

PMT-zu-Arduino Adapter zum Betrieb eines Szintillations-Detektors mit Photomultiplier an einem Arduino Mikrocontroller

Bernd Laquai 26.1.2016, Update 2.2.16

Ähnlich wie bei Geiger-Müller Zählern benötigt auch ein Szintillations-Detektor, welcher eine Photomultiplier Röhre (PMT) zur Signalverstärkung nutzt, zu seinem Betrieb eine Hochspannung. Während die Signalisierung der gemessenen Aktivität an den Benutzer bei einem Geiger-Zähler noch akustisch über das typische Knacken trotz der Hochspannung sehr einfach und unkritisch realisiert werden kann, so ist dies bei einem Szintillationszähler wegen der hohen Impulsraten kaum noch sinnvoll. Hier ist eine digitale Auswertung im Prinzip unumgänglich und ein Mikrocontroller mit Anzeige bietet sich geradezu an. Dennoch hat man instinktiv etwas Hemmungen, eine Sensorik, an der 1000V Spannung anliegen gleichzeitig an das Mikrocontroller-Board, das mit 5 oder 3.3V betrieben wird, anzuschließen. Auf jeden Fall muss dieses Interface sehr sorgfältig hergestellt und angeschlossen werden, wenn man nicht Gefahr laufen will, dass die Hochspannung den Mikrocontroller zerstört.

Die Pulse, die ein Photomultiplier aus den Lichtblitzen eines Szintillationskristalls erzeugt, sind in der Regel sehr kurz, typischerweise mit einem exponentiellen Abklingen und Zeitkonstanten unter 200us. Daher ist es relativ einfach, den Gleichspannungsanteil (die Hochspannung) und den AC-Anteil (die Peaks) mit Hilfe einer Kapazität zu trennen. Es gibt dabei für die Auswahl der Kapazität zwei Kriterien. Einmal muss sie der auf der einen Seite anliegenden Hochspannung widerstehen können und zum andern muss die Zeitkonstante, welche darüber entscheidet, welche Frequenzen nicht mehr übertragen werden, groß genug sein, dass die Pulse nicht nennenswert verformt werden. Bei Pulsen mit einer Dauer unter 1us und einer Last von mehreren 100kOhm kann die Kapazität aber doch relativ klein werden. Zum Auskoppeln der AC-Signale ist daher in der Regel eine 10nF Kapazität mit einer Spannungsfestigkeit von 2000V völlig ausreichend.

Das Potential kann auf der Seite zur Signalverarbeitung hin frei gewählt werden, da ja die Kapazität die beiden Gleichspannungsbereiche völlig trennt. Bei Beschaltung des PMT für positive Hochspannung sind die Pulse negativ. Das bedeutet, die Niederspannungsseite pegelt sich auf die vorgegebene Gleichspannungssituation dort ein, und die Pulse die von der Kapazität übertragen werden, gehen von diesem Pegel aus Richtung kleinerer Spannung. Will man also direkt auf den Eingang eines Mikrocontrollers gehen, der mit 5V Spannung an den I/O Pins betrieben wird, dann wählt man zunächst meist eine Vorspannung von 5V für die Niederspannungsseite der Kapazität, die man über einen relativ hochohmigen Widerstand zuführt, an dem später die Pulse als Spannung abfallen sollen. Die Schaltschwelle eines digitalen Eingangs liegt grob in der Mitte der Versorgungsspannung also bei 2.5V. Von daher müssten so die Pulse eine Amplitude von wenigstens 2.5V haben um den Eingang auf logisch Low zu kippen.

Nun ist es aber so, dass sehr viel mehr Pulse mit kleiner Amplitude (niedrige Gamma-Energien) entstehen als mit großer. Daher ist es sinnvoll den Pegel auf der Niederspannungsseite einstellbar zu machen um ihn so näher an die Schaltschwelle heranrücken zu können. Dann können auch kleine Pulse den Digitaleingang auf Low kippen.

Also Poti nimmt man am besten etwas relativ Niederohmiges (hier 5kOhm) und führt dieses Potential hochohmig (470kOhm) auf die Niederspannungsseite der Koppelkapazität.

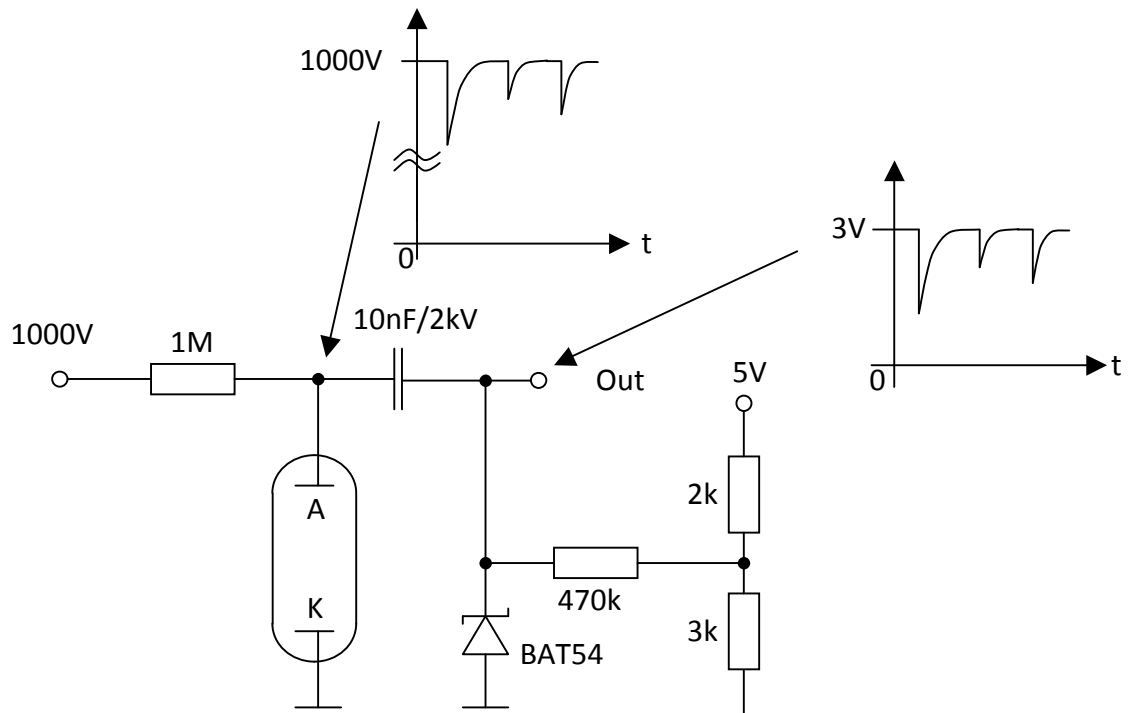


Abb. 1: Pegelung des PMT Ausgangssignals Out auf der Niederspannungsseite der Auskoppelkapazität mit einer Zielspannung von 3V

Nun könnte aber ein weiteres Problem auftreten, wenn kräftige Pulse auftreten. Deren Amplitude kann größer als 5V werden. Ausgehend von der 5V Vorspannung auf der Niederspannungsseite der Koppelkapazität würde das bedeuten, dass die Spannung dann unter 0V geht. Dann aber wird die ESD-Schutzdiode am Digitaleingang leitend und erzwingt eine Spannung von 0V. Von der Funktionalität ist das genau das was wünschenswert wäre, nur sind die ESD Schutzdioden nicht unbedingt für eine Dauerbelastung gebaut. Man sollte daher in so einem Fall negative Spannungen extern abfangen. Am besten erreicht man das mit einer sehr schnellen Schottky-Diode, deren Schleusenspannung niedriger liegt als die der ESD-Schutzdiode. Liegt die Schottky-Diode vom Eingang nach 0V in Sperrichtung, dann wird sie leitend, wenn der Eingang unter die negative Schleusenspannung von ca. -150mV geht und übernimmt den Strom, ohne dass die Spannung weiter ins negative anwächst. D.h. starke Pulse werden bei ca. 150mV geklippt. Ist diese Sicherheitsvorkehrung getroffen, kann man das Potential auf der Niederspannungsseite der Koppelkapazität auf beispielsweise 3V einstellen. Dann triggern Pulse mit 0.5V bereits den digitalen Eingang genau wie große Pulse und große Pulse werden bei -150mV geklippt.

Bereits mit dieser einfachen Adaption kann man ein PMT zufriedenstellend an einem Mikrocontroller betreiben. Allerdings bleibt etwas die Ungewissheit, wann genau ein digitale Input des Mikrocontrollers von High auf Low schaltet. Möglicherweise fließen in dem IO Pin des Mikrocontrollers intern Querströme, wenn man den Pegel knapp oberhalb der Schaltstelle einstellt und nicht wie vorgesehen auf Vdd. Dies lässt sich nur dadurch lösen, indem man zwischen den rein passiven Adapter wie oben beschrieben und den Mikrocontroller-Eingang einen Komparator schaltet. Ein Komparator ist auf analoge

Eingangsspannungen ausgelegt und schaltet präzise von High auf Low, wenn die Spannung am positiven Eingang unter die Spannung des negativen Eingangs fällt. Man sollte den Komparator so auswählen, dass er in der Schaltgeschwindigkeit deutlich besser als die Pulsdauer ist. Er sollte aber auch nicht unnötig schnell sein, da es sonst wieder schwierig ist ihn stabil zu bekommen. Zusätzlich sollte die Versorgungsspannung zu der des Mikrocontroller passen.

Nun muss man dem Komparator eine Referenzspannung geben, welche die Schaltschwelle festlegt. Sie sollte so nahe wie möglich an Vdd liegen und möglichst stabil sein. Man könnte das über einen Spannungsteiler, den man mit einer Kapazität blockt erreichen unter der Voraussetzung, dass die Betriebsspannung stabil ist. Da es aber Komparatoren mit eingebauter Referenzspannung, die aus einer Band-Gap Schaltung abgeleitet wird, gibt, kann man sich den Aufwand mit externen Bauteilen sparen.

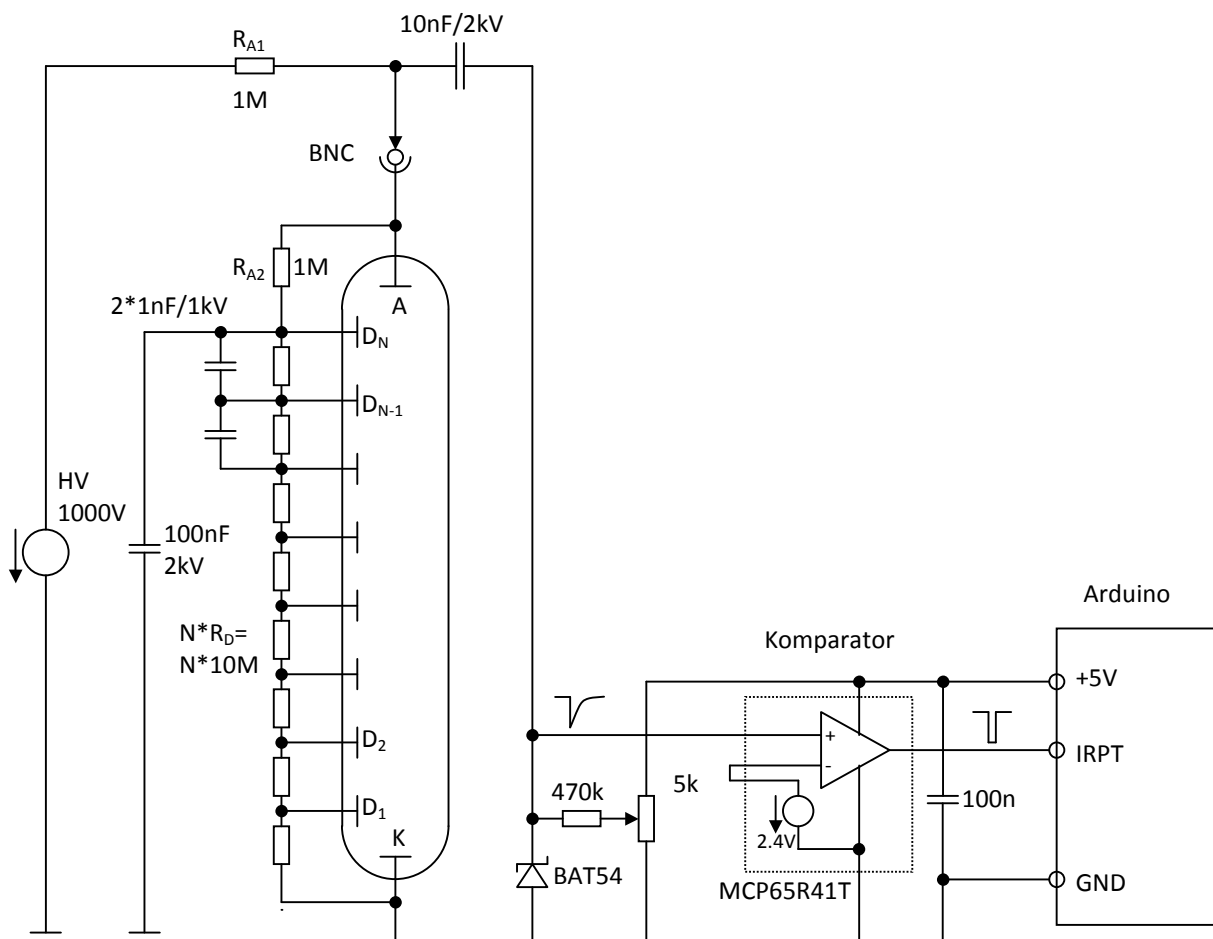


Abb. 3: PMT-zu-Arduino Adapter mit Komparator angeschlossen an einem PMT das nach dem Theremino-Schema verdrahtet ist

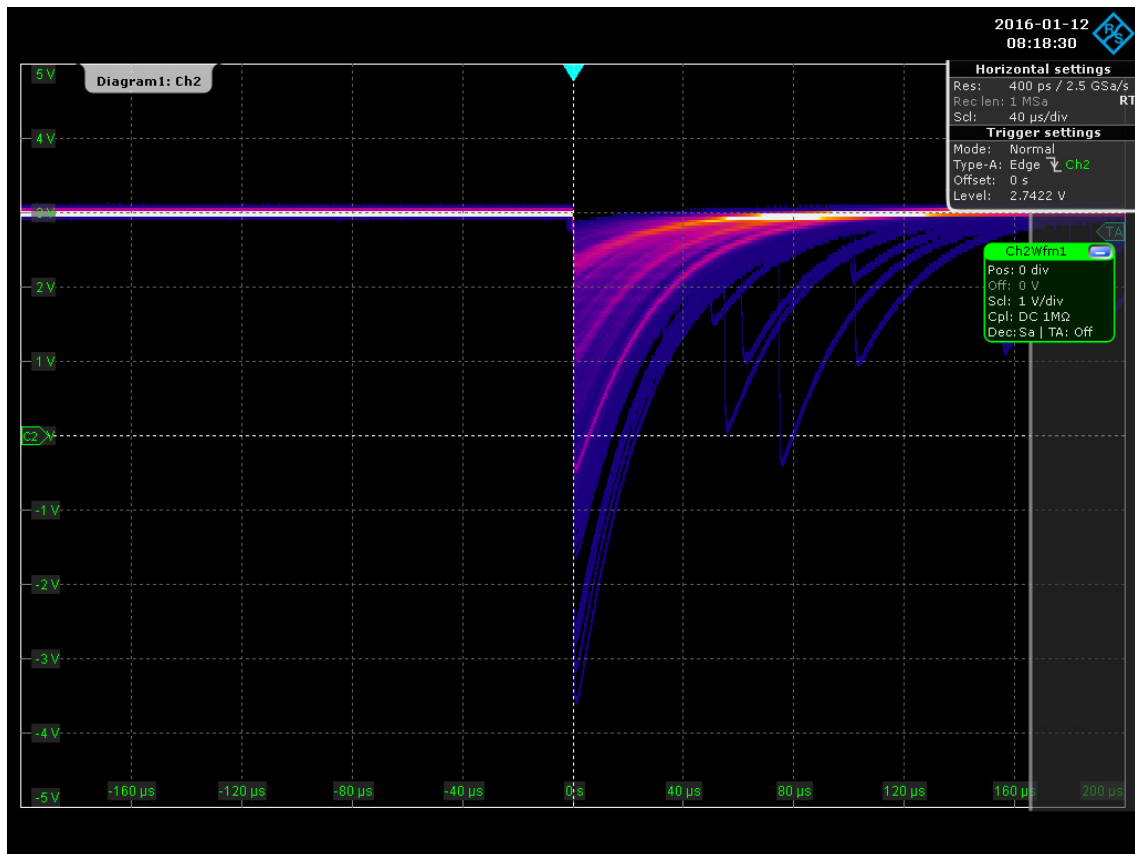


Abb. 4a: Ohne externe Schutzdiode akkumulierte Pulse, die Spannungsspitzen gehen unter Null

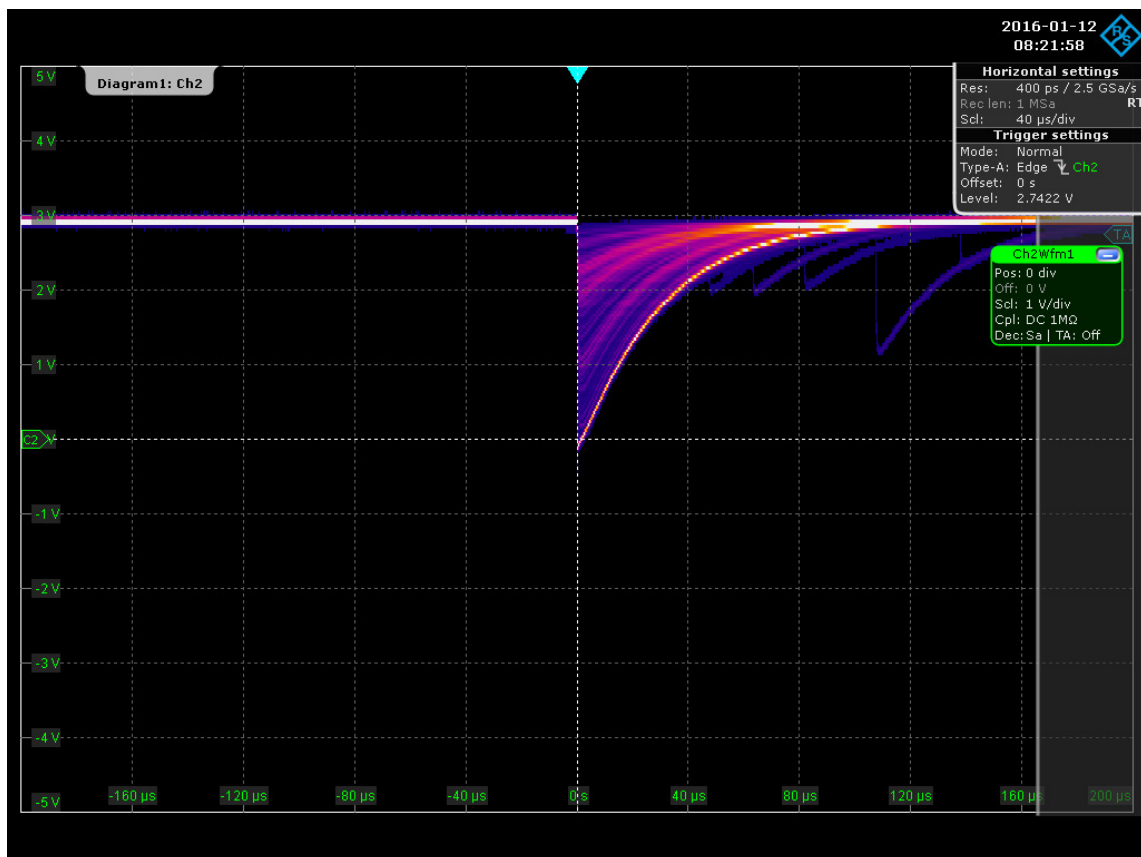


Abb. 4b: Mit externer Schutzdiode akkumulierte Pulse, die Pulse werden auf etwa Null Volt limitiert

Die größten eingebauten Referenzspannungsquellen liegen bei etwa 2.5V, was zu der Schaltschwelle eines Mikrocontrollereingang ganz vergleichbar ist. Solche Komparatoren gibt es auch in Gehäusen mit wenig Pins, aber typischerweise sind sie nur in sehr kleinen Gehäusen wie SOT23 erhältlich. Um sie auf ein Lochraster anzupassen braucht man keine Adapterplatinen, die es für viele der SMD Gehäuse gibt. Hier wurde der Komparator MCP65R41T von Microchip benutzt, der eine eingebaute 2.4V Referenzspannungsquelle hat. Diese legt man auf den negativen Eingang und das Signal aus der passiven Anpassungsschaltung an den positiven Eingang. Dann kann mit dem Poti den Pegel auf der Niederspannungsseite des Koppelkondensators auf etwa 2.6V legen, so dass bereits ein Puls von 200mV Höhe die Schaltschwelle von 2.4V unterschreitet und dadurch der Komparator von logisch High auf logisch Low schaltet (low aktiv). Damit lässt sich dann eine Mikrocontroller-Eingang ganz präzise digital triggern. Schnell genug ist er in der Regel, typischerweise reicht ein Puls von unter 1us um den Eingang zum Schalten zu bringen.

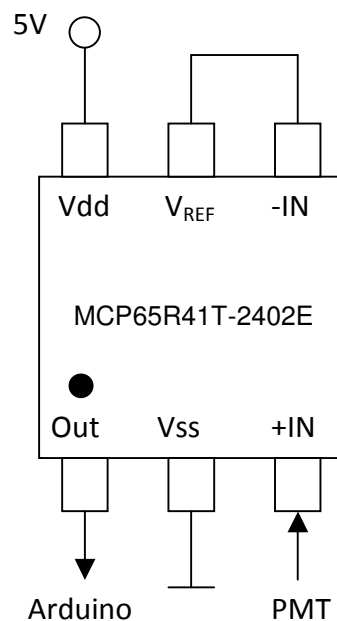


Abb. 5: Einfachster Anschluss des Komparators mit eingebauter Referenz

Der Anschluss des Arduino ist dann nur noch Formsache. In aller Regel werden die Zählimpulse vom Ausgang des Komparators direkt auf den Interrupt Eingang (Digital-Pin 2) geführt. Die Massen des PMT-zu-Arduino Adapters muss noch mit dem Gnd Anschluss des Arduino verbunden werden, dann kann man bereits ein einfaches Zählprogramm wie bei einem Geigerzähler benutzen um die Zählraten des Szintillations-Detektors anzuzeigen. Bei Impulsvorwahl muss man aber schon etwa 100Pulse zählen, bevor man eine Berechnung macht, da die Pulse sehr schnell kommen. Sonst ist der Mikrocontroller nur mit der Ausgabe beschäftigt.

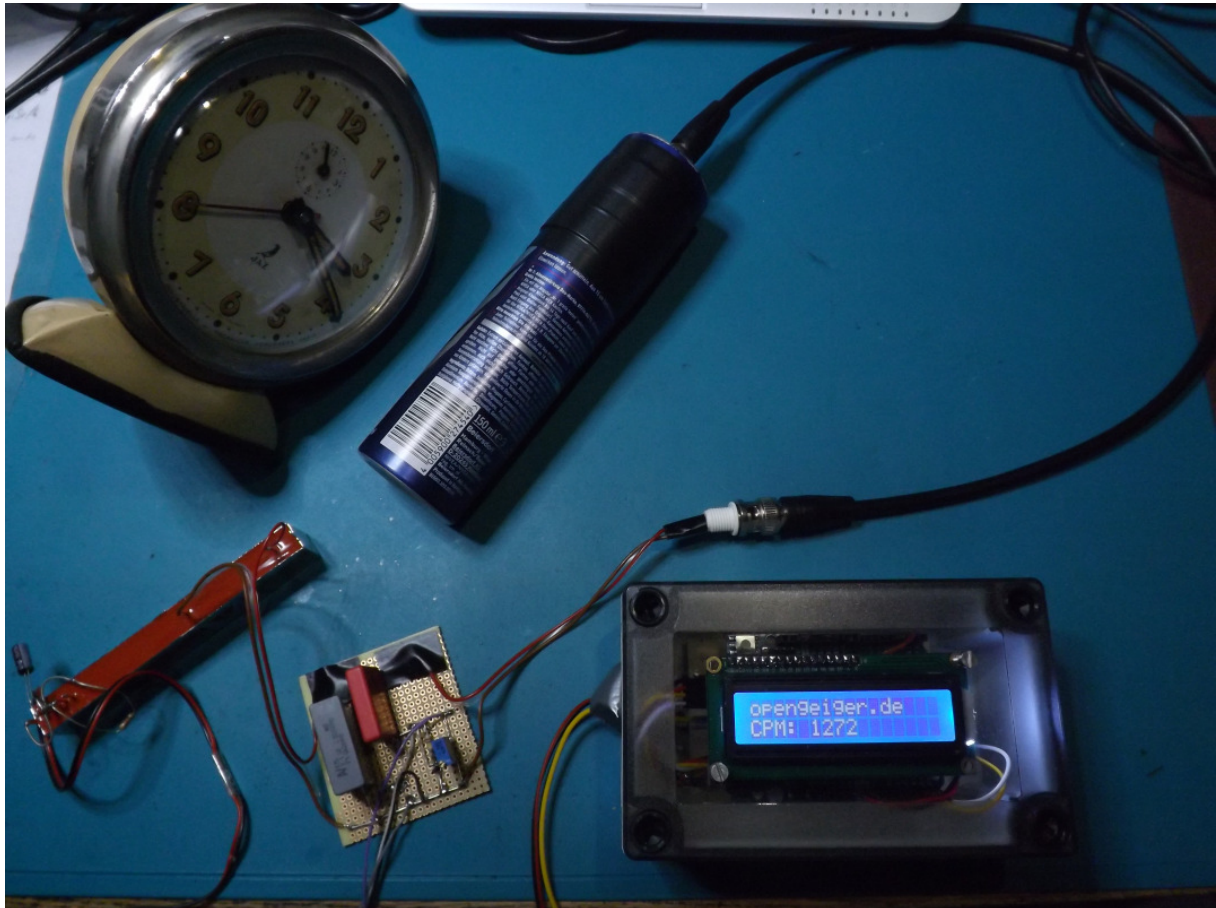


Abb. 6: Gewaltige Zählraten von über 1000cpm für einen Wecker mit Radium-Zeigern erreicht man bereits ohne Komparator. Links unten Hochspannungsmodul (rot), rein passiver PMT-zu-Arduino Adapter und Arduino-Zähler mit LED Anzeige, darüber der selbstgebaute 1-Zoll Szintillations-Detektor