

## Ein einfach zu realisierender, solar-betriebener PIN-Dioden-Detektor für radioaktive Strahlung im Miniaturformat

Bernd Laquai, 16.4.14 , Update 19.9.15

Jeder, der auf Flohmärkten nach historischen Objekten Ausschau hält, die sich als einfache Strahlungsquelle eignen, wie Uhren mit Radium-Leuchtziffern, Keramiken mit Uranglasur oder Glaswaren aus Uranglas, kennt das Problem: sobald der Verkäufer bemerkt, dass an dem sonst so hartnäckigen Ladenhüter doch etwas wertvolles dran sein könnte, steigt der Preis augenblicklich, auch wenn er den Zusammenhang nicht ganz versteht. Es kann aber auch umgekehrt sein, dass man solche Objekte genau vermeiden will. Auch dann gibt es Verkäufer, die im Hinblick auf andere Flohmarktgäste das auffällige Untersuchen von Objekten mit einem großen knallgelben Geigerzähler nicht besonders mögen, besonders, wenn das Gerät dann auch noch laut zu ticken beginnt. Hier kann ein Strahlungsdetektor, welcher sehr klein gebaut und wenig auffällig verpackt ist, von großem Vorteil sein.



Abb. 1: Der Miniatur-Detektor passt gut in eine Zigarettschachtel

Auch für Mineraliensammler, welche oft nach mikroskopisch kleinen Uranmineralien suchen, ist ein Gerät zum Nachweis radioaktiven Strahlung, welches leicht in die Westentasche passt, eine große Hilfe. Allerdings ist es für diese Anwendung von noch größerem Vorteil, wenn die strahlungsempfindliche

Fläche sehr klein ist und dadurch das präzise Lokalisieren der kleinen Kristalle deutlich leichter möglich ist als mit einem großen Zählrohr.

Für beide Anwendungen ist ein klein gebauter PIN-Dioden Zähler auf der Basis des Teviso Sensormoduls für radioaktive Beta- und Gammastrahlung eine durchaus empfehlenswerte Lösung im Vergleich zu einem durch die Größe eines Zählrohrs bestimmten Geigerzähler. Ein solches Modul kann über die Webseite des Herstellers als Muster bezogen werden. Der geringe Stromverbrauch schafft zudem die Möglichkeit das Gerät mit einem kleinen LiPo-Akku auszustatten, der über ein einfaches, handflächengroßes Solarpanel geladen werden kann, so dass man von Batterien gänzlich unabhängig wird.

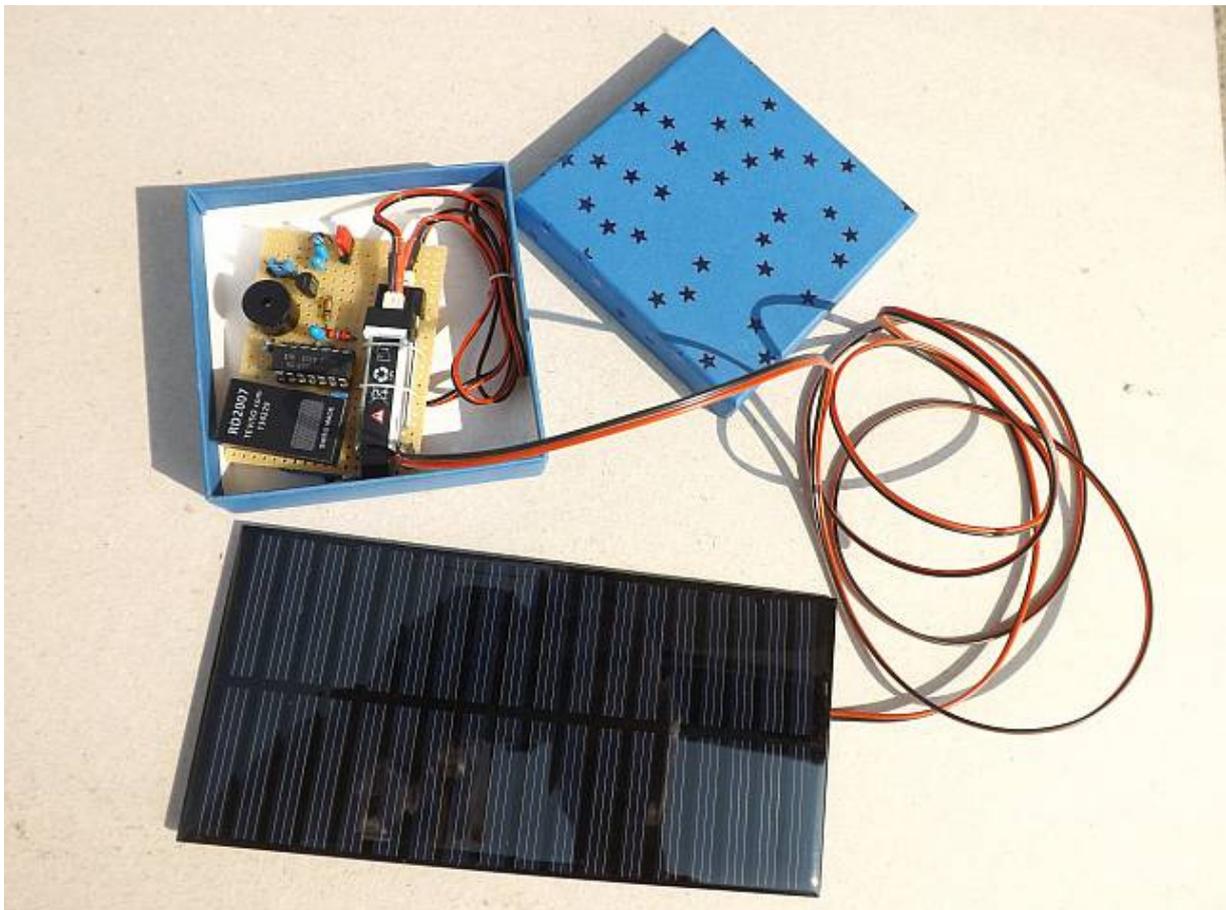


Abb.2: Laden der Miniaturakkus mit einem kleinen Solarpanel

Ob auch ein solches Gerät dem russische Agenten Litwinenko das Leben gerettet hätte, kann schwer beurteilt werden, aber geht man davon aus, dass er mit einer Dosis von etwa  $1\mu\text{g}$  Po-210 umgebracht wurde, dann entspricht das einer Aktivität von 167MBq an Alpha-Zerfällen, die mit dem Teviso Sensormodul nicht detektierbar gewesen wären. Aber in 0.0012% der Zerfälle emittiert das Po-210 eben auch noch zusätzlich ein 803MeV Gammaquantum, was in diesem Fall zu einer gamma-spezifischen Aktivität von 2kBq führt, was durchaus noch ein deutliches Sensorsignal erzeugt hätte und vor dem

Angriff hätte unauffällig warnen können. D.h. starke Alphastrahler, wie auch beispielsweise das Americium Am-241 in Ionisationsrauchmeldern erkennt man dennoch an einer gewissen, wenn auch schwachen Gamma-Aktivität. Es ist aber in jedem Fall besser, man hält sich von solchen Strahlungsquellen und den Kreisen in denen damit umgegangen wird doch deutlich fern.

Oft hört man die Aussage, dass ein elektronisches Gerät nie besser sind als ihre Stromversorgung. Das aber bedeutet, dass man bei der Entwicklung eines entsprechenden Geräts mit einer guten Stromversorgung beginnen sollte. Das Ziel, den Größenvorteil des hochintegrierten Teviso Sensormoduls gegenüber Zählrohr-basierten Strahlungsdetektoren zu bewahren bedeutet bereits, dass man kaum mit Primärbatterien im Standardformat wie z.B. mit dem AA oder AAA arbeiten kann. Da das RD2007 Sensormodul mit mindestens einer Spannung von 4V versorgt sein sollte und man für eine lineare Regelung wenigstens 1.5V Drop am Regler einplanen sollte, scheiden solche 1.5V Zellen relativ schnell aus. Auf der anderen Seite bietet sich eine Lösung mit aufladbaren Sekundärbatterien in Form von kleinen LiPo Akkus mit 3.6V Zellspannung geradezu an. Der Stromverbrauch ist niedrig genug und im Modellbausektor gibt es sehr kleine Akkus die sich durch eine hohe Energiedichte und sehr geringe Selbstentladung auszeichnen. Ein System aus zwei LiPo-Zellen arbeitet zwischen 6 und 8.4V. Das ergibt eine Regelspannung für den Linearregler von etwa 1.5V, wenn die Betriebsspannung des Moduls auf ungefähr 4.5V gelegt wird. Andererseits findet man sehr leicht günstige Solarpanels mit 9V Nennspannung, so dass man das Laden völlig Netzunabhängig gestalten kann. Zielt man auf einen Stromverbrauch von max. 1mA, benötigt man für 100h Betrieb etwa 100mAh, eine Kapazität, bei der die LiPo-Akkus noch sehr klein ausfallen. Der Ladestrom (1/10 der Kapazität von etwa 100mAh) ist dann so gering, dass einerseits die Fläche des Moduls kaum größer als die Handfläche ist und andererseits ein Überladen durch eine Zenerdiode mit 8.2V Durchbruchspannung und einem Vorwiderstand ganz einfach und platzsparend verhindert werden kann. Deswegen wurden zwei Lithium-Polymer Miniatur-Modellbauakkus mit 80mAh Kapazität der Marke Voltcraft der Firma Conrad Electronic Best.Nr. 238780 und Zuleitungskabel von Modelcraft (auch Conrad Nr. 204854) als Stromversorgung in Serie geschaltet. Bei Conrad Electronic gibt es auch gleich ein passendes Solarpanel mit 9V Betriebsspannung (Nr. 191334) und einem Nennstrom von 109mA, welcher aber mit einem Vorwiderstand von 330Ohm stark gedrosselt wird. Daher erreichen die beiden Akkus beim Laden selbst bei voller Sonnenbetrahlung nie eine Spannung, die größer ist als die Durchbruchspannung von 8.2V der parallelgeschalteten Zenerdiode. Zur Sicherung gegen Selbstentladung der Akkus über das eventuell bei Nacht noch angeschlossene Solarpanel kann eine Schottkydiode zusätzlich in Serie mit dem Vorwiderstand geschaltet werden. Es ist aber in jedem Fall sicherer, den Ladekreis per Jumper oder Schalter zu unterbrechen damit auch der Leckstrom der Zenerdiode nicht den Akku entladen kann, wenn das Gerät lange Zeit unbenutzt bleibt auch wenn das Solarpanel nicht angeschlossen ist.

Als Spannungsregler kann man sicher einen normalen 7805 Linearegler einsetzen, der auf eine Spannung von 5V regelt. Es ist aber vorteilhafter einen Low-Drop Regler zu benutzen dessen Regelspannung geringer ist und auf etwa 4.5V einstellbar ist. Damit kann dann die volle Akkukapazität genutzt werden. Hier wurde der Regler vom Typ LT3080EST von Linear Technologies ausgewählt, der im kleinen SOT223-3 Gehäuse verfügbar ist (Conrad Nr. 679860) und dessen Anschlusspins gut zum 2.54mm (100mil) Raster einer Lochrasterplatine passen und daher selbst als SMD Bauteil noch gut von

Hand zu löten ist. Die Zielspannung wird durch den Spannungsabfall eines  $10\mu\text{A}$  starken Steuerstroms an einem Set-Widerstand eingestellt. Hier bieten sich  $470\text{k}\Omega$  an, was gerade eine Spannung von  $4.7\text{V}$  ergibt. Dieser Widerstand sollte allerdings mit wenigstens  $100\text{nF}$  gegen hochfrequente Störungen abgeblockt werden. Der Pin sollte auch gegen Berührung isoliert werden, da die Betriebsspannung sonst leicht ins Brummen kommt. Da das Teviso Sensormodul eine sehr niedrige Stromaufnahme hat ( $<400\mu\text{A}$ ) sollte man dem Regler durch einen  $4.7\text{k}\Omega$  Lastwiderstand eine kleine  $1\text{mA}$  Grundlast geben, damit die Regelung auch wirklich solide funktioniert ohne den Gesamtstromverbrauch zu sehr in die Höhe zu treiben.

Die Schaltung wird über einen Mikrotaster mit Wippe mit Strom versorgt. Das bedeutet, dass die Schaltung nur solange unter Strom steht, wie man den Wipphebel gedrückt hält. Legt man das Gerät zur Seite wird die Schaltung automatisch vom Akku getrennt. Das spart unheimlich Strom und verhindert ein versehentliches Tiefentladen der Akkus sehr zuverlässig.

Das Sensormodul liefert nur sehr kurze Zählimpulse von höchstens  $200\mu\text{s}$  Dauer, so dass man diese in jedem Fall verlängern muss um sie akustisch hörbar oder mit einer LED sichtbar zu machen. Die vom Hersteller des Moduls angegebene Schaltung ist an Einfachheit kaum zu überbieten, obwohl ein 8 Pin Timer IC oder ein Komparator-IC mit Mitkopplung vielleicht eine noch platzsparendere Lösungsmöglichkeit darstellen würde. Aber die digitale CMOS Logikschaltung vom Typ 4001 ist definitiv einfacher zu beherrschen und äußerst sparsam im Stromverbrauch. Allerdings benötigt sollte man sowohl eine akustische wie auch optische Signalisierung von detektierten Pulsen am Gebrauch des Geräts im Freien bei Sonne bzw. in Gegenwart des Außenlärm bemessen. Um eine helle LED gut zum Aufblitzen zu bringen bzw. einen kleinen Piezo-Signalgeber laut hörbar knacken oder sehr kurz Piepsen zu lassen, benötigt man schon eine Zeitdauer von etwa  $50\text{ms}$ . Dazu wurde die Zeitkonstante mit einem  $1\mu\text{F}$  Kondensator und einem  $470\text{k}\Omega$  Widerstand gegenüber dem Herstellervorschlag deutlich erhöht. Da die Zählrate des Moduls nicht sonderlich hoch ist, läuft man deswegen noch keine Gefahr die maximale Zählrate durch diese Maßnahme zu sehr zu begrenzen. Bei dem hier vorgestellten Prototyp wurde eine Umschaltung zwischen optischer und akustischer Signalisierung eingebaut. In der Praxis treten nämlich Situationen auf, wo entweder das eine oder das andere vorteilhaft ist. Dazu wurde zunächst ein Jumper vorgesehen, später hat sich aber erwiesen, dass Mikroschalter günstiger ist, da der Wechsel der Signalisierungsmodi doch öfters benötigt wird und man den Jumper leicht verlieren könnte.

Als optische Signalisierung wurde eine helle weiße LED mit großem Strahlungswinkel benutzt, welche auf der Rückseite der Platine platziert wurde, so dass man sie gut erkennen kann wenn man das Gerät mit dem Sensor nach unten in der Hand hält. Sie hat eine Schleusenspannung von etwa  $3\text{V}$ , damit ist ein  $100\Omega$  Vorwiderstand eine gute Wahl um den Strom auf etwa  $20\text{mA}$  einzustellen. Wird ein Puls registriert blitzt die LED gut sichtbar auf. Als akustischer Signalgeber wurde ein sehr kleiner Piezo-Signalgeber mit Helmholtz-Resonator und einer integrierten Elektronik für das Erzeugen eines  $2\text{kHz}$  Tons verwendet. Die Firma Ekulit bietet hier ein passendes Teil an (AL-60SP05), das über Conrad Elektronik unter der Nummer 541347 erhältlich ist. Bei einem Puls von  $5\text{V}$  mit ca.  $50\text{ms}$  Dauer erzeugt er einen gut hörbaren sehr kurzen Beep. Dieser Ton ist deutlich besser hörbar als ein Klick von einem Signalgeber ohne integrierte Signalerzeugung. Er hat eine der LED mit Vorwiderstand vergleichbare Reaktionszeit und Stromverbrauch, so dass beide Signalgeber alternativ über einen Bipolartransistor vom Typ BC547C

mit 10kOhm Basisvorwiderstand zuverlässig eingeschaltet werden können. Das Logik-IC vom Typ 4001 alleine würde keinen ausreichenden Strom dazu liefern.

Alle Komponenten lassen sich in einfacher Durchsteckmontage problemlos auf einer Platine, die kleiner ist als eine Zigarettenschachtel unterbringen. Bei Verwendung von SMD-Bauteilen lässt sich die Baugröße natürlich noch weiter verringern. Das Sensormodul wurde zu Testzwecken mit einer Buchsenleiste aufsteckbar gemacht. Die Zuleitungskabel zu den Akkus wurden zunächst nicht gekürzt bis sich die Akkus auch im Langzeitversuch als brauchbar erwiesen haben.

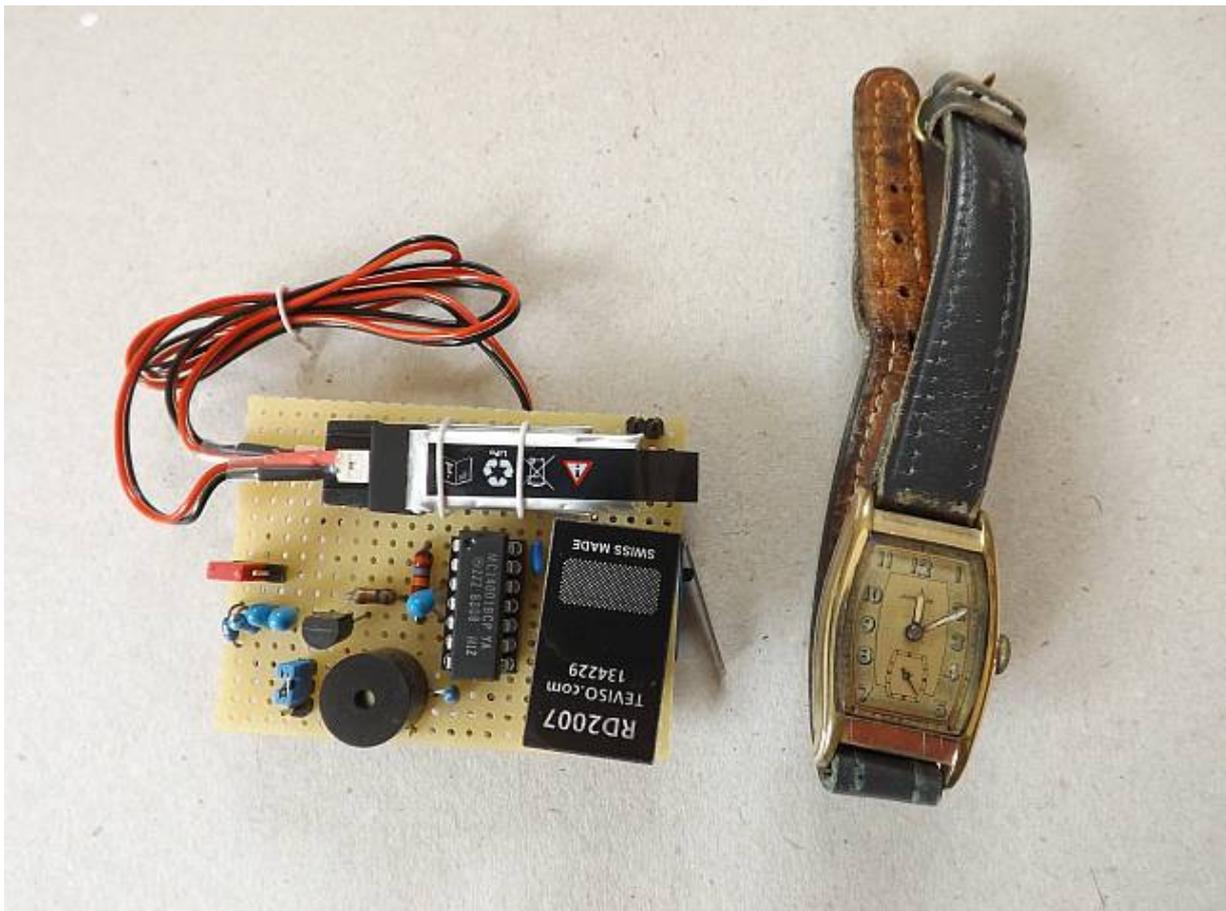


Abb. 3: Oberseite des Mini-Zähler-Prototyps vor einem „Flohmarkt-Objekt“

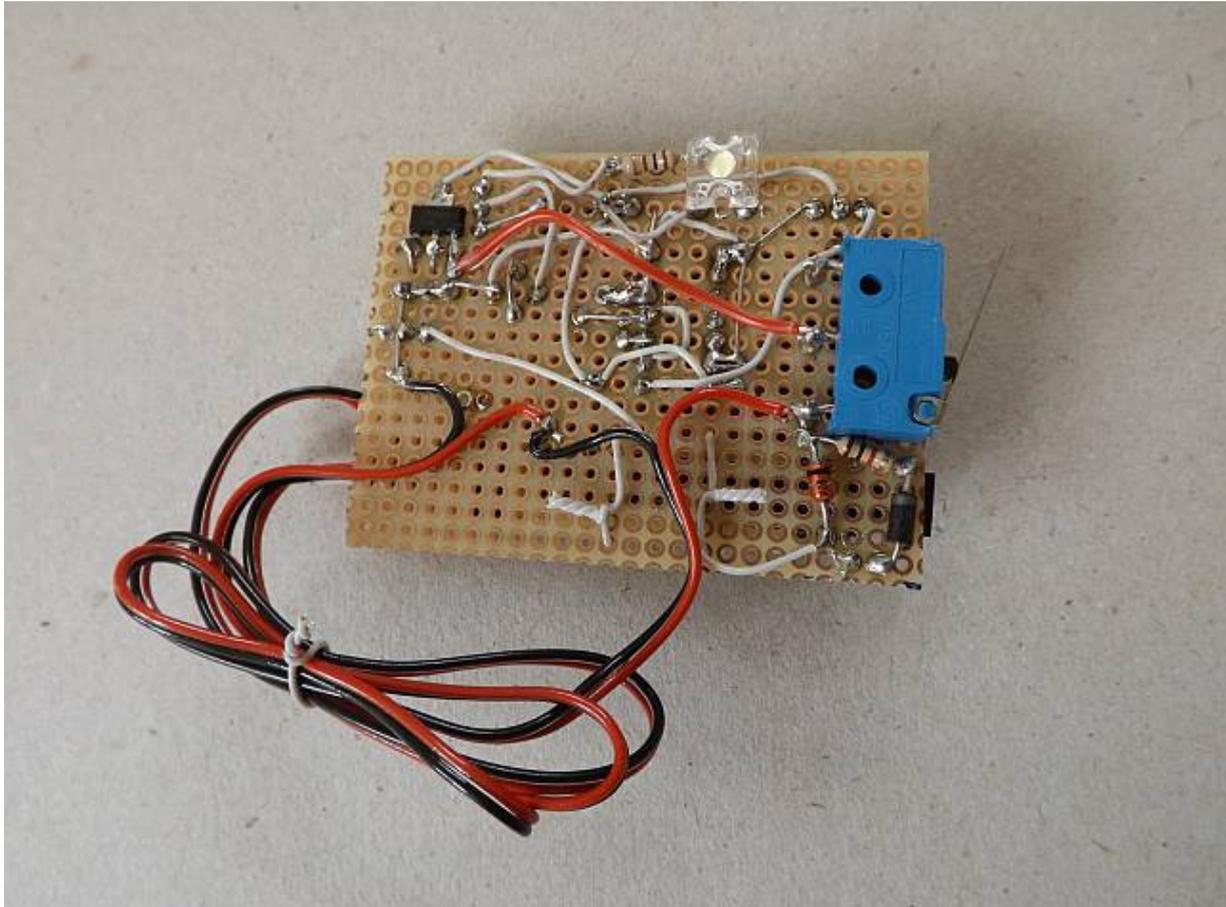


Abb. 4: Rückseite des Prototyps, am oberen Rand ist die LED zu erkennen , links der Linearregler LT3080

Im Hinblick auf die deutlich geringere Zählrate im Vergleich zu einem Zählrohr-betriebenen Gerät muss noch gesagt werden, dass sich das Gerät alleine mit dem Piezo-Signalgeber bzw. dem LED-Blitzlicht und ohne Zählleinrichtung nur wenig für Messungen an Niedrigdosis-Strahlern wie Kaliumchlorid, normalem Granit oder Phosphatdünger eignet. Wenn man jedoch eine Steckbuchse für ein Audiokabel auf der Platine anbringt und diese über einen 100nF an den Ausgang des Logik-IC anschließt, kann man mit einem PC-Audio-Aufzeichnungsprogramm (z.B. Audacity) die Zähl-Signale auch über längere Zeit aufzeichnen und mit dem PC auswerten. Die Impulse sind sehr leicht zu erkennen und man kann sie dann auch leicht über eine aufgezeichnete Dauer von z.B. 1 Stunde und der entsprechender grafischen Darstellung am PC auszählen. Die Nullrate liegt typischerweise bei 25 Impulsen pro Stunde. Eine Dose mit 100g Kaliumchlorid 99,9% aus der Apotheke erhöhen diesen Wert auf etwa 70 Impulse pro Stunde. Im Falle von Uhren mit Leuchtziffern, uranhaltigen Mineralien, Glas und Keramik sowie Thorium-haltigen Glühstrümpfen wird man aber in der Regel in Form von mehreren 10 Pulsen pro Minute sehr deutlich in ganz kurzer Zeit gewarnt.

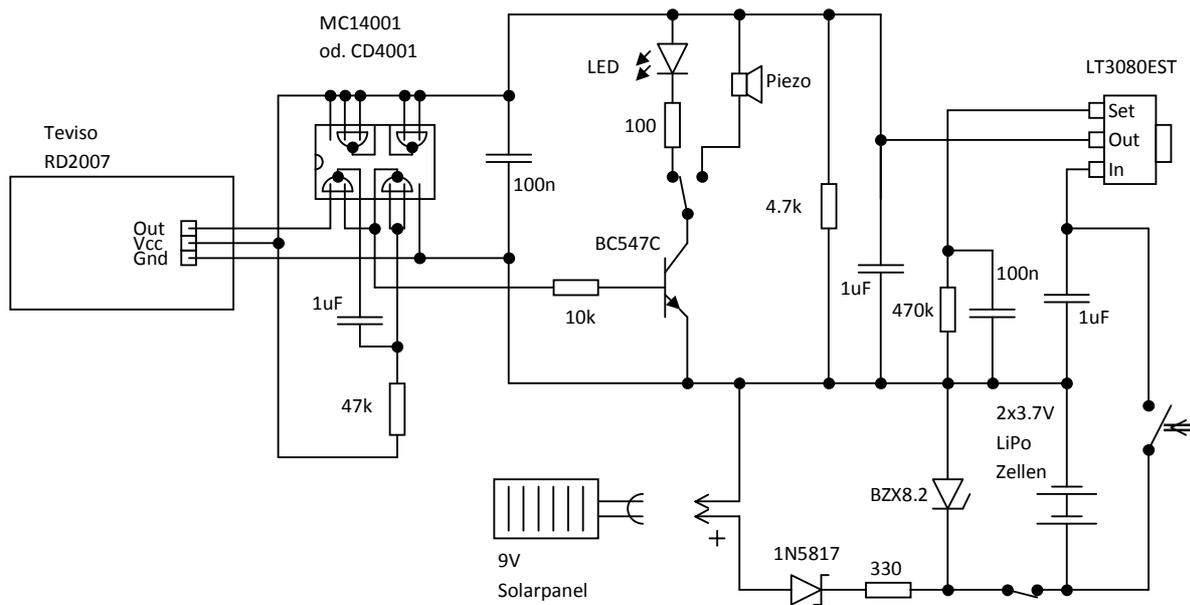


Abb. 5: Schaltplan des Mini-PIN-Dioden Zählers für Solarbetrieb

## Quellen:

/1/ Webseite des schweizerischen Sensormodulherstellers Teviso :

<http://teviso.com>

/2/ Bezugsquelle für die elektronischen Bauteile:

<http://conrad.de>

/3/ Das Teviso Pin-Dioden Sensormodul RD2007 als Detektor für radioaktive Strahlung

<http://opengeiger.de/TevisoModul.pdf>

/4/ "Tino" - Ein Messgerät für radioaktive Strahlung als Arduino-Shield auf Basis eines Teviso Sensormoduls

<http://opengeiger.de/Tino1.pdf>