

M. Bindhammer

Geiger-Müller-Zähler

1. Das Geiger-Müller-Zählrohr

Beim Geiger-Müller-Zählrohr, kurz GM-Zählrohr, handelt es sich um einen der ältesten Detektortypen für Radioaktivität, die immer noch in Gebrauch sind. Bereits 1913 konstruierte der deutsche Physiker Johann Geiger das Spitzenzählrohr, mit dem er die nur gering ionisierenden β -Teilchen sicher nachgewiesen konnte und schuf damit die Voraussetzung für das GM-Zählrohr, das er mit seinem Doktoranden Walther Müller 1928 entwickelte und ein Jahr später der Öffentlichkeit vorstellte.

1.1 Mechanischer Aufbau

Der Hauptbestandteil des GM-Zählrohres ist ein Metallzylinder aus Kupfer, Eisen oder Aluminium. Manchmal wird auch ein Glasrohr verwendet, an dessen Innenfläche Metall aufgebracht ist. Der Metallzylinder bildet die meist auf Erdpotential liegende Kathode. In der Achse des Zylinders befindet sich ein sehr dünner Metalldraht aus Wolfram, Molybdän oder Eisen, der vom Metallzylinder isoliert ist und als Anode dient. Ist der Metalldraht nicht durchgehend ausgebildet, sondern endet im Metallzylinder, wird die Endfläche des Drahtes im Zylinder durch Aufschmelzung zur Kugel vergrößert, um ungewollte Spitzenentladungen zu vermeiden.

Teurere GM-Zählrohre besitzen ein strahlendurchlässiges Endfenster, das zum Beispiel aus Glimmer, Mylar oder Nylon besteht, kostengünstigere Typen besitzen kein solches Fenster. Da α -Strahlung bereits von einem Blatt Papier vollständig absorbiert wird, ist eine Detektion von α -Strahlung nur mit einem Endfenster-Zählrohr möglich; β - und γ -Strahlung kann mit beiden Zählrohrtypen nachgewiesen werden.

Im Inneren des Metallzylinders befindet sich ein unter geringem Druck von ca. 200 hPa absolut ein Edelgas, dem man geeignete Substanzen beigibt, um die Zählrohreigenschaften zu optimieren. Durch die in der Entladung entstehenden Ionen oder auch durch dabei entstehendes ultraviolettes Licht können aus der Zählrohrwand Sekundärelektronen austreten, die die Entladung unabhängig von der ionisierenden Strahlung aufrechterhalten. Dadurch sind weitere Zusätze wie Alkohol-, Jod-, Bromdampf oder Chlorgas nötig, um die Zählrohrentladung zu löschen. Da sich die Löschzusätze beim Betrieb verbrauchen, wird das Zählrohr nach einer bestimmten Anzahl von Impulsen unbrauchbar. Typische GM-Zählrohre haben eine Lebensdauer-Erwartung von etwa 10^9 Impulsen. Bei so genannten Durchflusszählrohren wird dieser Nachteil vermieden, indem man aus einer Vorratsflasche ständig frisches Zählgas durch das Zählrohr strömen lässt, wodurch man gleichmäßig optimale Betriebsbedingungen erhält. Jedoch ist ein Durchflusszählrohr für den mobilen Einsatz sehr umständlich.

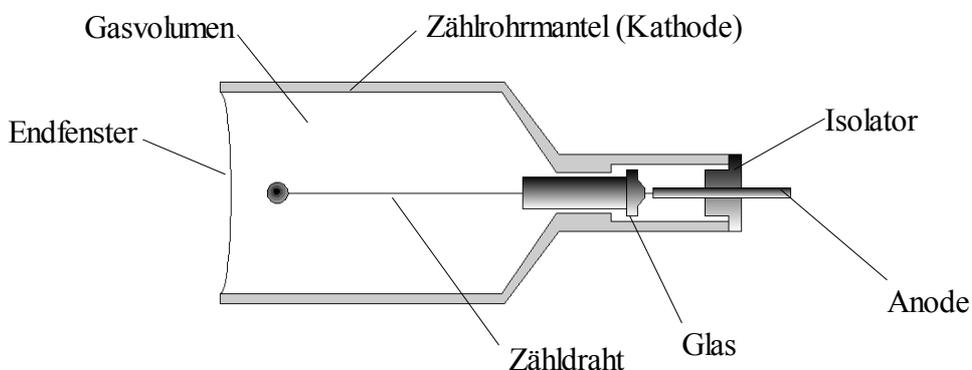


Abb. 1 Schematischer Aufbau eines Endfenster-Zählrohres

1.2 Funktionsweise

Tritt ionisierende Strahlung in das Zählrohr ein, so werden Edelgasatome im Inneren ionisiert, wobei positive Edelgasionen und freie Elektronen entstehen. Aufgrund der elektrischen Feldkraft werden die freien Elektronen zum Zählrohr hin beschleunigt und gewinnen dabei genug kinetische Energie, um weitere Edelgasatome zu ionisieren. Dieser Mechanismus wird als Gasverstärkung bezeichnet und bewirkt, dass eine Lawine von Elektronen die Anode erreicht. Dadurch kommt es zwischen Anode und Kathode zu einem kurzzeitigen Stromfluss, was am Arbeitswiderstand zu einem Spannungsabfall führt (Ohmsches Gesetz: $U=R \cdot I$). Der Spannungsimpuls wird über einen Entkoppelungskondensator an einen Verstärker mit nachgeschaltetem Zähler übertragen. Der Entkoppelungskondensator verhindert, dass die für das Zählrohr notwendige Hochspannung direkt am Eingang des Verstärker anliegt, was ihn zerstören würde. Oftmals wird auch eine andere Schaltungsvariante verwendet und der Impuls über einen Ableitwiderstand an der Kathode abgegriffen.

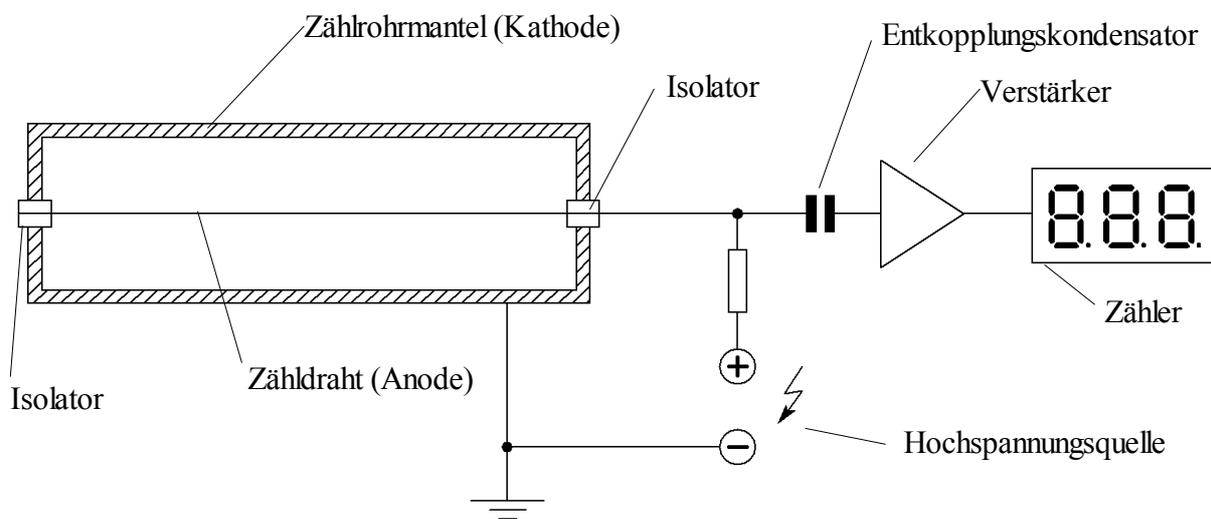


Abb. 2 Prinzipskizze eines Geiger-Müller-Zählers

1.3 Arbeitsbereiche von Zählrohren

Die Gasionisationsdetektoren Ionisationskammer, Proportionalzählrohr und Geiger-Müller-Zählrohr unterscheiden sich nicht prinzipiell in ihrer Arbeitsweise. Die Charakteristik eines Zählrohres hängt vor allem von der Spannung ab, die zwischen Anode und Kathode anliegt.

Tritt ionisierende Strahlung in das Zählrohr ein, so wird das Zählgas längs der Teilchenbahn ionisiert. Die Anzahl der freiwerdenden Elektronen ist dabei proportional zur Energie der einfallenden Strahlung. Ist die Spannung zwischen Anode und Kathode jedoch zu gering, rekombinieren ein Teil der Elektronen auf dem Weg zur Anode wieder in dem Zählgas und das Signal gibt keine Aussage über die Art der Strahlung (Rekombinationsbereich).

Erhöht man die Spannung entsprechend, werden irgendwann alle primär freigewordenen Elektronen die Anode erreichen. Der gemessene Strom ist damit proportional zur Energie der eintretenden Strahlung. Beispielsweise arbeiten Ionisationskammern zur Messung der primären Dosisleistung der Strahlung in diesem Bereich. Erhöht man die Spannung weiter, besitzen die Primär-Elektronen so viel Energie, um Zählgas-Atome zu ionisieren. Der gemessene Strom ist aber weiter proportional zur Energie der einfallenden Strahlung (Proportionalbereich).

Bei nochmaliger entsprechenden Spannungserhöhung löst dann jedes einfallende Teilchen eine La-

wine von Sekundärteilchen aus, die das Zählrohr sättigt, d. h. jedes einfallende Teilchen erzeugt unabhängig von seiner Energie den gleichen Strom. Dieser Bereich, auch Plateau- oder Geiger-Mül-

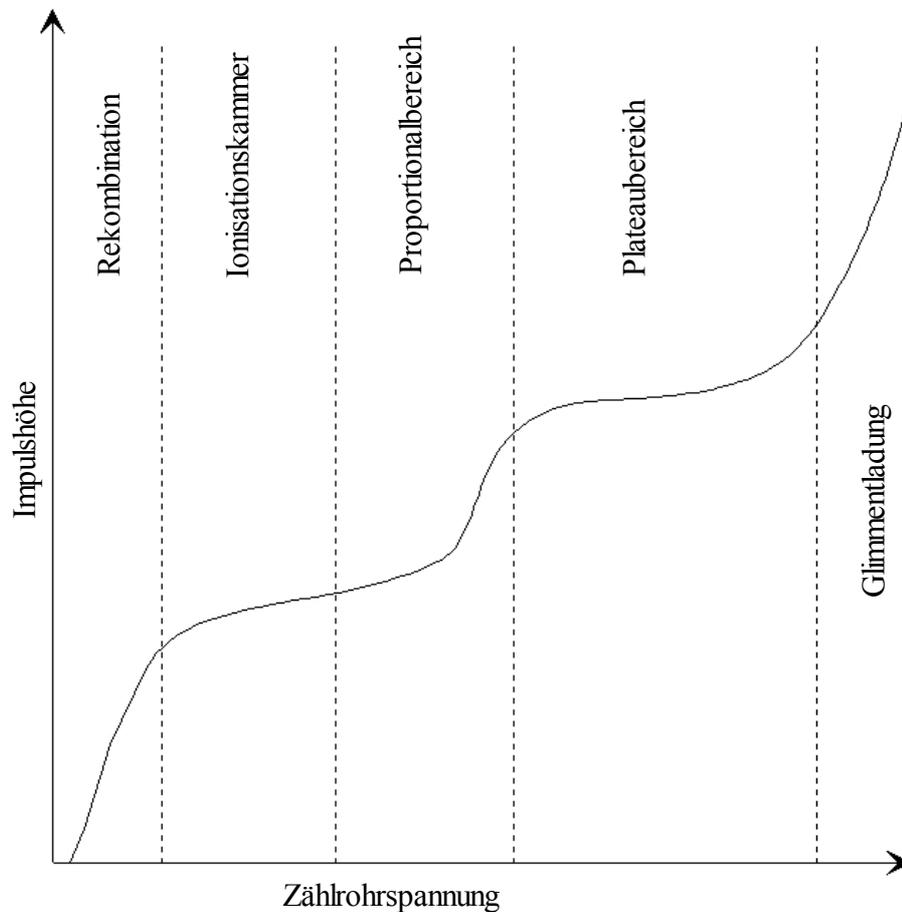


Abb. 3 Zählrohrcharakteristik (nicht maßstäblich)

ler-Bereich genannt, ist der eigentliche Zählbereich. Die Arbeitsspannung eines GM-Zählrohres wird dabei in das untere Drittel des Plateaus gelegt; es gilt etwa: Arbeitsspannung $U_A =$ Einsatzspannung $U_E + 100$ V. Oberhalb des Plateaus beginnt dann der Glimmentladungsbereich, der beim Arbeiten mit dem GM-Zählrohr vermieden werden muss, da dieses sonst unweigerlich zerstört wird.

1.4 Totzeit

Unmittelbar nach dem Auslösen einer Gasentladung kann das Zählrohr für etwa 0,1 Millisekunden keine weiteren einfallenden Teilchen detektieren. Dies bezeichnet man als Totzeit. Der Grund liegt darin, dass die nach der Ionisation positiv geladenen Zählgas-Ionen das elektrische Feld von der Anode abschirmen. Der Prozess kann erst dann von neuem beginnen, wenn die Zählgas-Ionen zur Kathode abgewandert sind und der Halogen-Zusatz die Zählrohrentladung gelöscht hat.

Die Totzeit ist abhängig von der Spannung, der Größe des Zählrohres und der Zusammensetzung des Zählgases. Bei bekannter Größe der Totzeit des GM-Zählrohres lässt sich durch die Formel

$$M = \frac{M'}{1 - T \cdot M'}$$

eine Korrektur für die nicht gezählten Teilchen ermitteln, wobei M die tatsäch-

liche Zählrate, M' die gemessene Zählrate und T die Totzeit des GM-Zählrohres ist.

3. Geiger-Müller-Zähler

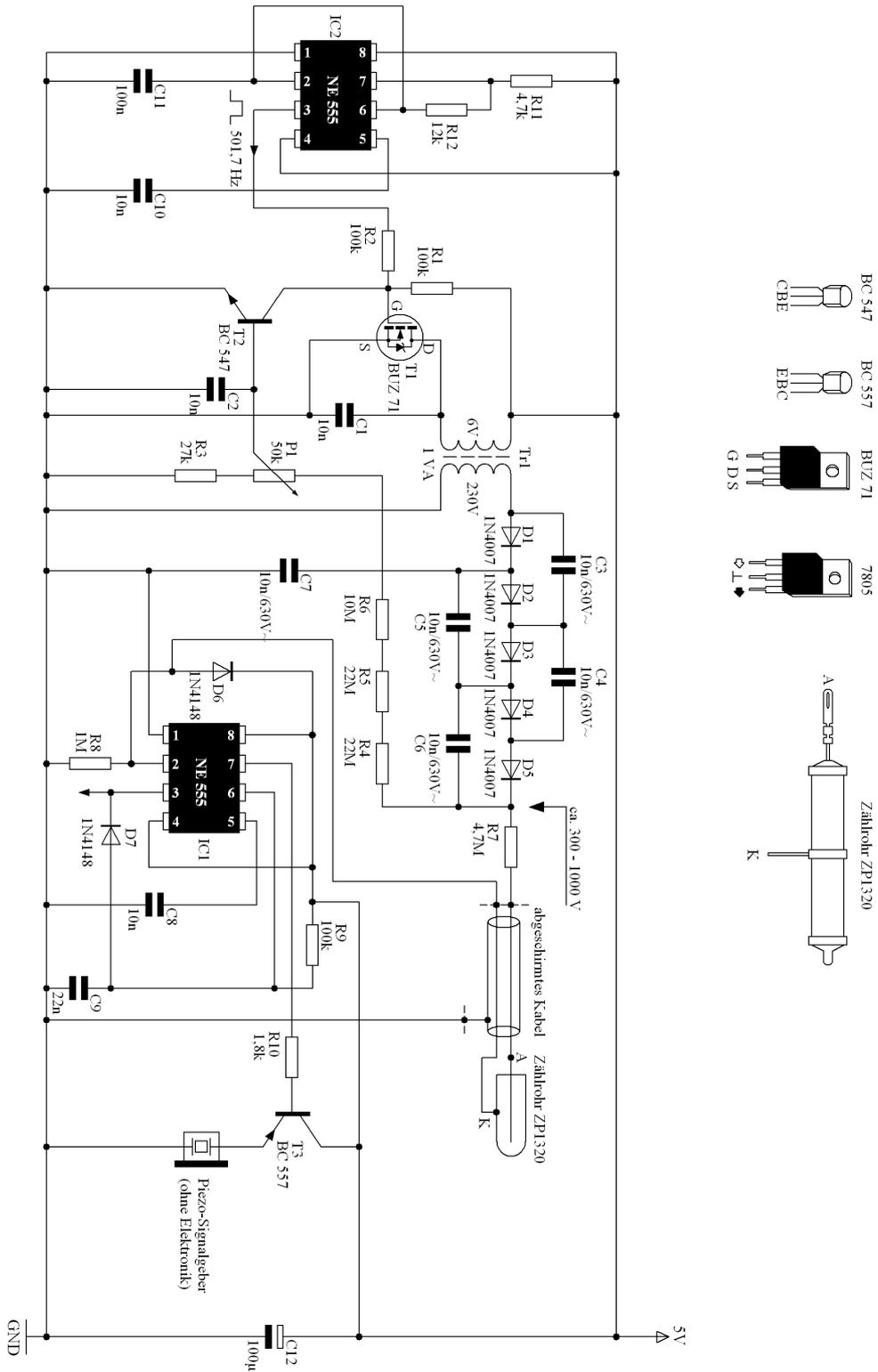


Abb. 4 Schaltplan Hochspannungswandler und Impulsverstärker

Abb. 4 und 5 zeigt den Schaltplan eines Geiger-Müller-Zählers. Zur Hochspannungserzeugung wird ein 230-6V-Trafo „verkehrt herum“ betrieben. Die 6V-Wicklung wird vom MOSFET T1 gegen Masse gezogen, der von dem als Rechteckgenerator beschalteten IC2 über R2 angesteuert wird.

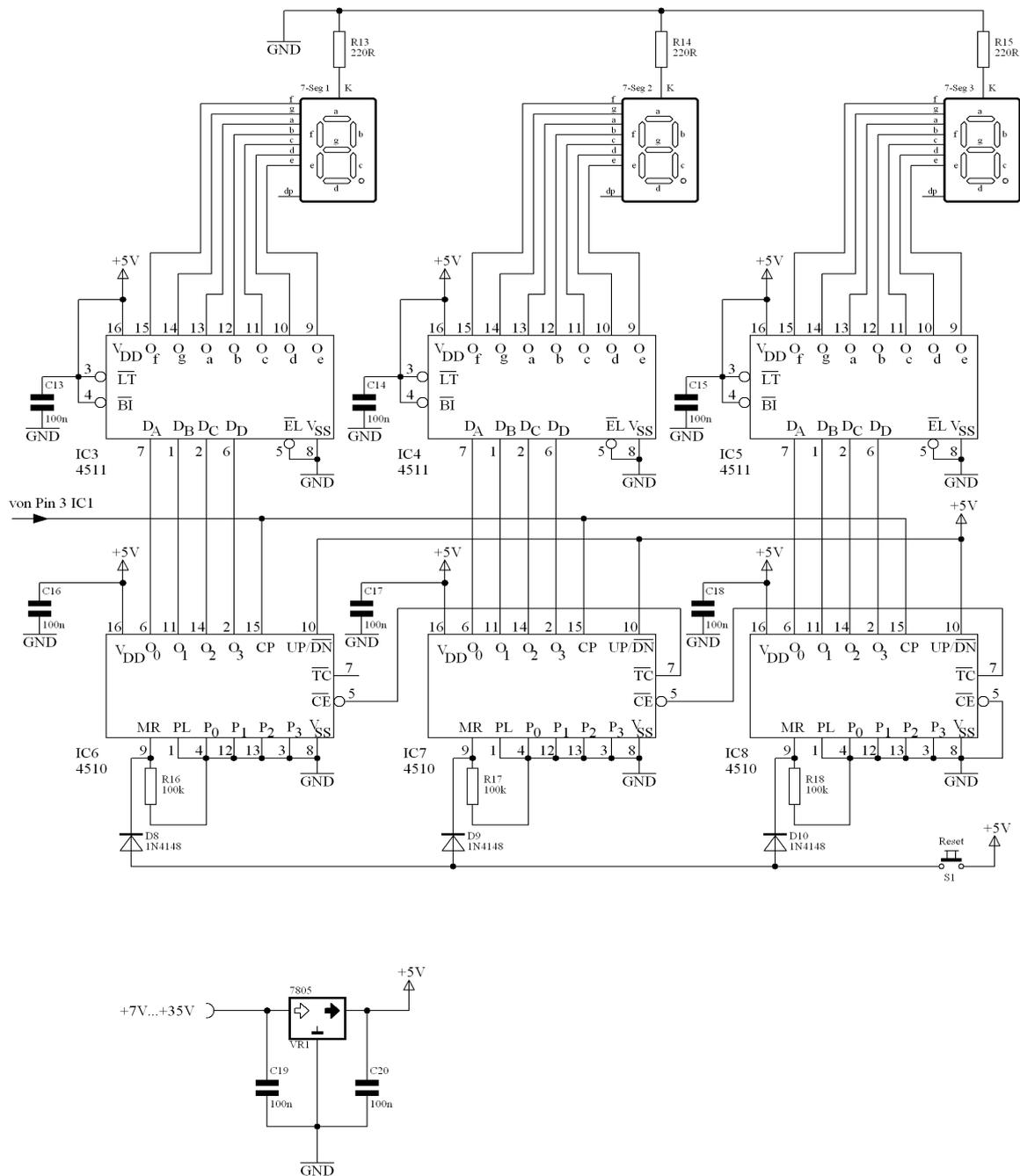


Abb. 5 Schaltplan digitaler Ereigniszähler

Die an der Primärseite entstehenden Spannungsspitzen werden durch eine Dioden-Kondensator-Kaskade vervielfacht, so dass über 1000 Volt Gleichspannung entstehen. Hierbei wird die Speicherkapazität der Kondensatoren ausgenutzt, indem jeder Kondensator mit den Spannungsspitzen des Transformators aufgeladen wird. Die Dioden dienen dazu, die jeweiligen Kondensatoren im richtigen Moment mit der richtigen Polarität aufzuladen.

R3-R6 sowie P1 bilden einen Spannungsteiler, über den die Hochspannung auf die Basis des

Transistors T2 gegeben wird. Überschreitet die Hochspannung einen über P1 eingestellten Wert, schaltet T2 durch und sperrt somit T1. Die Hochspannung sinkt, bis die Schaltschwelle des Transistors erneut überschritten wird.

Über den Schutzwiderstand R7 liegt die Zählrohr-Anode an der Hochspannung an. Als Zählrohr kommt zum Beispiel das ZP 1320 in Frage, das man bei Schuricht momentan für etwa 75€ erhält. Das Neon-Halogen-gefüllte Glasmantel-Zählrohr hat laut Datenblatt eine minimale Totzeit von 45 μ s und ist für eine Betriebsspannung von etwa 450-600 Volt ausgelegt.

Tritt nun ionisierende Strahlung in das Zählrohr ein, entsteht am Ableitwiderstand R8 ein Spannungsimpuls, der von IC1 verstärkt wird. Die verstärkten Impulse werden an Pin 3 und 7 des IC1 ausgegeben. Bei jedem Impuls wird über Pin 3 T3 getriggert, und aus dem Piezo-Signalgeber tönt ein lautes Knacken. Über Pin 7 wird ein Ereigniszähler angesteuert, der aus drei 4-Bit-Dezimalzählern (IC6/ IC7/IC8), drei BCD-zu-7-Segment-Decoder (IC3/ IC4/IC5) sowie drei 7-Segment-Anzeigen mit gemeinsamer Kathode besteht. Die 7-Segment-Anzeigen sind Low-current -Typen (z. B. SC 39-11 GN von Reichelt). Die einzelnen Segmente leuchten auch dann noch ausreichend hell, wenn sie mit nur einem Vorwiderstand über die Kathode betrieben werden, was 18 zusätzliche Vorwiderstände erspart.

Resetet werden kann der Zähler über den Taster S1. Für manche Anwendung kann es sinnvoll sein, dass abwärts gezählt wird. Hierfür muss lediglich Pin 10 der drei 4-Bit-Dezimalzähler auf Masse (0 Volt) gelegt werden. Sind drei Stellen für eine etwaige Anwendung nicht ausreichend, kann der Zähler beliebig erweitert werden. Dazu fügt man einfach weitere Zähler-ICs an IC6 an und beschaltet sie, wie IC 6 zu IC7 bzw. IC 6 zu IC3 und der entsprechenden Segmentanzeige beschaltet ist.

Die gesamte Schaltung kann über Batterie oder Akku versorgt werden. Zur Spannungsstabilisierung dient der Festspannungsregler VR1, der bei einer Eingangsspannung zwischen 7 und 35 Volt eine Ausgangsspannung von 5 Volt (\pm 0,2 V) liefert. Ein Kühlkörper für den Festspannungsregler ist nicht erforderlich.

Bevor das Zählrohr an die Elektronik angeschlossen wird, ist es unbedingt erforderlich, mittels P1 und einem Multimeter mit ausreichendem Messbereich in etwa die Arbeitsspannung des Zählrohres einzustellen. Ist das Zählrohr nicht auf der Platine selbst untergebracht, muss ein abgeschirmtes Kabel verwendet werden, da sonst Störungen vorprogrammiert sind oder die Kapazität der Anschlussleitung sogar ausreicht, um das Zählrohr zu zerstören. Um Berührungen mit hochspannungsführenden Teilen und Beschädigung des sehr empfindlichen Zählrohres zu vermeiden, sollte das Zählrohr in einem passenden mit Schaumstoff ausgefüllten Kunststoff- oder Metallröhrchen untergebracht werden, in das man Löcher bohrt, so dass die Strahlung eindringen kann. Abb. 6 zeigt einen Aufbauvorschlag für das ZP 1320.

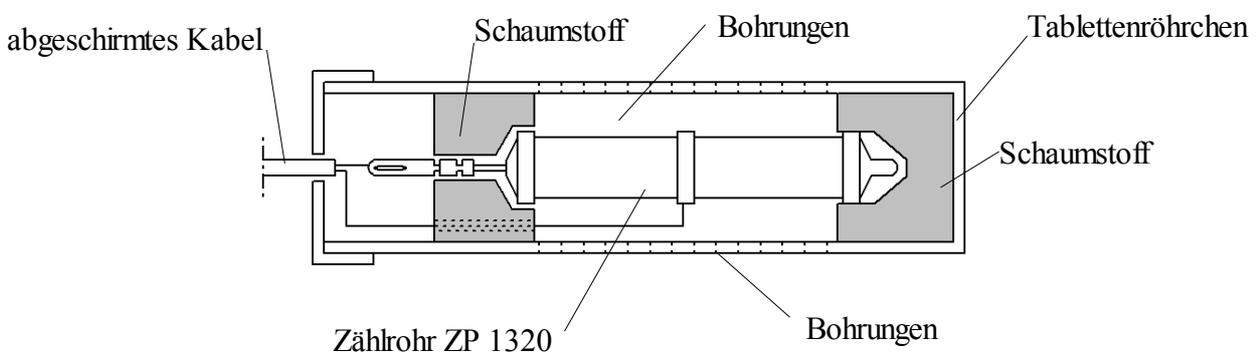


Abb. 6