrspannung tritt schließlich im Zählrohr eine selbständige Gasentladung ein, die zur Zerstörung des Zählrohrs führt.

Totzeit

Direkt nach einer Gasentladung ist das Zählrohr für etwa 100 µs nicht in der Lage, neue Teilchen zu detektieren. Dies ist die sogenannte Totzeit. In dieser Zeit schirmen die positiv geladenen Zählgas-Ionen das elektrische Feld von der Anode ab. Erst wenn die Zählgas-Ionen zur Kathode gewandert sind und der Halogen-Zusatz die Zählrohrentladung gelöscht hat, ist das Zählrohr wieder aufnahmefähig.

Ist τ ($\tau \approx 90 \mu\text{s}$) die Totzeit des G.-M.-Zählrohrs und N_0 die gemessene Impulsrate, so gilt für die wahre Impulsrate N :

$$N = \frac{N_0}{1 - \tau \cdot N_0}$$

Auswertung:

Die Lage des Plateaus ist bei jedem Zählrohr anders. Das folgende Ergebnis ist ein Beispiel, Ihre Messwerte können davon abweichen.

Die gemessenen Werte sind in der Tabelle aufgeführt, das Ergebnis ist außerdem in Abb. 8 graphisch dargestellt. Erst ab 336 V erreichen die Impulse die Anode. Danach setzt das Plateau ein. Da ein überschreiten der Plateau-Spannung das Zählrohr schädigen würde, ist es nicht vorgesehen (und auch nicht möglich) eine Spannung > 600 V anzulegen.

Hinweis: Bei Zählrohrspannungen unterhalb des Auslösbereichs ist der Verlauf der Kennlinie abhängig von der Ionisationsfähigkeit der einfallenden Strahlung (Abb.7). Werden stärker ionisierende Teilchen vom Zählrohr registriert, so ist der erzeugte Ionisationsstrom stärker als bei schwach ionisierenden Teilchen. Die Intensität der Röntgenstrahlung reicht nicht aus, um einen signifikanten Ionisationsstrom auszulösen.

Tabelle1 : Werte

GM-Spannung/V	Impulse #/s
300	0
325	0
330	0
331	0
332	0
333	25
334	911
335	1174
336	1174
337	1152
338	1154
350	1150
400	1147
450	1151
500	1150
550	1148
600	1150

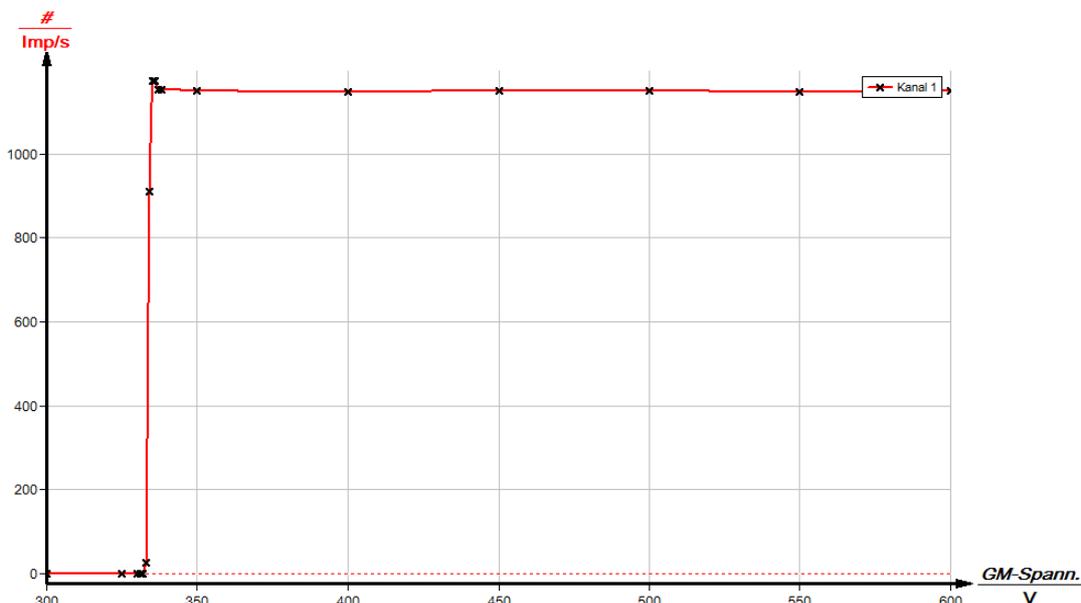


Abb. 8: Impulsrate in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung

