

Bauanleitung für einen klassischen Geiger-Müller Zählrohr-Zähler

Bernd Laquai, 9.3.13, Update 26.7.2018

Auch wenn es heute kostengünstigere und ungefährlichere Alternativen gibt, erfreut sich der klassische Geigerzähler immer noch großer Beliebtheit. Das liegt an dem historischen Flair das ihn umgibt. Es gibt allerdings auch heute noch Situationen, da ist er den Halbleiterzählern überlegen. Das gilt vor allem für die Zählgeschwindigkeit, wenn ein statistisch einigermaßen sicherer Messwert schnell gewonnen werden muss. Das liegt an der normalerweise deutlich größeren aktiven Fläche des Detektors.

Die Grundschaltung

Der klassische Geigerzähler verwendet ein Geiger-Müller Zählrohr als Detektor. Wesentliche Merkmale eines solchen Zählrohrs sind ein dünner Draht als innere Elektrode und eine Gasfüllung bei niedrigem Druck. Mit dem dünnen Draht erreicht man vor allem in der Nähe des Drahts eine sehr hohe elektrische Feldstärke, mit der ionisierte Gasmoleküle enorm beschleunigt werden können, so dass sie so viel Energie aufnehmen, bis sie selbst andere Gasmoleküle ionisieren können. Wenn also ein Strahlungsquantum ins Zählrohr eindringt, dann ionisiert es dort Gasmoleküle, die seinerseits weitere Gasmoleküle ionisieren, so dass ein lawinenartiger Anstieg von Ladungsträgern entsteht. Wenn der Strom von außen begrenzt ist, dann bricht das elektrische Feld im Zählrohr schließlich zusammen und der Stromfluss wird damit zeitlich auf einen kurzen Impuls begrenzt. Damit sich nun wieder ein starkes elektrisches Feld aufbauen kann, braucht man eine Hochspannungsquelle, welche die Ladung nachliefert, die durch die Ladungsträger-Lawine verloren ging. Im Hinblick auf die hohe Spannung und die lawinenartige Ionisation ähnelt ein Geiger Müller-Zählrohr also einer Blitzröhre oder einer anderen Gas-Entladungsröhre.

Aus diesem Prinzip ergibt sich auch das grundsätzliche Blockdiagramm eines Zählrohr-Zählers. Man braucht zu dem eigentlichen Zählrohr noch eine Hochspannungsquelle, einen Impulsverstärker und eine Impuls-Verlängerungsschaltung, damit die Ladungsträger-Lawine auch zu einem hörbaren Knacks im Lautsprecher wird.

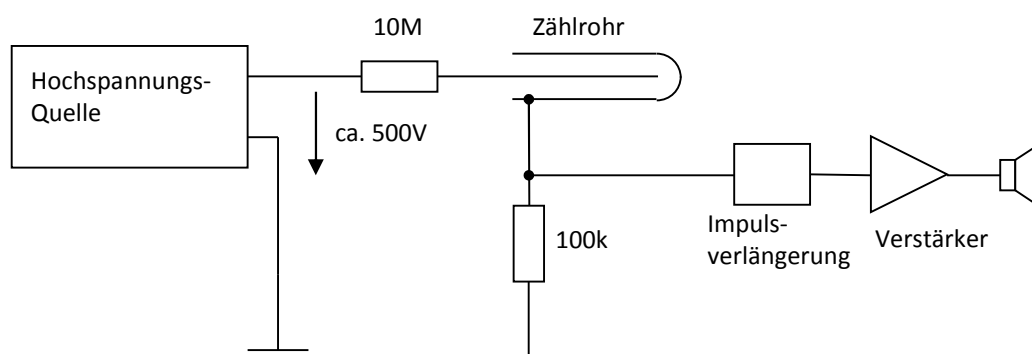


Abb. 1: Grundschaltung des klassischen Geigerzählers

Die meisten Zählrohre benötigen zwischen 400 und 500V an Hochspannung um zuverlässig zu arbeiten. Diese Hochspannung sollte auch in Bezug auf die Spannung einigermaßen stabil sein, damit man reproduzierbare Zählraten erhält. Eine hohe Leistung (hoher Strom) ist nicht

nötig, da das Zählrohr sehr hochohmig ist und die Ladung für eine Ladungslawine begrenzt werden sollte um das Zählrohr nicht zu schädigen.

Für die Zeit des Stromflusses durch das Zählrohr (Dauer einige 10µsec) ist das Zählrohr relativ niederohmig, so dass der Vorwiderstand zusammen mit dem Sense-Widerstand am Eingang des Impulsverlängerers einen Spannungsteiler bildet. Er definiert einerseits die Stärke des Stromflusses und andererseits die Spannung, welche am Eingang des Verstärkers entsteht. Bei direkter DC-Kopplung des Verstärkers und wenn dieser einen hohen Eingangswiderstand hat, empfiehlt sich hier natürlich eine zusätzliche Spannungsbegrenzung vorzusehen um den Eingang zu schützen. Das gleiche gilt, wenn hier direkt der Eingang eines Logikgatters angeschlossen werden soll. Man kann natürlich auch anstelle des 100k Eingangswiderstands die Basis-Emitter Strecke eines Darlington-Verstärkers benutzen, der die Spannung automatisch auf 0.7V begrenzt, sobald ein Strom fließt.

Wenn nun eine maximale Zählrate bekannt ist und die Dauer eines Zählimpulses bekannt ist, kann man daraus die benötigte Leistung aus der Hochspannungsquelle berechnen. Man erkennt gleich, dass keine hohen Leistungen nötig sind. Dennoch empfiehlt es sich aus der Hochspannungsquelle eine kleine Kapazität (ca. 10-500nF) zu laden, welche die Statistik der Zählimpulse ausgleicht und so sicherstellt, dass die Spannung der Quelle nicht gleich zusammenbricht, wenn ein paar Zählimpulse zufällig rasch aufeinander eintreffen.

Wenn das Ziel ist die Zählimpulse wie in guter alter Zeit als Knacks in einem Lautsprecher hörbar zu machen, steht man erst mal vor dem Problem, dass kein Mensch einen 50µs Impuls hören kann, auch wenn die Amplitude an sich groß genug wäre. Auch die meisten Ohrhörer oder Lautsprecher hätten damit etwas Probleme. Deswegen empfiehlt es sich den Impuls mit einer Kapazität parallel zum Sensewiderstand auf eine Millisekunde oder mehr zu verlängern, so dass man auch einige tiefe Frequenzen und damit mehr hörbare Energie hinter dem Impuls hat. Allerdings sollte man den Impuls nicht zu lange machen, da das einerseits eine Totzeit erzeugt, in der man keinen zweiten Impuls registrieren kann und womit man auch meist den Stromverbrauch unnötig erhöht.

Die Erzeugung der Hochspannung

Das Kernproblem des Eigenbaus eines klassischen Geigerzählers ist der Bau der Hochspannungsquelle. Im Internet gibt es Schaltungsvorschläge und Schaltpläne für klassische Geigerzähler mit Hochspannungserzeugung wie Sand am Meer. Man hat oft aber das Problem beurteilen zu müssen, welche Schaltung etwas taugt und wann sich der Aufbau tatsächlich lohnt. Die Verfügbarkeit der Bauteile ist oft das Problem, vor allem, wenn Transformatoren im Spiel sind. Die Schaltungen verwenden sehr oft Rückkopplungen zur Schwingungserzeugung und sind teilweise sehr trickreich und schwer zu verstehen. Man hat es daher schwer, wenn man ohne Verständnis eine Schaltung an ein bestimmtes Zählrohr anpassen möchte oder, wenn man andere besondere Gegebenheiten berücksichtigen muss. Oft ist es auch so, dass der Schaltungsvorschlag nur die Funktion in den Vordergrund stellt und auf den Stromverbrauch keinerlei Rücksicht nimmt, da von einem Labornetzteil ausgegangen wird. Oft ist aber beim Nachbau die Mobilität eine Voraussetzung, so dass man mit einer möglichst kleinen Batterie und damit mit geringem Stromverbrauch auskommen möchte. Deswegen wird hier eine Schaltung vorgestellt, welche einerseits leicht

nachvollziehbar und damit leicht abänderbar ist und sich andererseits durch einen relativ geringen Stromverbrauch auszeichnet.

Es sei aber gleich vorab ausdrücklich gewarnt, dass Spannungen über 40V für den Menschen gefährlich werden können, vor allem, wenn man große Kapazitäten auf höhere Spannungen auflädt. Das Berühren erzeugt dann einen langanhaltenden Stromfluss durch den menschlichen Körper, was zu erheblichen Gesundheitsschäden bis hin zum Herzstillstand führen kann.

Grundsätzlich werden hohe Spannungen mit Hilfe des Induktionsgesetzes erzeugt, dabei gilt:

$$U = -L \cdot di/dt$$

Die Spannung an einer Spule ist damit proportional zur Induktivität und der Stromänderung. Die einfachste schnelle Stromänderung ohne dass gleichzeitig eine Belastung an der Spule anliegt, erreicht man durch Ausschalten des Spulenstroms mit einem Transistor nachdem die Energie im Magnetfeld gespeichert ist. Angenommen man schaltet einen Spulenstrom von 50mA innerhalb von 1µs an einer Induktivität von 10mH aus, dann erreicht man theoretisch schon 500V für die Dauer der Schaltflanke. Die Energie welche im Magnetfeld einer Spule steckt, wenn der Sättigungsstrom erreicht ist, beträgt:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

und erreicht im dem obigen Beispiel lediglich den Wert von 12.5µWs. Entnimmt man diese Energie mit einer Rate von 1kHz entspricht das einer Leistung von 12.5mW. Wenn man nun von einer Kapazität auf die 500V, welche sich aus der Induktion ergeben auflädt, kann man dann im idealen Fall bestenfalls diese 12.5mW auch wieder entnehmen, so dass die Kapazität geladen bleibt. Damit ergibt sich ein maximaler Strom von 25µA. Ein Lastwiderstand dürfte also maximal 20MΩ betragen.

Die Leistung muss man allerdings während der Zeit entnehmen, wo die Induktionsspannung anliegt und einen negativen Wert hat. Damit sich die Speicherkapazität nicht wieder entlädt, ist eine Diode nötig. Das führt zur klassischen Schaltung eines sogenannten Aufwärts- oder Boost Konverters. Wichtig ist dabei, dass man sofort nachdem das Magnetfeld in der Spule einigermaßen aufgebaut ist auch gleich wieder ausschaltet, da sonst ein konstanter Strom durch die Spule fließt und an deren Innenwiderstand nur zusätzliche Verlustleistung erzeugt.

Der Nachteil dieser Schaltung ist allerdings, dass man einen schnellen Schalttransistor benötigt, welcher der hohen Induktionsspannung im Sperrbetrieb widerstehen kann. Deswegen ist es günstiger, statt der einfachen Induktivität einen Übertrager einzusetzen und die Induktionsspannung niedriger auszulegen und sie durch das Übersetzungsverhältnis des Übertragers hoch zu transformieren. Solche Übertrager mit Ferritkernen können sehr klein und billig gebaut werden und sind trotzdem relativ verlustarm.

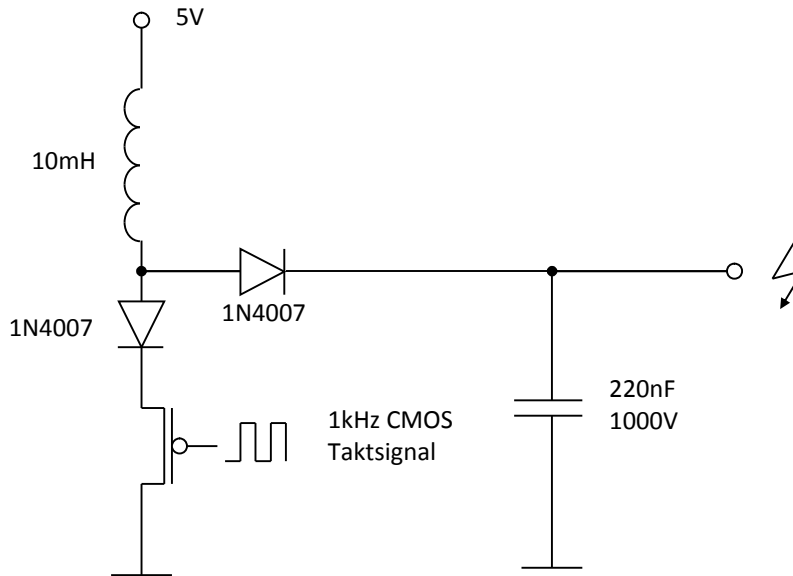


Abb. 1: Einfacher Boostkonverter zur Erzeugung hoher Spannungen

Ist man auf der Primärseite eines Übertragers, der 1:10 übersetzt, dann braucht man primärseitig nur 50V um sekundärseitig 500V zu erreichen. Wenn man nun parallel zur Primärseite eine kleine Kapazität legt, dann entsteht ein Resonanzkreis und man erreicht bedingt durch den Wicklungswiderstand eine abklingende Schwingung für jeden Ausschaltvorgang. Dimensioniert man die Resonanzfrequenz so, dass sie mit der Bandbreite des Übertragers gut zusammenpasst, dann kann man auch die Ferrit-Verluste des Übertragers klein halten und konzentriert die Energie in eine einzelne gut überschaubare Frequenz. Man sollte das Taktsignal mit einer etwa um den Faktor 10 kleineren Taktfrequenz und einem etwa 50%igen Tastverhältnis erzeugen, damit sichergestellt ist, dass man sowohl für die Schwingungen genug Zeit hat, wie für den Aufbau des Magnetfeldes.

Durch einen Vorwiderstand kann man den Strom in den Übertrager noch zusätzlich reduzieren, wenn der Primärwicklungswiderstand nicht groß genug ist und sonst eine zu hohe Spannung entstehen würde. Für den Transistor empfiehlt sich ein leistungslos gesteuerter MOS-Transistor, der eben eine ausreichende Spannungsfestigkeit für die Primärspannung haben sollte. Hat man also etwa 50V primärseitig (und 500V sekundärseitig), dann sollte man den MOS-Transistor eher auf etwa 100V Spannungsfestigkeit auslegen. Ebenso sollte man schauen, dass der Widerstand des Transistors im On-Zustand deutlich kleiner ist als der Serienwiderstand der Primärspule, damit ein guter Wirkungsgrad erreicht wird.

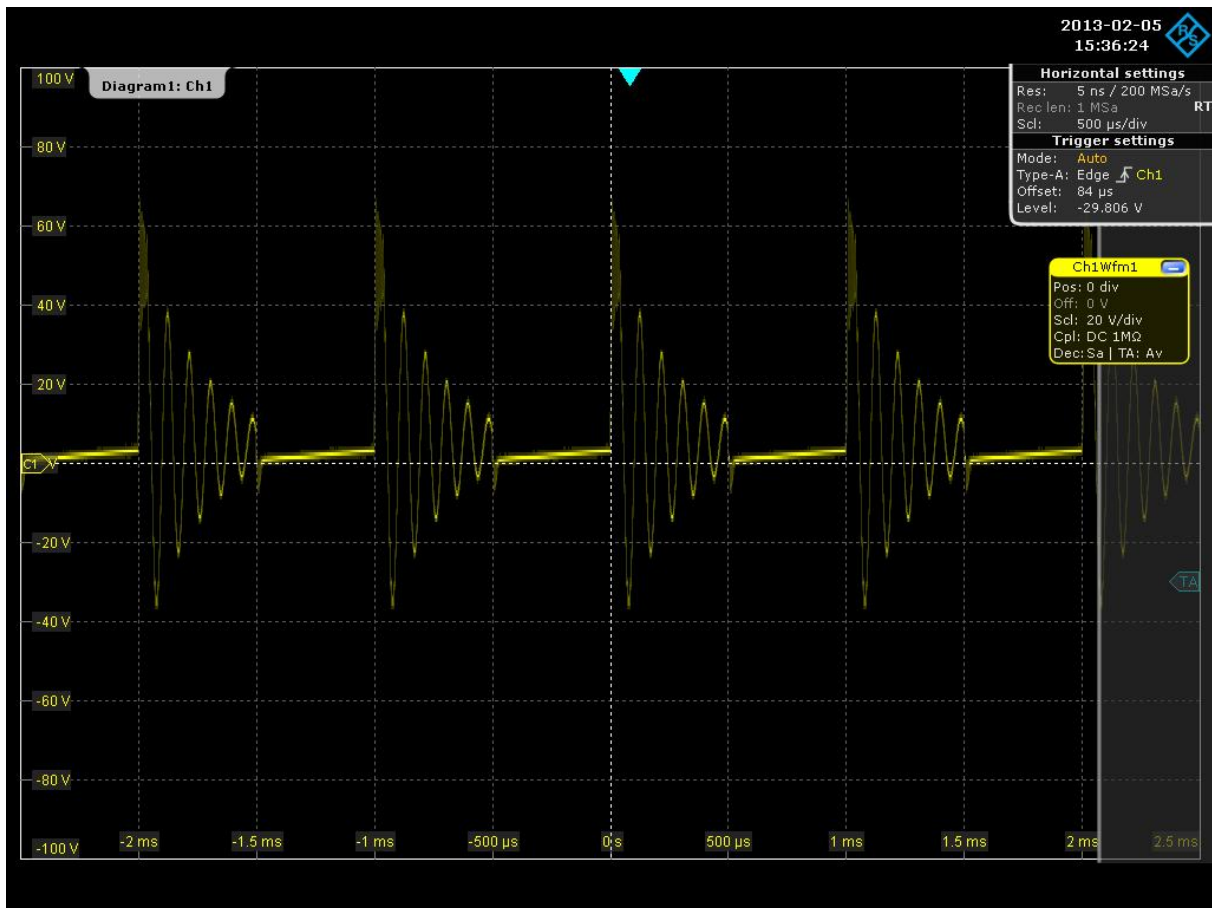


Abb. 2: Abklingende kontrollierte Schwingungen statt hochfrequenter Peaks auf der Primärseite des Übertragers

Man braucht noch eine spannungsfeste Diode am Drain Anschluss (z.B. eine 1N4007), da ja die induzierte Spannung dem Stromfluss entgegen gerichtet ist. In dieser Richtung sieht man nämlich am Drain Anschluss einen leitfähigen pn-Übergang zum Bulk-Anschluss hin (meist nicht separat herausgeführt), der intern mit dem Source verbunden ist. Die Diode verhindert also, dass ein Rückwärtsstrom den Aufbau der Induktionsspannung behindert. Auf der Sekundärseite sieht man am besten einen spannungsfesten Vollwellengleichrichter und eine spannungsfeste Kapazität als Ladungsspeicher vor.

Es empfiehlt sich die Hochspannung nur knapp über die Ziel-Spannung von 500V zu dimensionieren und die Hochspannung mit einer Serie aus Zenerdioden zu stabilisieren. Die meisten Zählrohre kommen mit einer Spannung von 400V aus und haben eine typische Plateaulänge von 200V. Ein wenig Reserve schadet meist nicht. Wenn man dennoch die Lebensdauer etwas verlängern möchte, kann man natürlich eine der 100V Zenerdioden einfach weglassen und mit dem Widerstand an der Primärwicklung den Strom etwas drosseln. Mit einer weiteren Zenerdiode mit kleiner Durchbruchspannung und einem MOS Transistor kann man dann noch eine zusätzliche Statusanzeige für das Erreichen der Hochspannung hinzufügen. Die LED geht nur an, wenn auch die kleine Zenerdiode leitend wird. Das ist nur der Fall, wenn durch die großen Zenerdioden bereits ein kleiner Strom fließt.

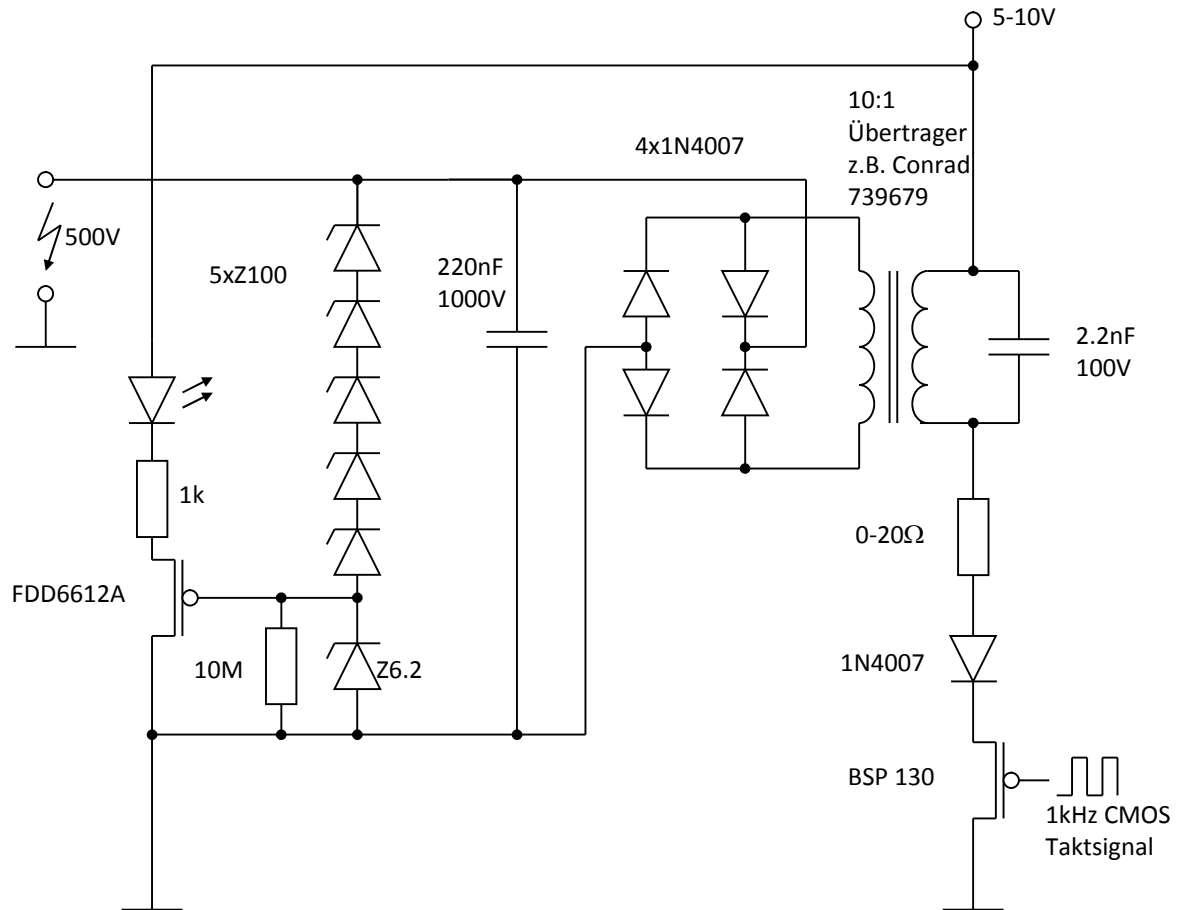


Abb. 3: Hochspannungsnetzteil für einen Geigerzähler

Der etwa 1kHz schnelle rechteckförmige Takt sollte möglichst steile Flanken haben. Diese Steilheit geht proportional in die erreichbare Hochspannung ein. Man kann sie aus einem Mikrocontroller erzeugen, mit dem man auch die Auswertung der Zählimpulse macht oder man erzeugt sie mit einem einfachen Takt-IC wie dem NE555. Unter Verwendung des NE555, der nicht allzu sehr stromsparend ist, bleibt man mit dem Stromverbrauch aber dennoch unter 10mA für die gesamte Schaltung.

Der NE555 wird so beschaltet, dass er einen Takt mit 50% Tastverhältnis erzeugt. Die dazugehörige Schaltung findet sich auch im Datenblatt eines der Hersteller (ST) ist hier aber der Vollständigkeit dargestellt. Der Vorteil dieser Takterzeugung gegenüber Transistorschaltungen mit Rückkopplung ist die einfache Einstellmöglichkeit der Taktfrequenz mit Hilfe der Kapazität am Pin 6 und der nahezu völligen Unabhängigkeit der Taktfrequenz von der Betriebsspannung.

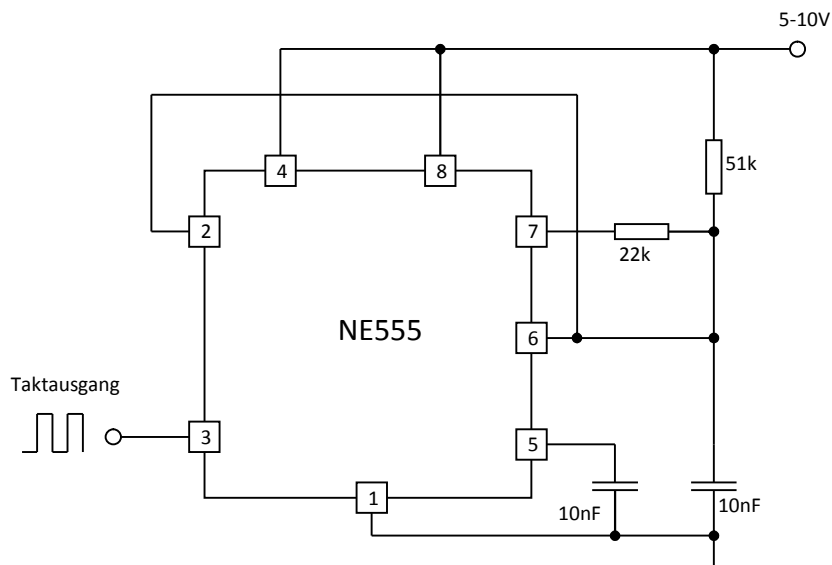


Abb. 4: Takterzeugung mit einem NE555 Taktgeber

Die Ankopplung des Zählrohrs an eine Auswertelogik kann man mit Hilfe eines weiteren MOS Transistors machen, der eine Impedanzwandlung des Signals am Sensewiderstand des Zählrohrs bewirkt. Die Diode am Gate des MOS-Transistors dient zum Schutz vor Überspannung, sie wird leitend sobald die Gate-Spannung über etwa 5.7V geht und limitiert damit auf diese Spannung.

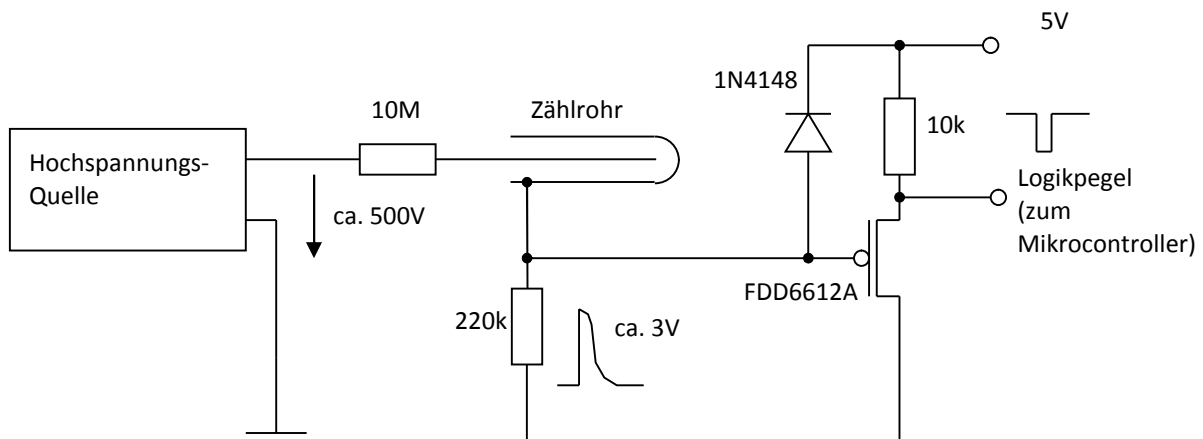


Abb. 5: Schnittstelle zu einem Mikrocontroller

Was noch erwähnt werden sollte ist die Tatsache, dass ein Kabel zum Anschluss eines von der Platine abgesetzten Zählrohrs eine erhebliche Kapazität haben kann und damit zuviel Strom in das Zählrohr liefert. Bei Verwendung eines Kabels sollte zumindest ein Teil des Zählrohr-Vorwiderstands direkt am Zählrohr angebracht werden (min. 100k).

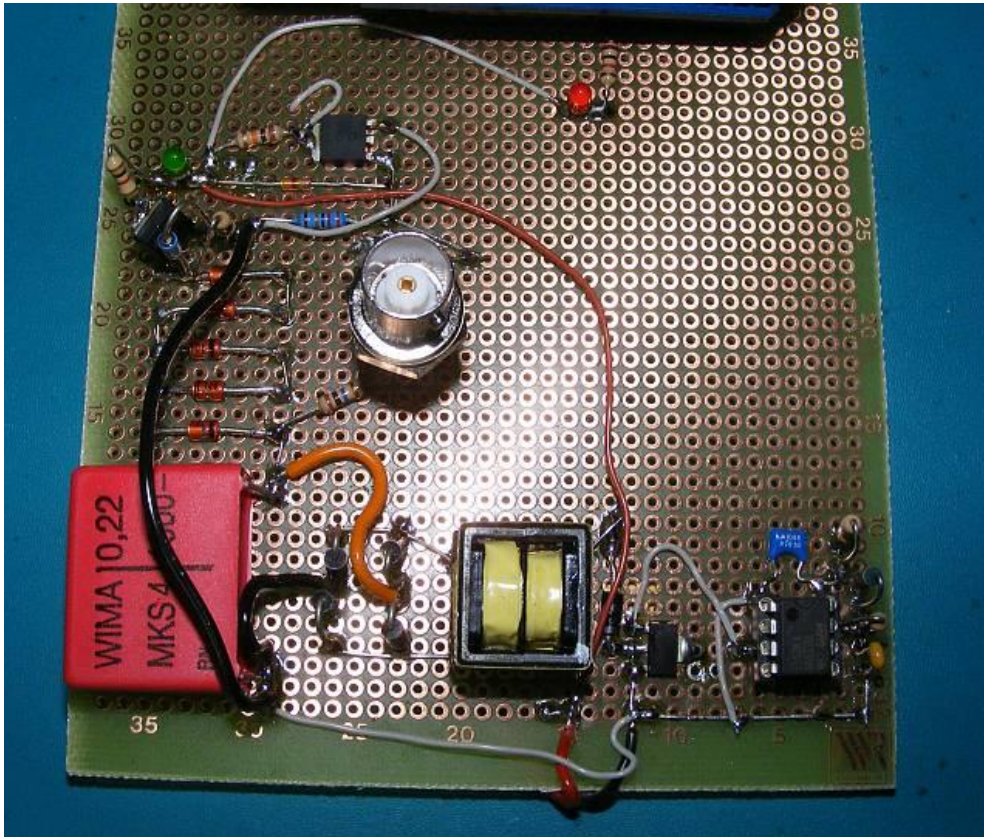


Abb. 6: Prototypenschaltung des Geigerzählers auf einer Lochrasterplatine. Die BNC Buchse dient dem Anschluss des über ein Kabel abgesetzten Zählrohrs.

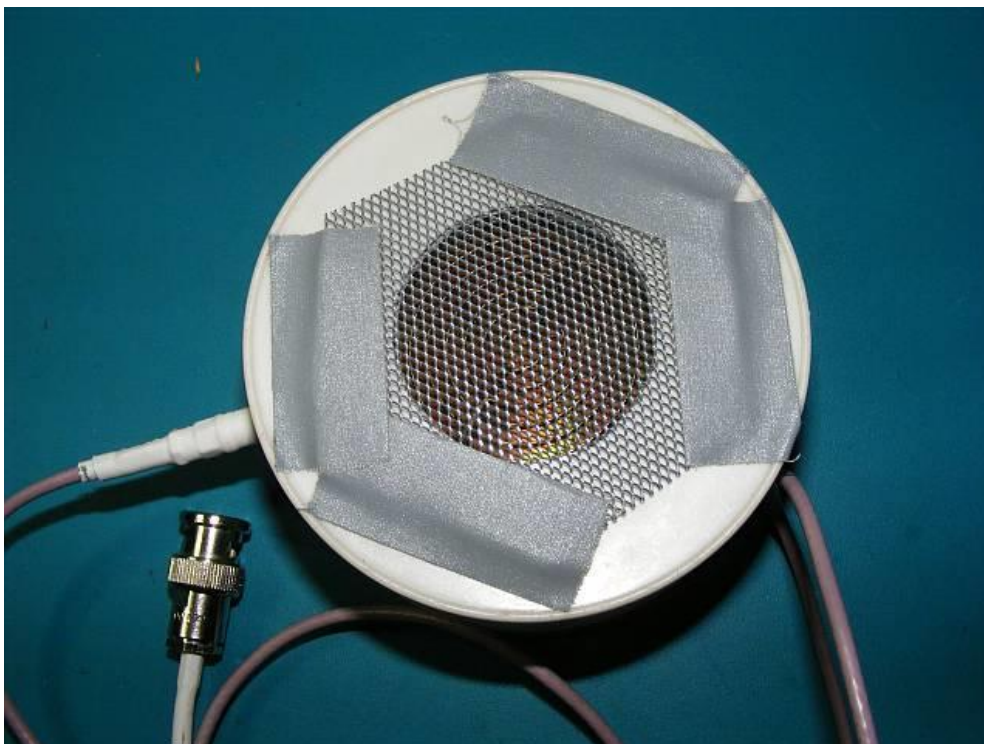


Abb. 7: Pancake Zählrohr Beta-2-1 von Consensus-Group mit Schutzgitter für den Betrieb als Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlungsempfindlicher Geigerzähler (Empfindlichkeit ~ 20 Pulse/nGy)

Wer nur eine akustische Signalisierung möchte, kann anstelle des 10kOhm Widerstands auch einen Kopfhörer mit Vorwiderstand schalten. Da die Gate-Eingangskapazität des NMOS-Transistors, welche parallel zum Sense-Widerstand liegt eine gewisse Zeit braucht, bis sie geladen ist, wirkt sie automatisch als Impulsverlängerung, so dass die Impulse in Form eines Knackens gut hörbar sind.

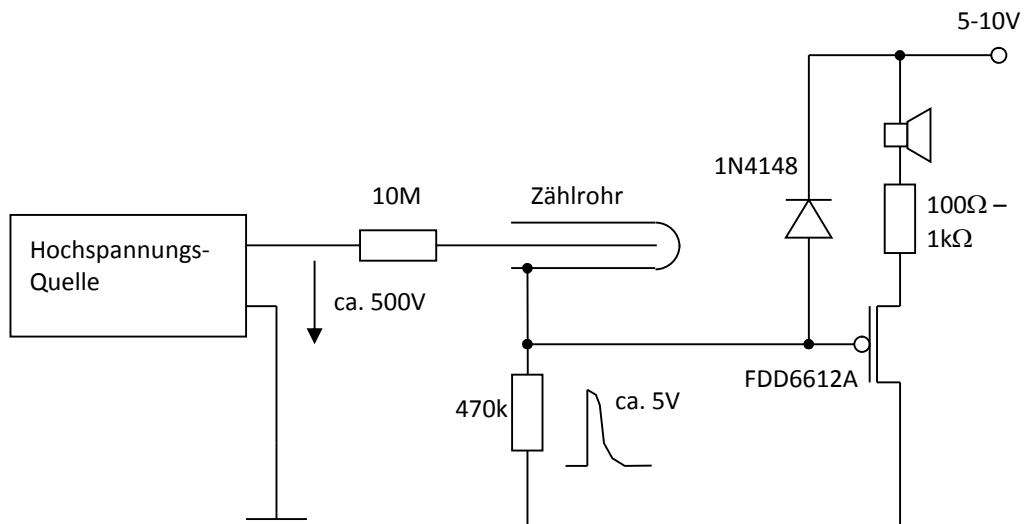


Abb. 8: Traditioneller Geigerzähler mit Impuls-Signalisierung durch Knackens im Lautsprecher