

Gasgefüllte Strahlungsdetektoren

Inhalt

0. [Einleitung](#)
1. [Teil A: Ionisationskammern](#)
 - 1.1. [Die Ionisationskammer](#)
2. [Teil B: Zählrohre](#)
 - 2.1 [Das Proportionalzählrohr](#)
 - 2.2 [Das Geiger-Müller-Zählrohr](#)
 - 2.3 [Empfindlichkeit und Energiekompensation von Zählrohren](#)
3. [Verhalten bei zu hohen Spannungen](#)
4. [Referenz](#)

0. Einleitung

Die Detektion ionisierender Strahlung überdeckt vielfältige Anwendungsgebiete, sei es zur Umwelt- und Personenüberwachung beim Umgang mit mehr oder weniger radioaktiven Materialien oder zur Durchführung bestimmter Messaufgaben, bei denen diverse Strahlungsquellen Grundlage des Messprozesses sind.

Die Firma [VacuTec Meßtechnik GmbH](#) hat sich auf die Entwicklung und Herstellung von Detektoren spezialisiert, deren Funktionsprinzipien im folgenden Text erläutert werden sollen.

Ein wichtiges und oft verwendetes Prinzip der Strahlungsdetektion basiert auf der Physik gasgefüllter Detektoren. Ionisierende Strahlung dringt über ein geeignetes Eintrittsfenster in das Gasvolumen des Detektors ein und erzeugt über Wechselwirkungen mit dem Gas und der Wand (Photo- oder Compton-Effekt) Elektronen und positiv geladene Ionen. Bei Quantenenergien oberhalb 1 MeV können Elektron-Positron-Paare (Paarbildung) entstehen. Diese Prozesse hängen von der Strahlenart und -energie, von der Gaszusammensetzung und dem Gasdruck, sowie dem Material der Elektroden und der Detektorumhausung ab. Die Ionisierungsprozesse erzeugen Ladungen, die mit Hilfe einer angelegten Gleichspannung getrennt und als Strom- oder Spannungsimpulse gemessen werden können. Das einfachste Bild eines gasgefüllten Detektors liefert ein unter Spannung stehender Kondensator mit einem Gas als Dielektrikum (siehe Abbildung 1).

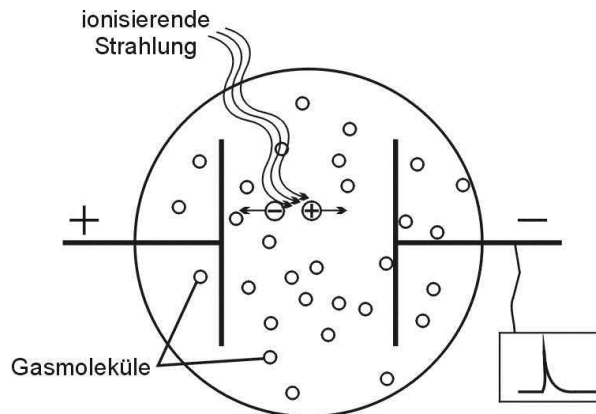


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise eines gasgefüllten Detektors. Die Erzeugung von positiven und negativen Ladungen durch ionisierende Strahlung ist in der Bildmitte skizziert. Diese werden zu den auf unterschiedlichem Potential liegenden Elektroden beschleunigt und elektrisch registriert.

Die Art der Reaktion eines gasgefüllten Detektors auf ein im Innern durch Ionisation erzeugtes Ladungsträgerpaar ist von der angelegten Spannung, der Gaszusammensetzung, dem Gasdruck und dem Detektoraufbau abhängig. Die verschiedenen Reaktionsszenarien ermöglichen eine Einteilung der gasgefüllten Detektoren in drei Typen: die Ionisationskammer, das Proportionalzählrohr und das Geiger-Müller-Zählrohr und lassen sich anschaulich anhand einer Grafik (siehe Abbildung 2) beschreiben.

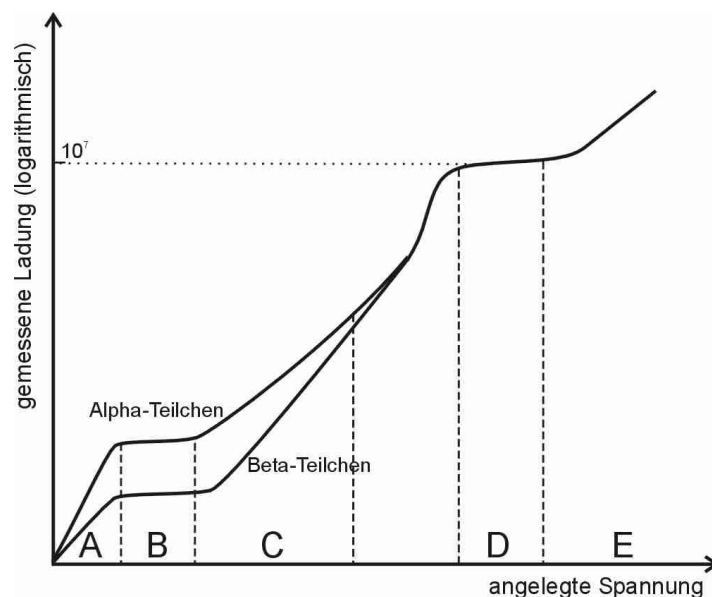


Abbildung 2: Veränderung der Anzahl der gemessenen Ladungen in einem gasgefüllten Detektor als Antwort auf eine bestimmte Strahlungsmenge in Abhängigkeit von der an den Detektor angelegten Spannung. Die zwei Kurven stehen jeweils exemplarisch für eine einfallende Menge an Alpha- bzw. Beta-Teilchen.

Der grundlegende Prozess für die Detektion der Strahlung ist die Ionisation des Gases. Erzeugte Ladungsträgerpaare unterliegen Rekombinationsprozessen und so erreichen bei kleinen Detektorspannungen (Abbildung 2, Bereich A) nur wenige von ihnen die entsprechenden Elektroden, was zu einem kleinen aber mit steigender Spannung anwachsenden Strom führt. Strahlungsdetektoren werden in diesem Bereich nicht betrieben.

1. Teil A : Ionisationskammern

1.1. Die Ionisationskammer

Mit wachsender Detektorspannung und damit ansteigenden kinetischen Energien der Ladungsträgerpaare werden Rekombinationsprozesse zunehmend unwahrscheinlich. Im Bereich B (Abbildung 2) erreichen nahezu alle erzeugten Ladungen die Detektorelektroden. Die Anzahl der gemessenen Ladungen entspricht der Anzahl der erzeugten. In diesem Bereich werden Ionisationskammern betrieben. Es ist offensichtlich, dass stärker ionisierende Strahlung ein größeres Messsignal erzeugt, was in Abbildung 2 durch den unterschiedlichen Verlauf der Kurven für Alpha- und Beta-Teilchen dargestellt ist.

Prinzipiell kann die Empfindlichkeit einer Ionisationskammer, also die Wahrscheinlichkeit, ein Quant oder ein Teilchen zu detektieren, durch eine Vergrößerung der Gasdichte verbessert werden. Dies wird durch Erhöhung des Gasdruckes und Verwendung schwererer Gase realisiert. Bei der Detektion von Gamma-Strahlung funktioniert dieses Prinzip in der Regel bis zu einer Energie von 0,5 MeV. Natürlich muss dann die Detektorspannung entsprechend korrigiert werden, um Rekombinationen zu vermeiden.

In der Praxis werden jedoch differenziertere Betrachtungen bei der Konzeption einer Ionisationskammer herangezogen. Höhere Kosten für schwere Edelgase im Vergleich zu leichteren sind gegenüber dem Nutzen abzuwägen. Zudem beeinflussen schwere Gase auf Grund Ihrer Trägheit die Schnelligkeit einer Ionisationskammer in negativer Weise.

Die 3 wesentlichen Faktoren zur Beeinflussung der Empfindlichkeit sind, bei gegebener Kammergeometrie, das Material und die Stärke des Eintrittsfensters, die Gaszusammensetzung bzw. der Gasdruck und die Art sowie Energie der Strahlung. Ein Zusammenspiel dieser Faktoren ist in Abbildung 3 exemplarisch für eine Industrieionisationskammer von VacuTec bei der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen dargestellt.

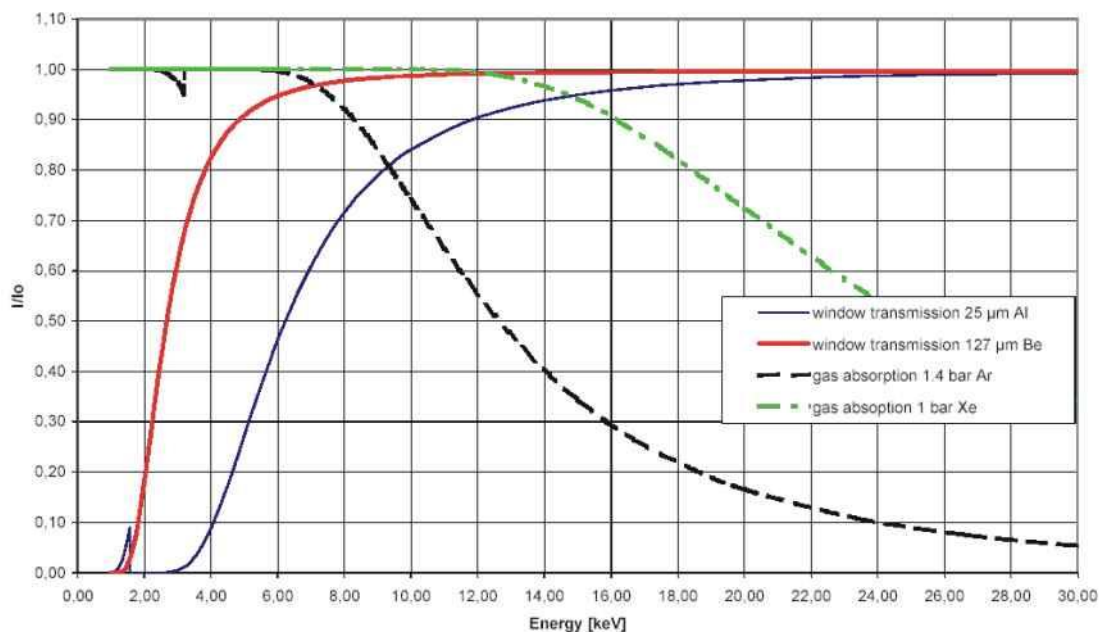


Abbildung 3: Darstellung simulierter Kurven zum Transmissionsverhalten zweier ausgewählter Eintrittsfenster und zum Absorptionsverhalten von 1,4 bar Argon und 1 bar Xenon bei einer Absorptionslänge entsprechend der Abmessungen einer ausgewählten Ionisationskammer. Die Transmission bzw. Absorption ist in Abhängigkeit der Energie der eintreffenden Röntgenstrahlung bei parallelem Einfall dargestellt.

Die Messsignale einer Ionisationskammer sind die im Ionisationsprozess erzeugten Ladungspulse. Real registriert man jedoch einen Strom in der Größenordnung von Piko- bis Nanoampere. Da Materialien zur elektrischen Isolation zwischen Anode und Kathode keinen hinreichend großen Widerstand besitzen um störende Kriechströme zu vermeiden wird oft ein sogenannter Schutzring in den Aufbau einer Ionisationskammer integriert (siehe Abbildung 4). Der Schutzring leitet die Kriechströme, die über den Isolator fließen an das Erdpotential ab.

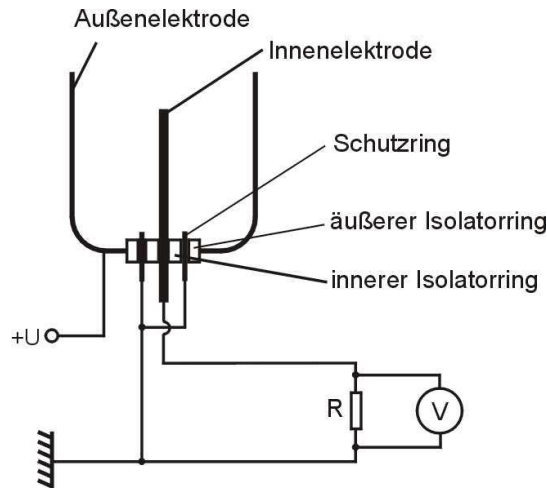


Abbildung 4: Schematische Abbildung einer Ionisationskammer im Querschnitt mit Schutzring und Abgriff des Ionisationsstromes über den Spannungsabfall an einem Widerstand R (typische Werte für R liegen zwischen 10^9 und 10^{12} Ohm).

In den meisten Anwendungsfällen wird der Strom in ein Spannungssignal umgewandelt, verstärkt und abgegriffen (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Messung der kleinen Ströme erfordert jedoch im allgemeinen eine empfindliche Signal-Verstärkungstechnik. Zwei Prinzipien werden in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. VacuTec bietet komplexe Verstärkerelektroniken in den unterschiedlichsten Ausführungen als Zubehör an.

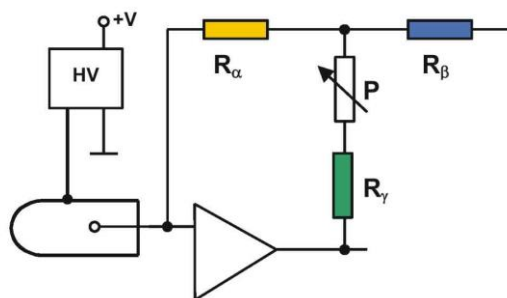


Abbildung 5: Schaltplan eines Verstärkers nach dem Prinzip der Strom-Spannungs-Wandlung an einer Ionisationskammer. Der Stromverstärkungsfaktor R setzt sich aus den abgebildeten Widerständen wie folgt zusammen: $R = R_\alpha \cdot \left(1 + \frac{P + R_\gamma}{R_\beta}\right)$ und für die Verstärkung gilt: $U_{\text{out}} = I_{\text{in}} \cdot R$. Nach einem solchen Prinzip arbeitende Verstärker werden von VacuTec in Verbindung mit [Industrieionisationskammern](#) angeboten.

Es ist auch möglich, die erzeugten Ladungen durch einen integrierenden Ladungsverstärker (siehe Abbildung 6) in ein rampenförmiges Spannungssignal zu wandeln, welches dann mittels Analog-Digital-Wandler oder Komparator ausgewertet werden kann. VacuTec nutzt dieses Prinzip im medizinischen Bereich z. B. bei den [Dosisflächenprodukt-Messsystemen VacuDAP](#) und den [Belichtungsautomatenkammern](#) (Automatic-Exposure-Contronl (AEC) – Sensor).

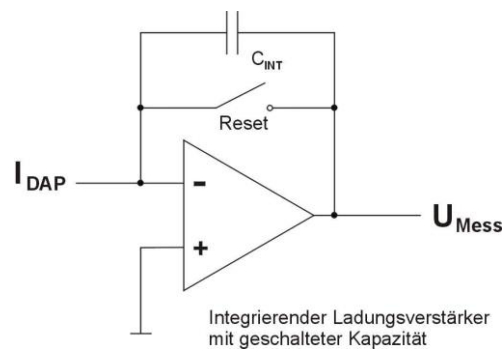


Abbildung 6: Schaltplan eines integrierenden Verstärkungsprinzips. I_{DAP} steht für das Messsignal der Ionisationskammer. Am Ausgang des integrierenden Ladungsverstärker steht U_{Mess} , für die Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Wie erläutert, ist die Größe des Ionisationskammerstromes ein direktes Maß für die Anzahl der Ionisationen in der Kammer. Bei sehr hohen Strahlungsintensitäten geht jedoch die Linearität zwischen einfallender Strahlungsintensität und Ionisationskammerstrom verloren. Der Grund dafür sind die aus den Ionisationsprozessen hervorgehenden positiv geladenen Ionen, welche durch Ihre große Masse eine vergleichsweise geringe Beweglichkeit besitzen und im Gegensatz zu den Elektronen länger in der Kammer existieren (Raumladung). Die große Anzahl dieser Ionen schirmt das Feld der Ionisationskammerelektroden ab und verringert damit die effektive Spannung zwischen den Elektroden. Diese Nichtlinearität kann durch die Erhöhung der Kammerstromspannung verringert werden (siehe Abbildung 6), was jedoch durch auftretende Spannungsüberschläge begrenzt wird. Die Nichtlinearität kann bei der Datenauswertung korrigiert werden.

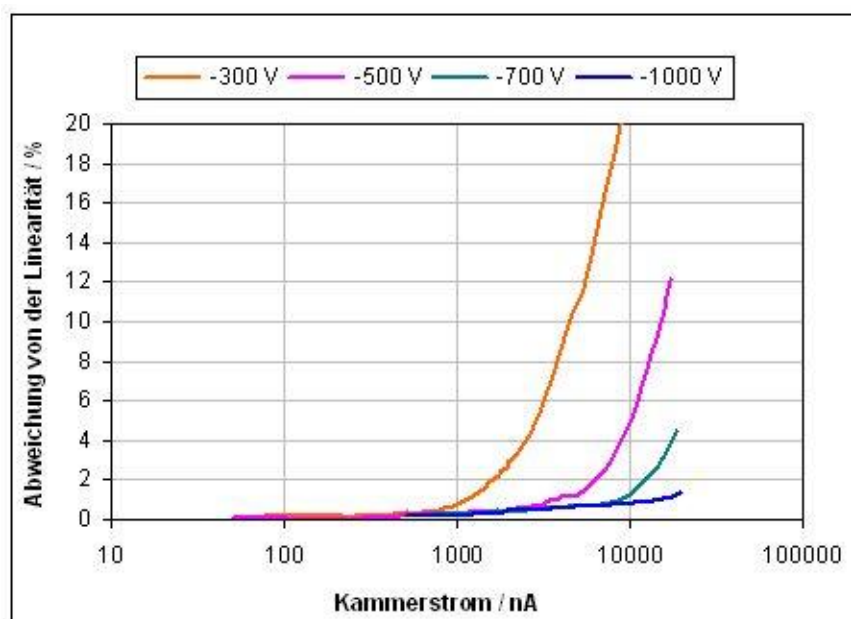


Abbildung 7: Darstellung der relativen Abweichung der Linearität zwischen Strahlungsintensität und Ionisationskammerstrom einer Ionisationskammer in Abhängigkeit vom Ionisationskammerstrom für verschiedene Kammerstromspannungen.

2. Teil B: Zählrohre

2.1. Das Proportionalzählrohr

Wird die Spannung am Detektor weiter erhöht (Abbildung 2, Bereich C), so sind die beschleunigten Primärladungen in der Lage, weitere Gasatome lawinenartig zu ionisieren, die das Messsignal in natürlicher Weise verstärken. Die sogenannte Gasverstärkung kann die ursprünglich durch die Strahlungs-Wechselwirkung erzeugte Ladungsmenge um das bis zu 10^5 -fache vergrößern.

Der Aufbau eines Proportionalzählrohres wird im einfachsten Fall durch eine zylinderförmige Kathode mit einer axial verlaufenden Anode aus dünnem Draht realisiert. Die Gasverstärkung findet im Bereich hoher Feldstärken, also in der Umgebung des Anodendrahtes, statt. Sie ist im wesentlichen eine Funktion der Gaszusammensetzung und des Gasdruckes. Eine Vergrößerung der Einsatzspannung verstärkt die Gasverstärkung (siehe Abbildung 2).

Registriert werden Strom- oder Spannungsimpulse, deren Höhe der Energie proportional ist, die im Zählrohr durch die Strahlung deponiert wird. Über das einfache Zählen der Impulse hinaus kann deshalb ein Proportionalzählrohr für spektroskopische Aufgaben herangezogen werden. Haupteinsatzfeld sind hier Röntgenfluoreszenzmessungen zur Schichtdickenbestimmung. Dabei wird durch Röntgenstrahlung die charakteristische Strahlung des Messgutes angeregt und gemessen. Für niederenergetische Röntgenstrahlung ist ein dünnes Eintrittsfenster (z.B. 100 μm), was typischerweise aus Beryllium oder Glimmer besteht, erforderlich. Gütekriterien für die spektroskopischen Messungen sind zum einen die Stabilität der Hochspannung, da diese die Impulshöhe beeinflusst (siehe Abbildung 2) und zum anderen die Energieauflösung des Zählrohres welche durch die Halbwertsbreite der Spektrallinie gegeben ist (siehe Abbildung 8).

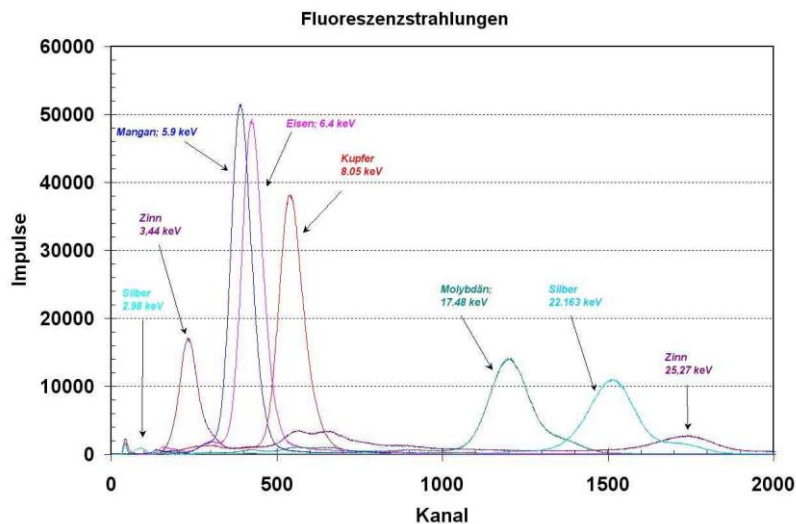


Abbildung 8: Darstellung von gemessener Fluoreszenzstrahlung. Zur Messung wurde ein [Proportionalzählrohr](#) von VacuTec verwendet. Die Abbildung zeigt die Anzahl der Impulse in Abhängigkeit von ihrer Pulshöhe, was der Kanallage entspricht und bei entsprechender Kalibrierung Energiewerten zugeordnet werden kann.

Um ein Spektrum wie in Abbildung 8 generieren zu können müssen die Zählrohrimpulse linear verstärkt werden und in einem Vielkanalanalysator entsprechend ihrer Höhe den zur Verfügung stehenden Kanälen zugeordnet werden (siehe Abbildung 9). Die Kanalzahl ist ein Maß für die Energie der absorbierten Röntgenquanten. Mit Hilfe einer Kalibrierung lässt sich der Zusammenhang zwischen Kanalzahl und Energie finden.

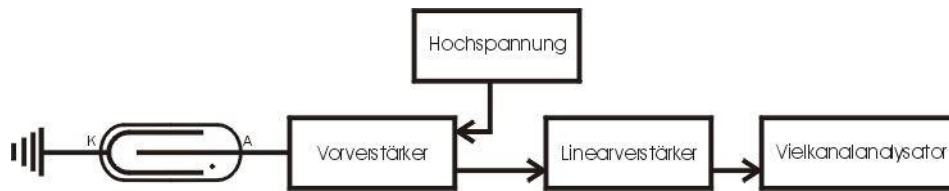


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer möglichen Konfiguration für den spektroskopischen Betrieb eines Proportionalzählrohrs. In diesem Beispiel wird das Zählrohr über den Vorverstärker mit Hochspannung versorgt. Im Vorverstärker wird die in einem Zählereignis erzeugte Ladungsmenge in ein dazu proportionales Spannungssignal umgewandelt. Der Linearverstärker dient zur weiteren Verstärkung und Formung des Signals. Im Vielkanalanalysator werden die Zählrohrimpulse entsprechend ihrer Höhe in Kanäle eingeordnet.

Dosimetrische Messungen sind ebenso ein typisches Anwendungsfeld für Proportionalzählrohre. Dazu müssen Korrektive, wie unter „Empfindlichkeit und Energiekompensation von Zählrohren“ beschrieben installiert werden. VacuTec entwickelt und produziert empfindlich Dosisleistungsmessgeräte auf Grundlage großvolumiger [VacuTec-Proportionalzählrohre](#), deren Messbereich bis in den Bereich der Untergrundstrahlung reicht.

2.2. Das Geiger-Müller-Zählrohr

Eine weitere Erhöhung der Spannung führt zu einer stärkeren Beschleunigung der Primär- sowie Sekundärladungen, so dass diese deutlich mehr Ionisationen verursachen als bei geringeren Spannungen. Das sogenannte Geiger-Müller-Plateau (siehe Abbildung 2, Bereich D) ist dann erreicht, wenn durch lawinenartige Ionisationsketten alle vorhandenen Gasatome ionisiert worden sind, bzw. keine Proportionalität mehr zwischen Signalladung und absorbierter Strahlungsenergie besteht.

Der Aufbau eines Geiger-Müller Zählrohres ähnelt dem eines Proportionalzählrohres. Jedoch wird beim Geiger-Müller-Zählrohr kein sehr dünner Anodendraht verwendet, da im Geiger-Müller-Zählrohr eine annähernd homogene Feldverteilung erwünscht ist. Zu der erläuterten Ladungsmultiplikation kommt nun ein weiterer Prozess hinzu. Durch Stoßprozesse angeregte Gasatome emittieren beim Übergang in Ihren Grundzustand Photonen, die das Gas ionisieren bzw. ionisierend wirkende Elektronen aus der Kathode auslösen können. Dieser Effekt ermöglicht die Lawinenbildung, durch welche alle vorhandenen Gasmoleküle ionisiert werden. Die Lawinentladung setzt sich selbstständig fort und kann nur durch gezielte Einwirkung (siehe Löschung) gestoppt werden.

Mit Geiger-Müller-Zählrohren ist man in der Lage einzelne Quanten und Teilchen zu registrieren, das heißt sie besitzen eine sehr große Empfindlichkeit. Die erzeugten Pulse lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die Energie bzw. die ionisierende Wirkung der Strahlung zu, da die Pulshöhe unabhängig ist von der im Zählrohr deponierten Energie.

Vacutec bietet ein breites Spektrum an [Geiger-Müller-Zählrohren](#) an. Im Allgemeinen werden Geiger-Müller-Zählrohre als Hauptkomponenten in Dosisleistungsmesssonden eingesetzt. VacuTec entwickelt und produziert eine vielseitiges Spektrum an [Dosisleistung-Messgeräten](#) auf der Basis von Geiger-Müller-Zählrohren.

Technische Details zu Geiger-Müller-Zählrohren

Löschung:

Die Lawinentladung wird durch zwei Lösprozesse gestoppt. Durch den großen Stromfluss im äußeren Stromkreis kommt es zu einem kurzzeitigen Spannungsabfall unterhalb der Einsatzspannung des Zählrohres. Ein so arbeitendes Zählrohr wird nicht-selbstlöschend genannt. Ein großer Anodenwiderstand begünstigt die Löschung. Die Eigenlöschung ist in der Praxis nicht ausreichend, da schnelle positive Ionen auf der Kathodenseite Elektronen ausschlagen können, welche wiederum zur Anode beschleunigt werden und ihrerseits neue Gasionisationen auslösen. Um diesen Effekt zu verhindern, enthält die Gasmischung Löschgas, was die Fähigkeit besitzt, Elektronen an langsame Ionen abzugeben. Die dadurch neu entstandenen Ionen werden an der Kathode neutralisiert, ohne weitere Elektronen herauszuschlagen. Zudem absorbiert das Löschgas die durch Abregung des Zählgases erzeugten Photonen. Diese Prozesse werden als Selbstlöschung bezeichnet.

Zeitliches Auflösungsvermögen:

Die Trägheit des elektronischen Gesamtsystems und die endliche Zeit, die nötig ist, um die erzeugten Ladungen, speziell die schweren positiven Ionen, zu den Elektroden zu transportieren, führen zu einer oberen Schranke der detektierbaren Dosisleistung.

Der Zeitraum, in dem das Zählrohr mit dem Absaugen der Ladungsträger beschäftigt ist, wird als Totzeit bezeichnet. In diesem Zeitraum kann kein Puls erzeugt werden, da die Einsatzspannung unterschritten wird (siehe Abbildung 10). Sobald die Zählrohrspannung wieder über die Einsatzspannung steigt, kann ein erneuter Ladungspuls erzeugt werden. Die Pulshöhe des zweiten Pulses wächst mit der Größe des zeitlichen Intervalls zwischen beiden Pulsen, solange die Spannung ansteigt. Die Zeit zwischen einem Puls mit maximaler Pulshöhe und einem darauf folgenden mit gleicher Höhe wird als Erholungszeit bezeichnet.

Die für jedes Zählrohr spezifische Totzeit beschränkt also die maximale Impulsrate. Wie unter Löschung erwähnt, sind die Anschlusswiderstände und alle vorhandenen Kapazitäten für den Wert der Totzeit mitentscheidend. Der Zusammenhang zwischen wahrer Pulsrate N , gemessener Pulsrate n und Totzeit τ lässt sich unter der Voraussetzung $n\tau \ll 1$ wie folgt darstellen:

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

Bei hohen Impulsraten überlagern sich Spannungssignale, da nicht genügend Zeit zur Relaxation der Spannung vorhanden ist. Eine vernünftige Zählung der Pulse ist dann nur noch mit einer entsprechenden Differentiationselektronik möglich.

Ein weiterer Effekt bei hohen Pulsraten ist die Verkürzung der Totzeit. Der Grund dafür sind die kleinen Pulse, die während der Erholungszeit auftreten und dafür sorgen, dass die Spannung nicht soweit abgesenkt wird wie bei einem vollen Puls.

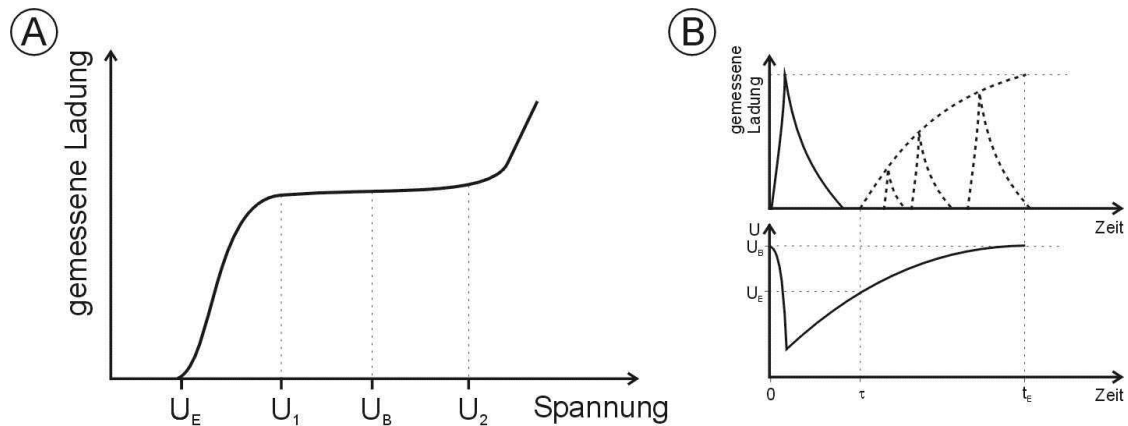


Abbildung 10: A: Schematische Darstellung des Plateaubereichs mit U_E =Einsatzspannung; U_B =Betriebsspannung; U_2-U_1 =Plateaulänge. B: In der oberen Abb. sind die Höhen der nach einem Initialladungspuls möglichen Ladungspulse angedeutet. In der unteren Abb. sieht man, wie sich die Spannung am Zählrohr während und nach einem Initial-Ladungsimpuls verhält. Dabei ist τ die Totzeit und t_E die Erholungszeit.

Signalabgriff:

Prinzipiell kann man das Spannungssignal an der Anode sowie an der Kathode abgreifen. Wie unten erläutert, sollte der Abgriff an der Kathode nach Möglichkeit dem der Anode vorgezogen werden.

Grundsätzlich sollte der Anodenwiderstand direkt, ohne unnötige Kabelstrecke an die Anode gesetzt werden, da parasitäre Kapazitäten des Anschlusses in Verbindung mit dem großen Anodenwiderstand zu einer großen Zeitkonstante führen und einen empfindlichen Einfluss auf die Zählrohrcharakteristik ausüben können. Negative Effekte sind zum Beispiel eine Vergrößerung der Totzeit des Zählrohres.

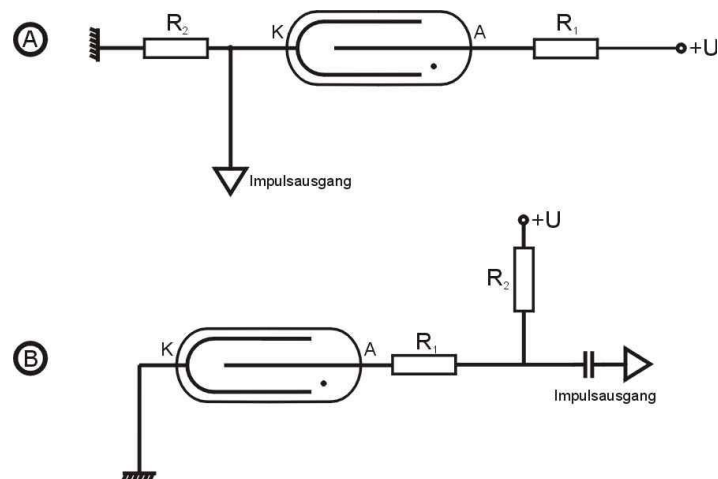


Abbildung 11: Beispielhafte Schaltbilder der möglichen Signalabgriffe. In der Abbildung steht A für Anode, K für Kathode, R_1 bezeichnet den Anodenwiderstand und R_2 den Arbeitswiderstand. A: Das Signal wird auf der Kathodenseite abgegriffen. B: Abgriff der Spannungssignale auf der Anodenseite. Die Kathode liegt auf Masse. Das Signal wird hier kapazitiv an einem Spannungsteiler ausgekoppelt.

In Abbildung 11 A ist der Pulsabgriff auf der Kathodenseite dargestellt. Das Verhältnis von Arbeitswiderstand zu Anodenwiderstand ist typischerweise 1:45, wobei der Anodenwiderstand für jeden Geiger-Müller-Zählrohrtyp von Werk aus vorgegeben ist, um ein

optimales Arbeiten und eine maximale Lebensdauer des Zählrohres zu gewährleisten. Im Falle einer Geiger-Müller-Entladung fällt die Spannung an der Anode über dem Anodenwiderstand ab. Dabei wird die Zählrohrspannung, wie unter dem Abschnitt „Löschung“ beschrieben, unter die Einsatzspannung herabgesetzt. Auf der Kathodenseite steigt das Potenzial kurzzeitig von 0 V auf einen Wert entsprechend des Widerstandsverhältnisses. Dieser Spannungsimpuls wird am Impulsausgang verstärkt und weiterverarbeitet.

Die Verwendung des Arbeitswiderstandes im Anodenkreis (dargestellt in Abbildung 11 B) bewirkt im Gegensatz zum Signalabgriff auf der Kathodenseite ein abfallendes Spannungssignal. Auch hier ist das Verhältnis $R_2:R_1$ typischerweise 1:45. In dieser Schaltung wird ein hochspannungsresistenter Kondensator zur kapazitiven Auskopplung des Signals benötigt. Der messbare Spannungspuls ist in der gleichen Größenordnung, wie beim Abgriff auf der Kathodenseite. Die Impulshöhe lässt sich in etwa mit Hilfe der Spannungsteilerregel bestimmen. Der Nachteil dieser Schaltung ist die Notwendigkeit eines hochspannungsresistenten Kondensators, da der Verstärkereingang andernfalls ständig auf maximalem Potential läge. Der Kondensator führt zu einer etwas abgerundeten Pulsform. Ein Abgriff auf der Anodenseite ist nötig, wenn der Aufbau eine Erdung der Kathode vorsieht.

2.3. Empfindlichkeit und Energiekompensation von Zählrohren

Eine einzige Wechselwirkung eines Photons in einem Zählrohr reicht aus, um einen Zählimpuls auszulösen. Dabei ist die Impulshöhe unabhängig von der Photonenenergie bzw. der absorbierten Energie. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Quant oder Teilchen eine Wechselwirkung verursacht, stark von der Energie und der Art der Strahlung abhängig. Alpha- und Beta-Teilchen haben keine große Reichweite in Materie. Für diese Teilchenart werden spezielle Zählrohre mit dünnen Eintrittsfenstern niedriger Dichte (z.B. Glimmer) hergestellt. Die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit für ein Teilchen kann bei entsprechender Detektordimensionierung nahe 100% liegen.

Die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit für Photonen ist wesentlich geringer und liegt nur bei einigen Prozent. Im allgemeinen nimmt die Wechselwirkung mit steigender Energie ab. Sehr niedrige Energien (<20 keV) können auf Grund der Absorption im Detektorgehäuse natürlich nicht detektiert werden, deshalb nimmt die Empfindlichkeit zu niedrigen Energien ebenso ab.

Bei der Energie-Empfindlichkeitsbetrachtung für das Zählrohr ist es auch notwendig, zwischen niederenergetischen Photonen (bis 60 keV (Röntgenbereich)) und hochenergetischen Photonen zu unterscheiden. Es zeigt sich, dass der Mechanismus für Impulsauslösung bei niedrigen Energien hauptsächlich die Ionisation des Gases ist. Bei größeren Energien wird die Ionisation des Gases nicht mehr direkt durch das Photon erzeugt, sondern vermehrt durch Elektronen, die bei der Wechselwirkung des Photons mit der Kathodenwand entstehen.

Dieses Zusammenspiel resultiert in einer vielfach größeren Empfindlichkeit des Zählrohres bei mittleren Energien (ca. 60 keV) im Gegensatz zu niedrigeren und höheren Energien.

Die starke Energieabhängigkeit kann durch Anbringung sogenannter Korrektive kompensiert werden. Ein Korrektiv besteht aus Materialien mit großer Massenzahl. Es wird ähnlich einer partiellen Ummantelung um das Zählrohr gelegt und wirkt wie ein Filter, der nur das gewünschte Verhältnis von nieder- und hochenergetischer Strahlung in das Zählrohr lässt.

Zur weiteren Betrachtung soll kurz der Dosisbegriff erklärt werden. Als Dosis wird die durch die Strahlung deponierte Energie pro Masseneinheit definiert. Die Dosis lässt sich also von

dem Wechselwirkungsquerschnitt zwischen der betrachteten Materie und der Strahlung ableiten, wobei der Wechselwirkungsquerschnitt stark mit der Strahlungsenergie und Art der Materie variiert.

Die richtigen Korrektivmaterialien und die korrekte Dimensionierung des Korrektivs ermöglichen es, die Dosis-Empfindlichkeit des Zählrohres nahezu unabhängig von der Energie der einfallenden Strahlung einzustellen. Die auf diese Art korrigierten Zählrohre heißen E-korrigiert. Bei einer solchen Messung wird die in Luft abgegebene Dosis angegeben. Die Forderungen der internationalen Strahlenkommission zur Messung der Umgebungs-Äquivalent-Dosisleistung können mit Hilfe eines entsprechend angepassten Korrektivs ebenso erfüllt werden. Hierbei werden die unterschiedlichen Strahlungsarten in Bezug auf ihre biologische Wirksamkeit berücksichtigt. Die Zählrohre heißen dann A-korrigiert. Die Äquivalentdosis-Empfindlichkeit eines A-korrigierten Zählrohrs ist nahezu unabhängig von der Energie und der Art der Strahlung. Hier wird die im biologischen Gewebe abgegebene Dosis angegeben.

3. Verhalten bei zu hohen Spannungen

Wird die Spannung über den Bereich D (Abbildung 2) hinaus erhöht, so findet die beschriebene Löschung der Entladung nicht mehr statt. Ein Quant reicht aus, um eine dauerhafte Entladung im Zählrohr auszulösen. Dabei bricht die Hochspannung am Zählrohr vollständig zusammen. Die Lebensdauer des Zählrohrs wird dadurch sehr stark eingeschränkt. In diesem Bereich sollte ein gasgefüllter Detektor auf keinen Fall betrieben werden.

4. Referenz

Die Firma VacuTec Meßtechnik GmbH ist seit über 50 Jahren Spezialist für die Entwicklung und Herstellung aller drei Typen gasgefüllter Detektoren in verschiedensten Abmessungen und für unzählige Anwendungen.

VacuTec Meßtechnik GmbH
Dornblüthstrasse 14
01277 Dresden

Tel.: +49 (0)351 31724-0
Fax.: +49 (0)351 31050-85
e-Mail.: info@vacutec-gmbh.de
www.vacutec-gmbh.de