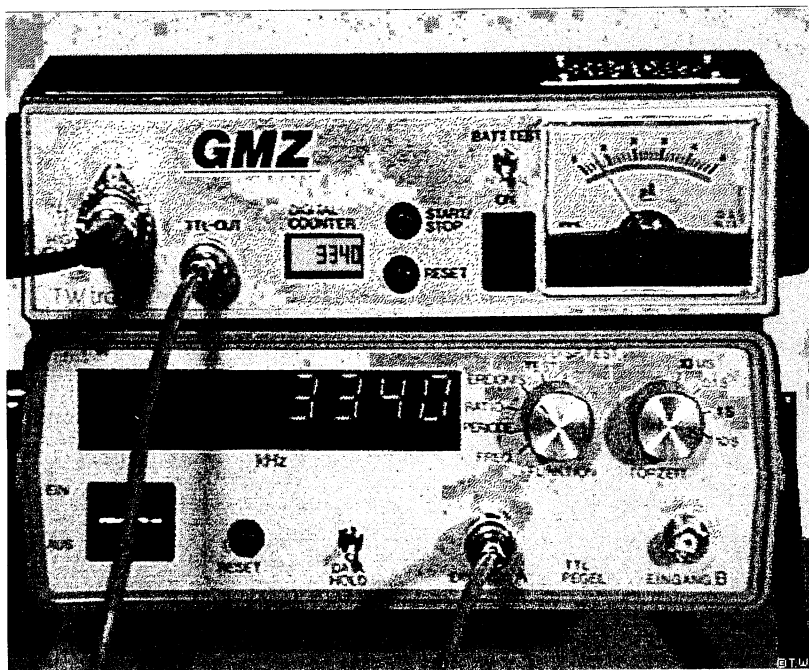


Facharbeit aus der Physik



Beschreibung, Entwurf und Bau eines Geiger-Müller-Zählgeräts zur Messung ionisierender Strahlung

Verfasser: Tobias A. Wieler
Leistungskurs: Physik₂ o
Kursleiter: Herr Engelberger
Abgabedatum: 1. Februar 1990

Bewertung
erzielte Punkte: 14
(einfache Wertung)
B. Engelberger
(Unterschrift des Kursleiters)

Inhaltsverzeichnis:

1. **Einführung**
 - 1.1 Elektrische Beschaltung und Funktionsweise von Zählrohren.
 - 1.2 Mechanischer Aufbau von verschiedenen Zählrohrtypen
 - 1.3 Verschiedene Arbeitsbereiche und Impulshöhencharakteristik von Zählrohren

2. **Aufbau eines Dosisleitungsmeßgeräts mit Geiger-Müller-Zählrohr**
 - 2.1 Aufbau und Schaltung des Hochspannungsnetzteils
 - 2.2 Beschreibung des verwendeten Zählrohres
 - 2.3 Schaltung und Funktionsweise der Verstärkerelektronik und der analogen Impulsfrequenzanzeige
 - 2.4 Technische Ausführung des Geräts und Erläuterung der Bedienelemente anhand einer Abbildung
 - 2.5 Schaltung des ereignisgesteuerten Intervallzeitmessers zur automatischen Impulsfrequenzbestimmung
 - 2.6 Technische Ausführung des Intervallzeitmessers und Erklärung der Bedienelemente

3. **Eichung des Meßgeräts**
 - 3.1 Kalibrierung mit Kaliumsulfat
 - 3.1.1 Beschreibung des Versuchsaufbaus
 - 3.1.2 Erläuterung der Meßmethode
 - 3.1.3 Auswertung der Ergebnisse
 - 3.2 Erläuterungen zur Zählrohreichkurve des Datenblattes
 - 3.3 Ausmessung der Spannungs-Impulsfrequenz Charakteristik des Zählrohres und graphische Darstellung der Ergebnisse

4. **Praktische Anwendung des Geräts**
 - 4.1 Anwendung des Geiger-Müller-Zählers zur Messung der Gamma-Strahlung am Aufbewahrungsschrank für radioaktives Material
 - 4.2 Qualitative Beurteilung des Meßergebnisses

1.1 Vorwort

Bereits 1913 erfand der deutsche Physiker Hans Geiger ein Meßgerät zum Nachweis radioaktiver Strahlung, das er dann 1928 zusammen mit Walter M. Müller zu großer Vollkommenheit entwickelte. Diese als Geiger-Müller-Zählrohr bekannte Vorrichtung war lange Zeit nur für die Fachwelt der Naturwissenschaft von Interesse. Seit aber die Problematik der Kernenergie durch den Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986 in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt ist, haben die Meßmethoden für Radioaktive Strahlung auch für die Zivilbevölkerung an Bedeutung gewonnen.

1.2 Funktionsweise und elektrische Beschaltung von Zählrohren

In vielen Geräten zur Messung von radioaktiver Strahlung werden heute Zählrohre als Detektor verwendet, da sie relativ einfach herzustellen sind, aber im Gegensatz zu Ionisationskammern doch empfindlich genug sind, einzelne Quanten nachzuweisen. Üblicherweise besteht ein Zählrohr aus einem gasgefüllten Zylinderkondensator. Der Mantel des Rohres bildet die (meist auf Erdpotential liegende) Kathode, ein dünner Draht in der Achse des Zylinders die Anode.

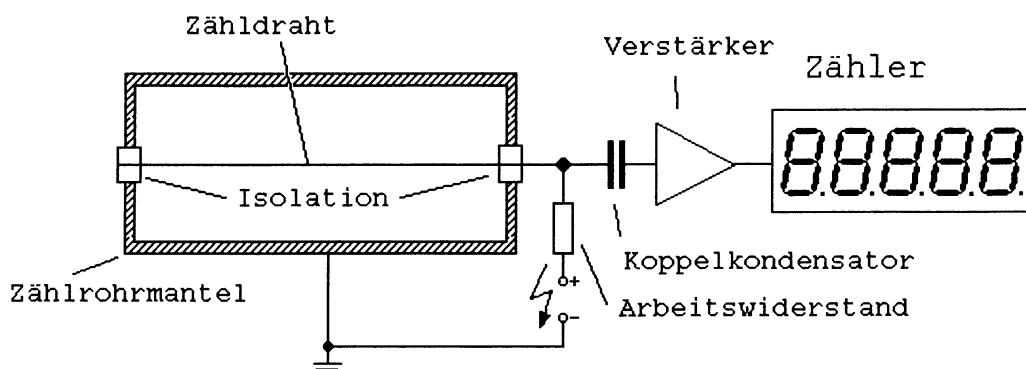


Abb.1 Schematische Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählers

Wird ein Gasatom im Inneren des Zählrohres durch radioaktive Strahlung ionisiert, so entsteht ein positives Gasion und ein freies Elektron. Das Elektron wird durch die hohe elektrische Feldstärke zum Zählendraht hin beschleunigt, und gewinnt genug kinetische Energie, um auch noch andere Gasatome zu ionisieren. Dieser Mechanismus, den man Gasverstärkung nennt, bewirkt, daß eine ganze Lawine von Elektronen den Zählendraht erreicht. Dadurch fließt kurzzeitig ein Strom, der sich über einen Arbeitswiderstand und das Hochspannungsnetzgerät zu einem Stromkreis schließt. Der kurzzeitige Stromstoß führt an dem Arbeitswiderstand (nach dem Ohmschen Gesetz $U=R \cdot I$) zu einem Spannungsabfall, d.h. zu einer Änderung der Spannung des Zählrohrdrahtes. Diese momentane Änderung, die man als Spannungsimpuls bezeichnet, wird über einen Koppelkondensator zur weiteren elektronischen Verarbeitung an einen Verstärker mit nachfolgendem Zähler übertragen. Die Einschaltung eines Koppelkondensators ist notwendig, da sonst die für den Betrieb des Zählrohres notwendige Hochspannung nicht unmittelbar am Verstärkereingang liegt und ihn deshalb zerstört.

1.3 Mechanischer Aufbau von verschiedenen Zählrohrtypen

Zählrohre haben meist einen Metallmantel aus Kupfer, Eisen, Aluminium, manchmal aber auch aus anderen Materialien. Mitunter werden innen metallisierte Glaszylinder verwendet. Als Zählendraht werden Metalldrähte aus Wolfram, Molybdän und Eisen benutzt. Um vor allem in der Nähe des Zählendrahtes sehr hohe elektrische Feldstärken zu erreichen, kommen Drähte mit möglichst geringem Durchmesser (ca. $50\mu\text{m}$) zum Einsatz. Zählrohre sind auf Grund ihrer Empfindlichkeit in der Lage, einzelne ionisierende Teilchen, also auch Elektronen und α -Teilchen nachzuweisen, wenn sie nur in das aktive Volumen gelangen können. Für den Nachweis dieser Teilchen, wie auch für niederenergetische (weiche) Röntgenstrahlung werden Zählrohre verwendet, deren eine Stirnseite mit einer sehr dünnen Folie aus einem Material niedriger

Ordnungszahl (geringe Schwächung!) abgeschlossen ist. Eine solche Anordnung bezeichnet man als Endfensterzählrohr. Häufig verwendet man als Fenstermaterial Glimmer, den man in Massenabdeckungen bis herab zu 2 mg/cm^2 spalten kann oder Kunststoff-Folien (Nylon, Mylar), mit denen man Massenabdeckungen bis herab zu $0,3 \text{ mg/cm}^2$ realisieren kann.

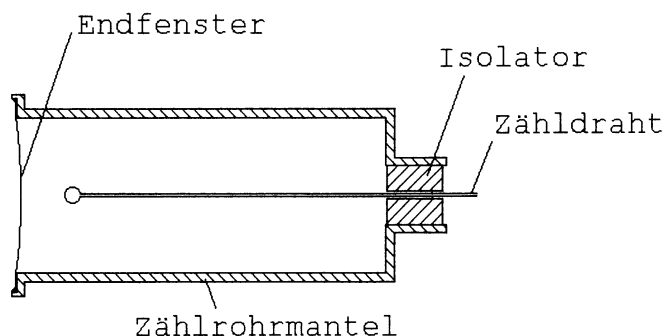


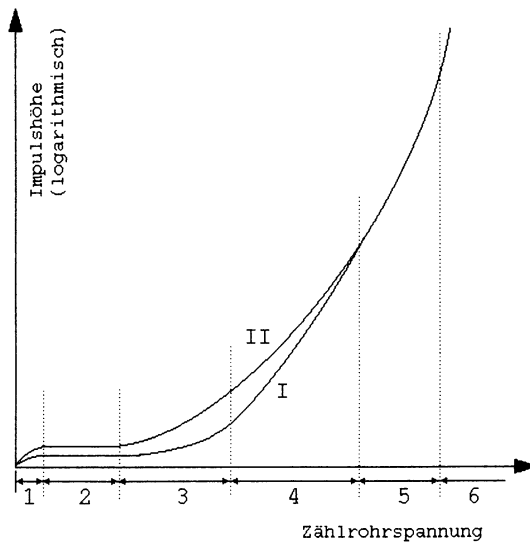
Abb.2 Schematische Darstellung eines Endfensterzählrohrs

Als Füllgas werden Edelgase verwendet, denen man geeignete Substanzen beimengt, um die Zählrohreigenschaften zu verbessern und zu stabilisieren. Zum Löschen der Zählrohrentladung sind weitere Zusätze notwendig. Durch die in der Entladung entstehenden Ionen, aber auch durch dabei entstehendes ultraviolettes Licht können aus der Zählrohrwand (Kathode) Sekundärelektronen freigesetzt werden, die die Entladung unabhängig von ionisierender Strahlung aufrechterhalten. Man vermeidet dies durch die Beimengung von Alkohol, Brom- oder Joddampf. Auch Chlorgas wird hierfür verwendet. Die Löschzusätze verbrauchen sich beim Betrieb des Zählrohrs, weshalb abgeschlossene Zählrohre nach bestimmter Betriebszeit unbrauchbar werden.

Sogenannte Durchflußzählrohre vermeiden diesen Nachteil: Man läßt aus einer Vorratsflasche ständig frisches Zählgas durch das Zählrohr strömen, und kann so bei gleichmäßig optimalen Betriebsbedingungen arbeiten. Bei tragbaren Zählgeräten für den mobilen Einsatz ist dieses Verfahren jedoch zu umständlich und unbequem.

1.3 Verschiedene Arbeitsbereiche und Impulshöhencharakteristik von Zählrohren

Die Spannungsamplitude des am Arbeitswiderstand entstehenden Impulses ist von der Spannung abhängig, die an den Zählendraht gelegt wird. Man kann den Sachverhalt in einer sogenannten Impulshöhencharakteristik darstellen:



Impulshöhencharakteristik von Zählrohren für zwei verschiedene Photonenenergien E_{Ph} (nicht maßstäblich).

Kurve I: $E_{Ph} = E$, Kurve II: $E_{Ph} = 2 \times E$

- Bereiche:
1. Rekombinations-Bereich
 2. Sättigungs-Bereich
 3. Proportional-Bereich
 4. Übergangsbereich
 5. Auslöse-Bereich (Geiger-Müller-Bereich)
 6. Beginn selbstständiger (Dauer-) Entladung

Abb.3 Die verschiedenen Arbeitsbereiche von Zählrohren

Bei niedrigen Spannungen verhält sich das Zählrohr wie eine Ionisationskammer: An einen Rekombinationsbereich, in dem nicht alle von der ionisierenden Strahlung erzeugten Ladungsträger an die Elektroden gelangen, weil sie teilweise vorher rekombinieren, schließt sich der sogenannte Sättigungsbereich an, in dem alle gebildeten Ladungsträger die Elektroden erreichen, ohne daß eine Ladungsträgerver-

vielfachung durch Gasverstärkung eintritt. Die Impulshöhe ist sehr klein, jedoch unabhängig von der Zählrohrspannung (Plateau).

In dem anschließenden Bereich setzt die Gasverstärkung ein, und zwar zunächst unabhängig von der Zahl der primär erzeugten Ladungsträger. Für eine feste Zählrohrspannung ist die Impulsamplitude proportional zu der durch Quant oder Teilchen primär erzeugten Ladung. Deshalb werden Zählrohre, die in diesem Arbeitsbereich betrieben werden, Proportionalzählrohre genannt. Da die Zahl der primär erzeugten Ladungsträger proportional zur Energie des auslösenden Quants oder Teilchens ist, lassen sich neben der Zahl N der Ereignisse auch die Energien ermitteln. Somit stehen alle Informationen für eine Dosisberechnung zur Verfügung.

An den Proportionalbereich schließt sich ein meßtechnisch bedeutungsloser Übergangsbereich an. Erhöht man die Zählrohrspannung noch weiter, folgt der sogenannte Auslösbereich. Dabei wird die Gasverstärkung so hoch getrieben, daß die entstehenden Elektronenlawinen sich gegenseitig behindern. Die Amplitude der Elektronenlawinen, die den Zählendraht erreichen, ist nun unabhängig von der Zahl der primären, durch die Strahlung verursachten Ladungen. Deshalb läßt sich die Art der Strahlen und deren Energie nicht mehr unterscheiden. Die Impulshöhen sind alle gleich, jedoch abhängig von der eingestellten Zählrohrspannung. Das einzelne Quant oder Teilchen löst bei fest eingestellter Zählrohrspannung einen einheitlichen Impuls am Arbeitswiderstand aus. Zählrohre, die in diesem Arbeitsbereich betrieben werden, heißen Auslösezählrohre oder Geiger-Müller-Zählrohre. Mit ihnen läßt sich folglich nur die Zahl der das Zählrohr treffenden Teilchen oder Quanten messen, nicht jedoch ihre Energie. Will man diese Zählrohre in Dosismeßgeräten einsetzen, wie es in tragbaren Monitoren häufig getan wird, ist ihre Energieabhängigkeit durch eine Eichkurve zu berücksichtigen.

2. Aufbau eines Dosisleistungsmeßgeräts mit Geiger-Müller-Zählrohr

Nachdem nun die Arbeitsweise des Zählrohres eingehend erläutert wurde, soll der praktische Aufbau eines mobilen Geiger-Müller-Zählers beschrieben werden. Das Gerät läßt sich in vier Baugruppen unterteilen:

1. Die Hochspannungsquelle
2. Das Zählrohr
3. Der Impulsverstärker
4. Die Auswertelektronik

2.1 Aufbau und Schaltung der Hochspannungsquelle

Die Hochspannungsquelle muß die zum Betrieb des Zählrohrs s notwendige Hochspannung liefern. Dabei sollte die Stromaufnahme des Spannungswandlers möglichst gering sein, da das Gerät netzunabhängig, mit Batterien betrieben werden soll. Ausserdem muß die Hochspannung stabilisiert sein, damit das Zählrohr auch bei absinkender Batteriespannung genaue Meßergebnisse liefert.

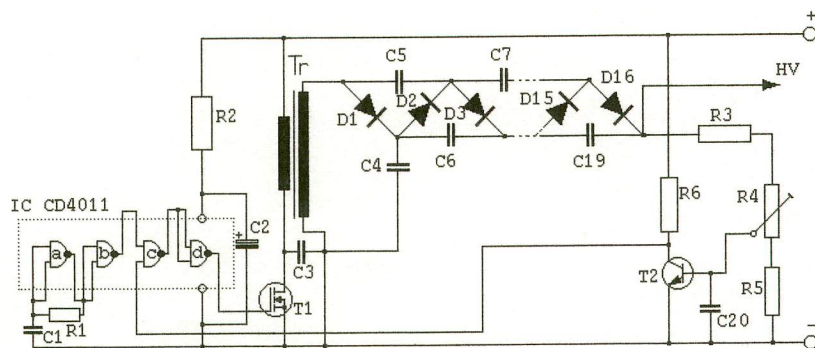


Abb.4 Hochspannungswandler für die Zählrohrspannung

Als Spannungswandler wird ein herkömmlicher Netztransformator (Tr) mit einer 220V Primärwicklung und einer 6V

Sekundärwicklung verwendet. Durch kurze 9V Rechteckimpulse an der 6V Wicklung werden auf der 220V Wicklung Spannungstöße von ca 200 - 300 Volt erzeugt. Mit einer nachfolgenden Vervielfacherschaltung, bestehend aus C4 bis C19 und D1 bis D16, wird die Spannung auf etwa 1000 Volt erhöht. Zur Vervielfachung der Spannung wird die Speicherkapazität der Kondensatoren ausgenutzt, indem jeder der Kondensatoren mit den Spannungsimpulsen des Transformators aufgeladen wird. Sind N Kondensatoren in einer Kaskade hintereinanderschaltet, ist die Gesamtspannung an den Enden der Kette N-mal so groß wie die Eingangsspannung. Im vorliegenden Fall dienen die Dioden D1-D16 lediglich dazu, die einzelnen Kondensatoren jeweils zur richtigen Zeit mit der richtigen Polarität aufzuladen.

Damit die so erzeugte Hochspannung konstant bleibt, ist ein Regelkreis notwendig, der den Rechteckgenerator stoppt, sobald die erforderliche Zählrohrspannung erreicht ist. Der aus den NAND-Gattern a und b gebildete Impulsgenerator kann nur solange ein Rechtecksignal an die Basis von T1 geben, wie der Steuereingang von Gatter c, der mit dem Kollektor von T2 verbunden ist, auf +5V liegt. Dies ist dann der Fall, wenn Hochspannung noch nicht ausreicht, den Transistor T2 über den Spannungsteiler bestehend aus R3, R4 und R5 durchzuschalten. Ist kurz nach dem Einschalten die erforderliche Spannung erreicht, sind nur noch ab und zu einzelne Impulse notwendig, um die Kaskade nachzuladen, die sich langsam über den Spannungsteiler R3-R5 entlädt.

Da die Stromaufnahme des IC, der hier als Impulsgenerator verwendet wird, sehr gering ist, hängt die Gesamtstromaufnahme des Hochspannungswandlers praktisch nur von der Zahl der notwendigen Rechteckimpulse durch die 6V Wicklung des Transformators ab. Um eben diese Zahl der Ladeimpulse möglichst gering zu halten, wurden für die Kondensatoren C4-C19 qualitativ hochwertige Typen mit äußerst geringem Leckstrom und guter Spannungsfestigkeit verwendet. Außerdem wurde beim Aufbau der Schaltung sorgfältigst auf die

Vermeidung von Kriechströmen geachtet, die besonders bei derart hohen Spannungen durch schlechte Isolierung verursacht werden.

2.2 Beschreibung des verwendeten Zählrohres

Für das hier beschriebene Meßgerät wurde das Zählrohr LND-74315, ein Fabrikat eines amerikanischen Herstellers verwendet, zu dem ein ausführliches Datenblatt mit Eichkurve erhältlich ist. Das verwendete Zählrohr ist allerdings nur zur Messung von Gamma- und mittel- bis hochenergetischer Betastrahlung geeignet, da es kein Fenster für Alpha-Teilchen besitzt. Die optimale Arbeitsspannung liegt bei 1000 Volt, und der Arbeitswiderstand sollte mindestens 10 Megaohm betragen. Da die Außenwand des Zählrohres sehr dünn ist, muß man sehr vorsichtig damit umgehen, und starke Erschütterungen und Stöße sollten auf jeden Fall vermieden werden. Ein ausführliches Datenblatt zu dem verwendeten Zählrohr ist im Anhang beigeheftet.

2.3 Schaltung und Funktionsweise der Verstärkerelektronik und der analogen Impulsfrequenzanzeige

Die Elektronik, durch die die Spannungsimpulse verstärkt und angezeigt wird, entspricht folgendem Schaltbild:

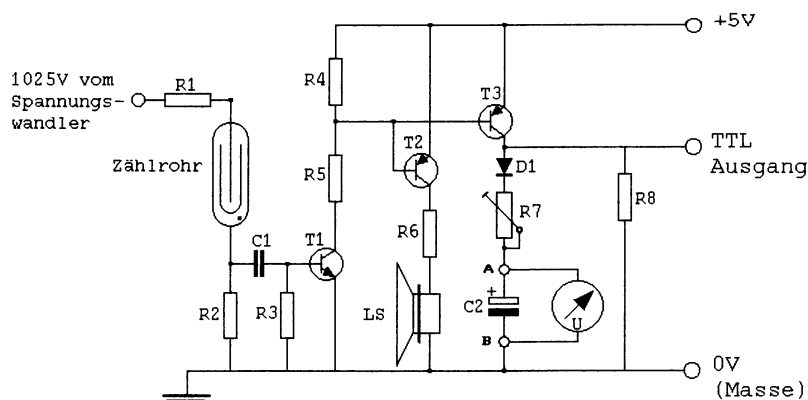


Abb.5 Impulsverstärker und analoge Anzeige

Die an R2 abfallenden Spannungsimpulse gelangen über den Koppelkondensator C1 an die Basis von T1. Die dadurch am Kollektor von T1 entstehenden negativen Impulse sind hoch genug, die Transistoren T2 und T3 durchzuschalten. T2 dient dazu, die einzelnen Zerfälle über einen kleinen Lautsprecher als Knacken hörbar zu machen. Der Transistor T3 lädt mit jedem Impuls den Kondensator C2 mit einem über R7 regelbaren Stromstoß nach. Das Drehspulinstrument zeigt die Spannung an C2 an, und dient gleichzeitig dazu, den Kondensator wieder langsam zu entladen. Der Zeigerausschlag des Meßinstruments ist somit proportional zu der Zahl der Zerfälle pro Sekunde, und der Meßbereich kann mit R7 eingestellt werden. Zusätzlich liefert T3 ein Signal auf TTL-Pegel, d.h. jeder registrierte Zerfall liefert am TTL Ausgang einen kurzen Rechtecksimpuls mit +5V Amplitude. Dieses Ausgangssignal ist kompatibel zu allen üblichen Digitalschaltungen, und kann somit zur Ansteuerung von Ereigniszählern oder Frequenzzählern verwendet werden.

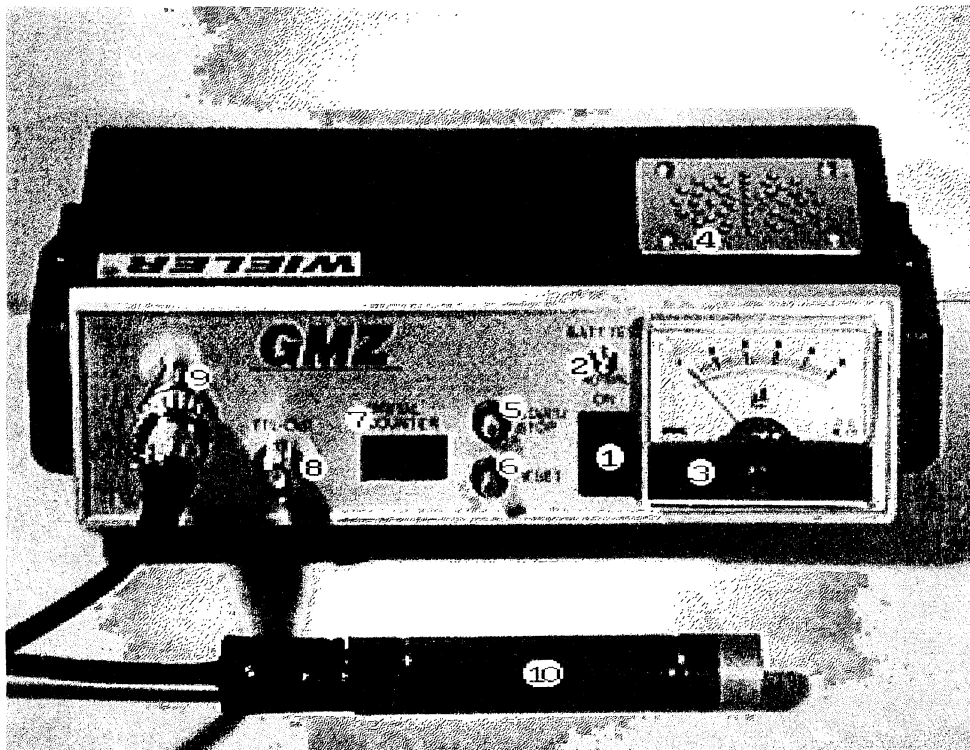
2.4 Verwendung des eingebauten Digitalzählers

Zur exakten Messung von sehr geringen Strahlungsintensitäten, wie zum Beispiel der natürlichen radioaktiven Strahlung, besitzt das Gerät einen sechsstelligen Digitalzähler, der über einen Schalter gestartet, beziehungsweise gestoppt wird und mit einem Taster auf Null zurückgestellt werden kann. Zählt man über einen längeren Zeitraum von gegebenenfalls mehreren Stunden die Zahl der Impulse, so läßt sich leicht die durchschnittliche Anzahl der Zerfälle pro Sekunde bestimmen. Dabei berechnet sich der zu erwartende Meßfehler, der durch die statistische Streuung der einzelnen Zerfälle bedingt ist, aus $100/\sqrt{N}$ (in Prozent). Je höher also die Zahl der registrierten Zerfälle N ist, desto geringer ist der zu erwartende Meßfehler. Um eine Meßgenauigkeit von 1 Prozent zu erhalten, muß demnach die Zeit gemessen werden, die vergeht, bis 10.000 Zerfälle registriert worden sind. Besonders Präzisionsmessungen an

Strahlungsquellen niedrigerer Intensität dauern dann von mehreren Stunden bis zu Tagen.

2.4 Technische Ausführung des Geräts und Erläuterung der Bedienelemente anhand einer Abbildung

Die komplette Elektronik findet in einem kompakten Gehäuse von ca. 21 x 6 x 12 cm Platz. Als Stromversorgung sind 6 wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Akkus mit einer Kapazität von 550 mAh fest eingebaut, die über eine Ladebuchse an der Seite des Geräts mit einem geeigneten Ladegerät verbunden werden können. Die folgende Abbildung zeigt das komplette Gerät von vorne:



Mit dem Hauptschalter (1) wird das Gerät ein- bzw. ausgeschaltet. Mit dem Kippschalter (2) bestimmt man, ob das Drehspulinstrument (3) zur Anzeige der Batteriespannung, oder zur Impulsfrequenzanzeige verwendet werden soll. Über den Lautsprecher (4) werden die registrierten Zerfälle als

Knacken hörbar gemacht. Der Druckschalter (5) startet und stoppt den 6-stelligen Digitalzähler (7), der mit dem Drucktaster (6) auf Null gesetzt wird. An der BNC-Buchse (7) stehen die einzelnen Impulse als +5V Rechtecksignal zur Verfügung. An der dreipoligen DIN-Buchse (9) wird das Verbindungskabel zum Zählrohr angeschlossen. Da an der Buchse eine Hochspannung von 1000 Volt anliegt, dürfen keinesfalls andere Stecker oder Geräte an diese Buchse angeschlossen werden! Das Zählrohr ist zur bequemen Messung durch ein ca. 75cm langes Verbindungskabel mit dem Gerät verbunden. Wie bereits erwähnt, ist das Zählrohr sehr empfindlich, und muß sehr achtsam behandelt werden. An den beiden Schmalseiten besitzt das Gehäuse je einen Bügel, an dem ein Trageriemen befestigt werden kann.

2.5 Schaltung des ereignisgesteuerten Intervallzeitmessers zur automatischen Impulsfrequenzbestimmung

Um präzise Langzeitmessungen automatisch durchführen zu können, wurde zusätzlich ein ereignisgesteuerter Intervallzeitmesser entwickelt, der zwischen den TTL-Ausgang des Geigerzählers und den TTL-Eingang des 8-stelligen Ereigniszählers geschaltet wird, und automatisch die Zeit mißt, die vergeht, bis eine vorher eingestellte Zahl von Zerfällen erreicht ist.

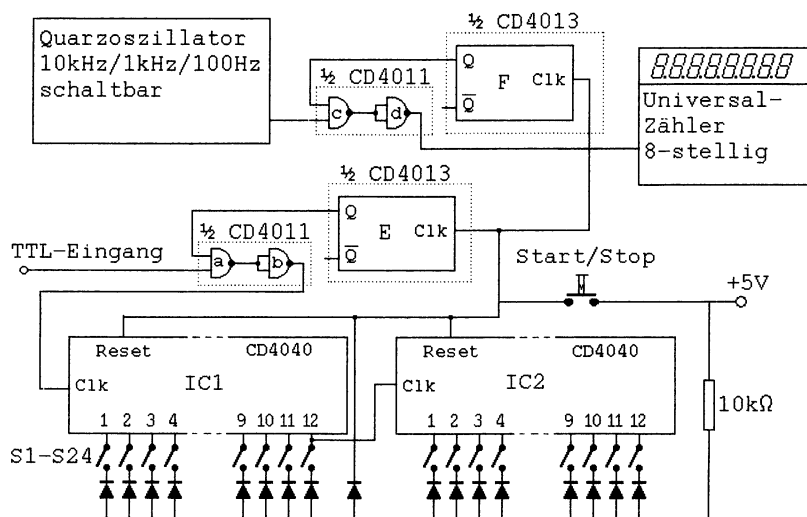


Abb.7 Impulsgesteuerte Stoppuhr

Zur Schaltung:

Die Integrierten Schaltkreise IC1 und IC2 bilden einen 24-stufigen, programmierbaren Zähler. Die Impulszahl, für die die dazugehörige Zeit gemessen werden soll, wird als Binärzahl über die Schalter S1-S24 eingegeben. Damit können also alle ganzen Zahlen von 1 bis 16.777.215 (größte 23 stellige Binärzahl) vorgewählt werden, was auf jeden Fall für alle Messungen ausreicht. Das Gerät enthält zwei elektronische Schalter, wie sie hier gezeigt sind:

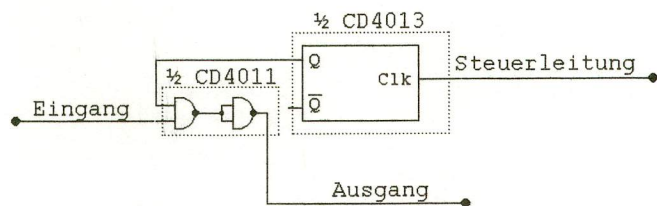


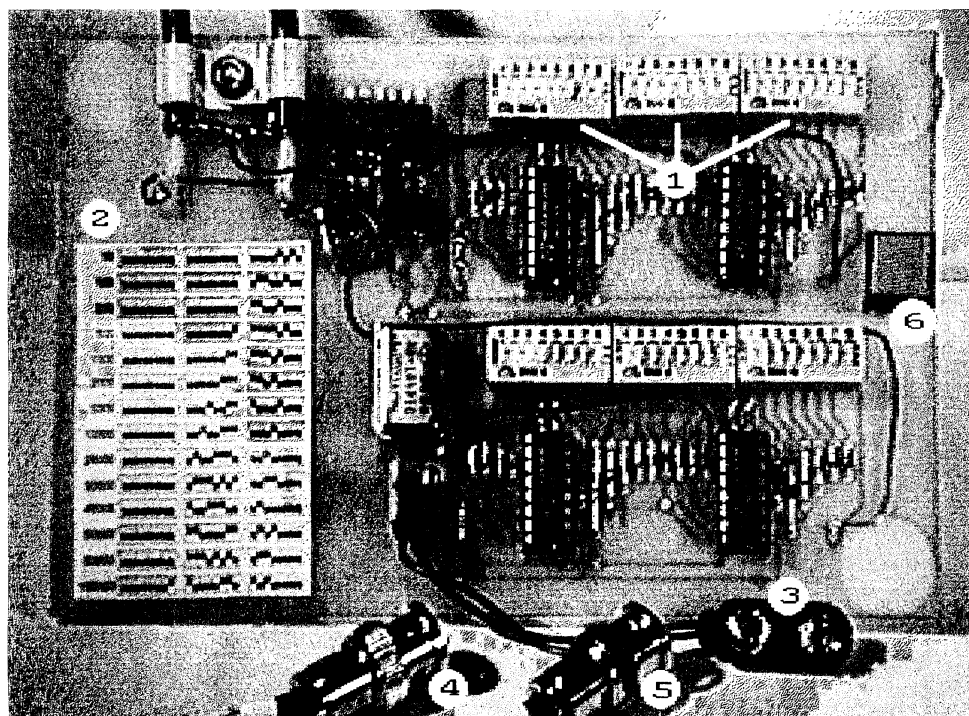
Abb.8 Schaltbild eines impulsgesteuerten Schalters

Durch einen kurzen +5V Impuls an den Steuereingang wird der Schalter geschlossen, und alle Impulse werden vom Eingang an den Ausgang weitergegeben. Durch einen weiteren Spannungsimpuls wird der Schalter wieder geöffnet, und der Ausgang liegt unabhängig von der Eingangsspannung auf 0V (Masse).

Startet man die Messung durch kurze Betätigung des Tasters, so werden beide Schalter geschlossen und die Impulse des 1 kHz Quarzgenerators werden an den Ereigniszähler weitergeleitet, und dieser arbeitet somit als Stoppuhr. Durch den anderen Schalter gelangen die Impulse des Geigerzählers an den Eingang des Binärzählers, der zuvor durch das Startsignal auf Null gesetzt wurde. Sobald die eingestellte Zahl von Zerfällen erreicht ist, liefert der Binärzähler einen kurzen Impuls, der die beiden Schalter wieder öffnet, und IC1 und IC2 auf Null zurücksetzt. Dadurch wird die Stoppuhr angehalten, und die weiteren Impulse des Geigerzählers werden ignoriert. Die gemessene Zeit kann nun in Millisekunden auf dem Ereigniszähler abgelesen werden.

2.6 Technische Ausführung des Intervallzeitmessers und Erklärung der Bedienelemente

Die komplette Schaltung ist auf einer Euroformat-Platine aufgebaut, und da die Dip-Schalter möglichst einfach zugänglich sein sollen, wurde auf ein Gehäuse verzichtet. Folgende Abbildung soll die einzelnen Bedienelemente veranschaulichen:



An den 3 jeweils 8-stelligen DIP-Schaltern (1) wird die gewünschte Impulszahl eingestellt. Dazu dient die auf der linken Seite aufgeklebte Tabelle (2), die die häufigverwendeten Zahlen bereits mit entsprechender Schalterstellung enthält. Da die Schaltung eine zusätzliche Stromversorgung benötigt, muß an dem Batterie-Clip (3) eine 9V-Blockbatterie angeschlossen werden. Der durch einen roten Ring am Kabel gekennzeichnete BNC-Stecker (4) wird mit der TTL-Ausgangsbuchse des Geigerzählers verbunden. Der andere, durch einen grünen Ring gekennzeichnete Stecker (5) wird mit dem Eingang eines Ereigniszählers verbunden. Der Taster (6) dient dazu, die Messung zu starten, bzw. vorzeitig abubrechen und den Zähler zurückzusetzen.

3 Eichung des Meßgeräts

Um sinnvolle Messungen anstellen zu können, muß das Meßgerät geeicht werden, das heißt, man muß durch ein geeignetes Verfahren feststellen, welche Impulsfrequenz einer bestimmten Dosisleistung entspricht. Mit Hilfe von Kaliumsulfat (K_2SO_4) wurde das Zählrohr hinsichtlich seines Gamma-Ansprechvermögens kalibriert. Dazu wurde das Kalibriergefäß (Kat.-Nr.559 16) der Fima Leybold verwendet, das speziell zu diesem Zweck gebaut ist.

3.1.1 Versuchsaufbau für die Eichung mit Kaliumsulfat

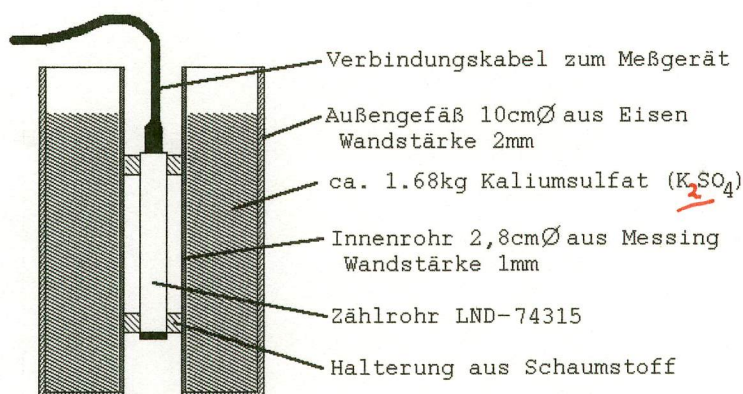


Abb.10 Schematische Darstellung der Meßanordnung
(im Querschnitt)

Es handelt sich um ein zylindrisches Eisengefäß von 10 cm Durchmesser, 18 cm Höhe und einer Wandstärke von 2mm. In dieses Gefäß ist ein zweiter Zylinder aus Messing von 2,8cm Durchmesser und einer Wandstärke von 1mm eingesetzt. Der Raum zwischen dem äußeren und dem inneren Zylinder wird bis zur Markierung mit Kaliumsulfat aufgefüllt. Der innere Messingzylinder ist zur Aufnahme des Zählrohres bestimmt, das über ein Kabel mit dem Meßgerät verbunden ist.

3.1.2 Erläuterung der Meßmethode

Die Impulse, die in dem Zählrohr angezeigt werden, rühren von der Gammastrahlung des radioaktiven Isotops K^{40} her, das zu 0,012%, bezogen auf den Kaliumanteil, in natürlichen Kaliumverbindungen enthalten ist. Die Betastrahlung des K^{40} wird vollständig durch die 1mm dicke Messingwand absorbiert. Nach Vergleichsmessungen mit Radium-Standardpräparaten entspricht die Gammastrahlung des K^{40} im Inneren des Kalibriergefäßes einer Ionendosisleistung von 26 μ R/h. Zur Eichung wird nun die Impulsfrequenz des Zählrohres im Kalibriergefäß, sowie auch der Nulleffekt ermittelt.

3.1.3 Auswertung der Ergebnisse

Die Differenz der beiden Impulsfrequenzen entspricht also einer Dosisleistung von 26 μ R/h. Allerdings ist die Einheit Röntgen/Stunde nicht mehr offiziell zulässig, und die Ionendosisleistung wird in Ampere/Kg angegeben. Der Umrechnungsfaktor beträgt 1R/h = 2.58 nA/kg, und damit errechnet man eine Ionendosisleistung von 67.1 fA/Kg (10^{-15} A/kg) im Inneren des Kalibriergefäßes. Die über dem Nulleffekt gemessene Zählrate des Zählrohres entspricht also genau 67,1 fA/kg, und da Dosisleistung und Impulsfrequenz des Zählrohres in weiten Bereichen linear zusammenhängen, läßt sich das Meßgerät somit eichen. Erst bei hohen Strahlungsintensitäten von über 10.000 registrierten Zerfällen pro Minute ergeben sich bedeutsame Meßfehler aufgrund der Zählrohrtotzeit.

Bei der Durchführung des Versuchs lieferte das Zählrohr im Inneren des Kalibriergefäßes 68.5 Impulse pro Minute, und der Nulleffekt lag bei 32.3 Impulsen pro Minute. Die Differenz, also 36.2 Impulse pro Minute, entsprechen einer Dosisleistung von 67,1 fA/kg, oder 100 Impulse pro Minute einer Dosisleistung von 185,4 fA/kg. Diese Eichung gilt mit ausreichender Genauigkeit für alle Gamma-Strahler mit

Quantenenergien von über 1 MeV, jedoch nicht für Röntgenstrahlung im technischen Bereich.

3.2 Erläuterungen zur Zählrohreichkurve des Datenblattes

Das zum Zählrohr gelieferte Datenblatt, das eine komplette Eichkurve enthält, dient dazu, die Dosisleistung zu bestimmen, wenn die Quantenenergie der zu messenden Strahlung bekannt ist. Allerdings gilt die Eichkurve nur dann, wenn die Strahlung senkrecht zur Zählrohrachse einfällt. Dies ist nur dann der Fall, wenn eine örtlich scharf begrenzte Strahlungsquelle aus einiger Entfernung gemessen wird. Bei der Messung des Nulleffekts ist diese Eichkurve nicht ohne weiteres anwendbar, da die Strahlung aus allen Richtungen eintrifft.

3.3 Ausmessung der Spannungs-Impulsfrequenz-Charakteristik des Zählrohres und graphische Darstellung

Ein Maß für die Güte eines Zählrohres ist die sogenannte Plateausteilheit, d.h. der Einfluß, den eine Änderung der Zählrohrspannung auf die Impulsrate hat. Zur Ausmessung des Plateaus wurde die Zählrohrspannung bei konstanter Bestrahlung des Zählrohres von 700 - 1100 Volt stufenweise erhöht, jeweils die zugehörige Impulsfrequenz ermittelt. Das Meßergebnis kann folgendermaßen graphisch dargestellt werden:

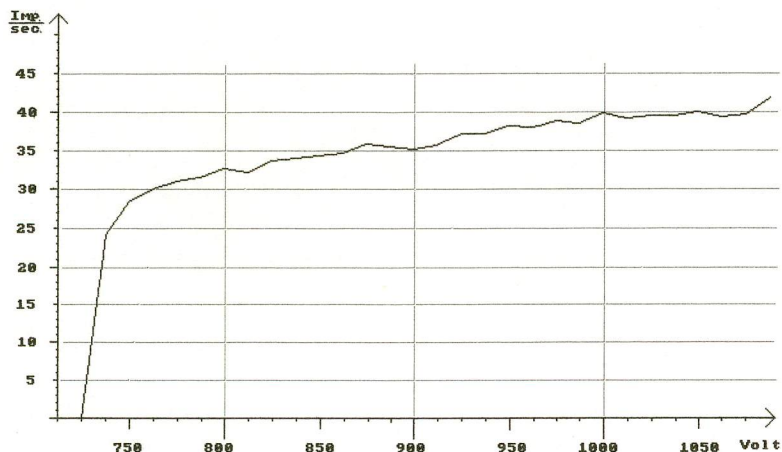


Abb.11 Spannungs-Impulsfrequenz-Charakteristik des verwendeten Zählrohres

Es zeigt sich, daß eine Mindestspannung von ca. 760 Volt erforderlich ist. Ab 950 Volt steigt die Kurve nur noch sehr gering, und der günstigste Arbeitspunkt liegt bei etwa 1000 Volt. Die Spannung darf keinesfalls über 1200 Volt erhöht werden, da sonst das Zählrohr durch Dauerentladung zerstört werden kann. Im Bereich von 950 - 1050 Volt beträgt die durchschnittliche Plateausteigung etwa .04% pro Volt, was durchaus mit anderen hochwertigen Zählrohren vergleichbar ist.

4.1 Praktische Anwendung des Geiger-Müller-Zählers zur Messung der Gamma Strahlung am Aufbewahrungsschrank für radioaktives Material am Pestalozzi-Gymnasium

Als Beispiel für eine Messung wurde die Gamma-Dosisleistung an der Oberfläche des Aufbewahrungsschranks für radioaktives Material am Pestalozzi-Gymnasium bestimmt. Dazu wurde das Zählrohr in geringem Abstand zur Oberfläche des Schrankes befestigt, und mit Hilfe des Intervallzeitmessers die Zeit ermittelt, in der 10.000 Zerfälle registriert werden. Der aufgrund der statistischen Streuung zu erwartende Meßfehler beträgt genau 1% (1 geteilt durch Wurzel 10.000), und der Versuch wurde mehrfach durchgeführt. Es ergaben sich Meßzeiten von 143.16; 143.29; 144.74 und 143.07 Sekunden. Der arithmetische Mittelwert dieser 4 Messungen beträgt 143.57 Sekunden, und damit die durchschnittliche Impulsfrequenz 69.95 Imp/sek bzw. 4179 Imp/min. Zieht man davon den Nulleffekt von 32.75 Imp/min (gemessen mit 0.5% Fehler) ab, verbleiben 4146 Imp/min, die von den radioaktiven Präparaten im Aufbewahrungsschrank herrühren. Da der Strahlungseinfall auf das Zählrohr weitgehend senkrecht zur Zählrohrachse erfolgt, kann zur Dosisberechnung die Eichkurve des Datenblattes verwendet werden. Die Quantenenergien der verwendeten Präparate liegen alle im Bereich über 1 MeV. Laut Eichkurve entsprechen bei dieser Energie 600 registrierte Zerfälle einer Dosisleistung von 1 mR/h, also beträgt die gemessene

Strahlung mit 4179 Imp/min etwa 6.9 mR/h oder umgerechnet 494 pA/kg.

4.2 Qualitative Beurteilung der Meßergebnisse

Die Strahlenbelastung an der Schrankoberfläche beträgt also ca. das 130-fache der natürlichen Umgebungsstrahlung. Obwohl die gemessene Strahlendosis noch keine sofort nachweisbare Zellschädigung hervorruft, sollte dennoch eine längere Strahlenexposition vermieden werden, da bekanntlich jede Strahlenbelastung das Risiko einer Krebserkrankung erhöht. Da die Gamma-Strahlung durch das 0.7 mm starke Eisenblech des Schrankes nur unwesentlich abgeschwächt wird, sollte man vor allem die stark strahlenden Präparate in einer speziellen Blei-Abschirmung aufbewahren, oder sich zumindest nicht länger als unbedingt notwendig in unmittelbarer Nähe der Präparate aufhalten.

Datenblatt zum LND-74315 Zählrohr

Spezifikationen:

Meßbare Strahlung: Gamma über 12 keV
Beta über 200 keV

Arbeitsspannung: größer 900 Volt

Energieabhängigkeit: siehe Eichkurve

Zulässige Temperatur: -50°C bis +85°C

Zulässiger Druck: < 107 kPa

Zulässige Feuchtigkeit: 0 bis 95% r.F.

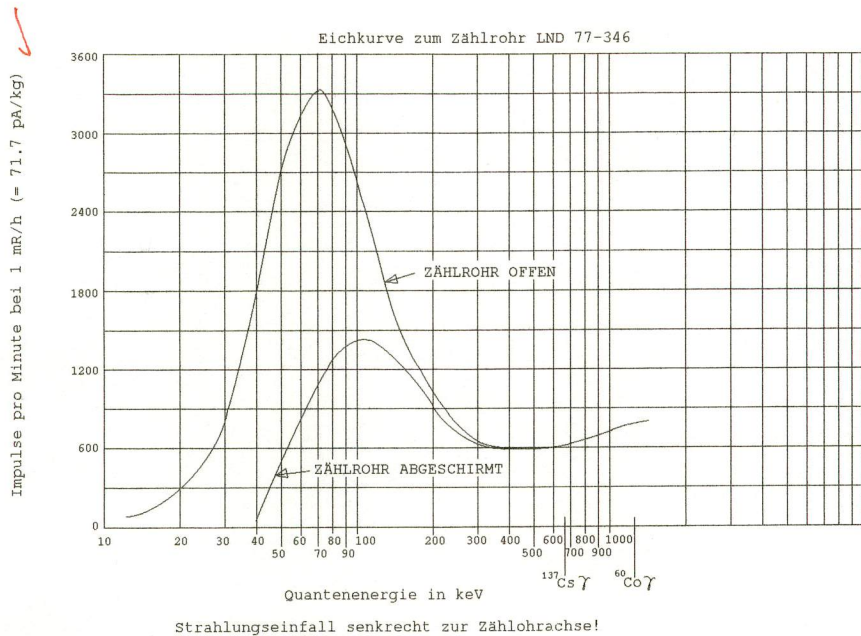
Mechanische Daten:

Wandmaterial: Edelstahl, 30 mg/cm²

Länge: Aktives Volumen von 15,9 mm Durchmesser mal 34.9 mm Länge für Gamma-Strahlung.
Für Beta-Strahlung beträgt die aktive Länge 19 mm.

Füllgas: Halogen

Lebenserwartung: größer 5 x 10¹⁰ Impulse



Literaturverzeichnis:

Fellmann, S., Radioaktivität - Entstehung, Messung, Wirkung
Leer, Elektronik-Literatur-Verlag, 1986

Haury, H., Ullmann, C., Leben nach Tschernobyl!, München
Paul List Verlag, 1986

Karamanolis, S., Radioaktivität und was dahinter steckt,
München, Elektra Verlags GmbH, 1988

Orlowski, P., Analogschaltungen der Meß- und Regeltechnik,
Würzburg, Vogel Buchverlag, 1987, 2.Auflage

Petzold, W., Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz,
Stuttgart, Teubner Verlag, 1983

Stolz, W., Messung ionisierender Strahlung : Grundlagen und
Methoden, Weinheim, Physik-Verlag, 1985

Zierl, R., Elektronik für den Umweltschutz, Stuttgart, Tele-
kosmos-Verlag-Franckh, 1981

Ich erkläre, daß ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe
angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis
angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

Taufkirchen, den 28.1.1990

Tobias Wieler
Tobias Wieler