

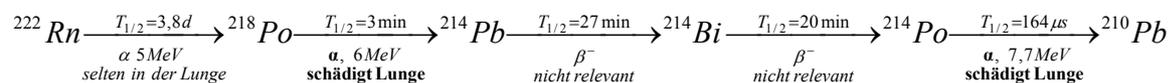
DIY-Messgerät zur Bestimmung der Radonzerfallskonzentration

(von Robert und Martin Queitsch)

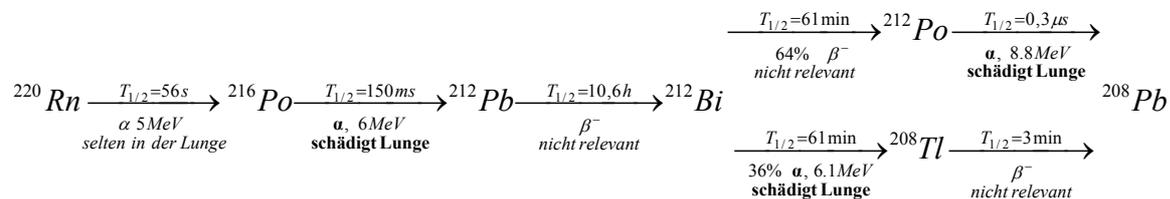
Motivation

In Höhlen treten oft sehr hohe Radonkonzentrationen auf. Es erweist sich daher als sinnvoll, zumindest vor längeren Höhlenaufenthalten entsprechende Messungen durchzuführen. Der Eigenbau eines Messgeräts für die Radonzerfallskonzentration soll hier kurz skizziert werden. Die Kalibrierung des Geräts aufgrund physikalischer und geometrischer Überlegungen ist deutlich aufwändiger als beim Gerät zur Messung der Folgeprodukte. Falls ein Vergleichsgerät zur Verfügung steht, ist aber eine recht einfache Kalibrierung möglich. Die Messung der Radonzerfallskonzentration ist notwendig, wenn der Gleichgewichtsfaktor bestimmt werden soll (siehe Beschreibung zur Folgeproduktmessung).

Die Zerfallsreihe des wichtigsten Radon-Isotops ^{222}Rn lautet:



Tritt das recht seltene Radon-Isotop ^{220}Rn auf, wird die Auswertung kompliziert. Einer der beiden Zerfallszweige von ^{212}Bi überlagert den Peak von ^{218}Po aus der ^{220}Rn -Zerfallsreihe:



Klarstellung: die Messungen mit Eigenbaugeräten ersetzen keine Messung mit offiziell zertifizierten und regelmäßig kalibrierten Geräten.

Beschreibung des Messverfahrens

Das in der Luft befindliche Radongas diffundiert durch eine Teflonmembran in eine Messkammer (Diffusionsgleichgewicht nach ca. 90 Minuten). Die Membran verhindert, dass Folgeprodukte in die Kammer von außen eintreten. Erst die in der Kammer neu entstehenden Folgeprodukte werden untersucht. Die Folgeprodukte sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 88% positiv geladen [1]. Dadurch können sie mittels eines elektrischen Felds von ca. 1500 Volt auf dem Halbleitersensor (Photodiode) abgeschieden werden. Die von den Folgeprodukten in Richtung der Sensoroberfläche ausgesandten Alphateilchen werden proportional zur deren Energie als Stromimpuls registriert. Da nur kleine Gasvolumina mit diesem Verfahren untersucht werden können, dauern Messungen mit ausreichender Statistik mindestens eine Stunde. Vorteil des Verfahrens ist, dass ein Loggerbetrieb realisiert werden kann. Alle Stunden wird das Spektrum im Speicher abgelegt und eine neue Messung gestartet. Der Stromverbrauch des Geräts liegt wegen der Hochspannungserzeugung bei rund 20mA. Bei Langzeitmessungen muss ein größerer Akku eingeplant werden!

Auswertung

Jedes Ereignis wird in einem der Energie zugeordneten Kanal gezählt. Der Zusammenhang zwischen Anzahl der Pulse je ROI und Aktivitätskonzentration ist proportional. In den Umrechnungsfaktor gehen letztendlich folgende Parameter ein:

- Anteil der positiv geladenen Isotope (88%)
- Anteil der registrierten Alphateilchen. Nur die in Richtung Oberfläche ausgesandten Alphateilchen werden registriert (50%).
- Die Ränder der Photodiode sind taub! Dort sind aber die elektrischen Feldgradienten besonders hoch, wodurch sich dort sehr viele Isotope ablagern können. Auch Metallstrukturen mit Massepotential in der Nähe des Sensors führen zur Abscheidung an unerwünschten Orten. Nur eine sorgfältige Untersuchung (Simulation) erlaubt die Bestimmung der verursachten Fehler. Durch geeignete Formgebung und Nutzung nur kleiner Volumina können die Fehlabscheidungen reduziert werden.
- Anteil der Isotope, die vor ihrem Zerfall abgeschieden werden können (Monte-Carlo-Simulation notwendig). Bei sehr kleinen Volumina (wenige cm^3) aber nahe 100%.
- Anteil der Ereignisse, die einer falschen ROI zugeordnet werden. Das passiert, wenn das Alphateilchen sehr flach in den Sensor eintritt und einen Großteil seiner Energie verliert bevor es den PN-Übergang erreicht. Über Statistik berechenbar.
- Neutralisationsraten bei hohen Aktivitätskonzentrationen. Bei hohen Aktivitäten stehen vermehrt freie Elektronen zur Verfügung, die das Folgeprodukt elektrisch neutralisieren können. Eine elektrostatische Abscheidung ist dann nicht möglich. Der Einfluss der Neutralisation wird durch kleine Messvolumina reduziert.
- Volumenverhältnis des erfassten Messvolumens zum Normvolumen 1 m^3
- Messzeit

Über Vergleichsmessungen kann der Faktor zu einem Isotop bestimmt werden. Am besten geht das mit dem Isotop ^{218}Po , weil sich dieser Wert innerhalb von rund zwei Stunden stabil einstellt. Für die anderen Isotope würde es deutlich länger dauern, bis sich Gleichgewichte einstellen bzw. bis sich ausreichend hohe Zählwerte (Peakhöhen) ergeben. Der Umrechnungsfaktor für ^{218}Po kann auf alle anderen Isotope übertragen werden, ohne allzu große Fehler zu machen. Fehler entstehen nur, wenn die ROIs unglücklich festgelegt wurden. Hierzu ein möglichst "schönes" Spektrum abwarten und dann die Grenzen zwischen den Peaks festlegen.

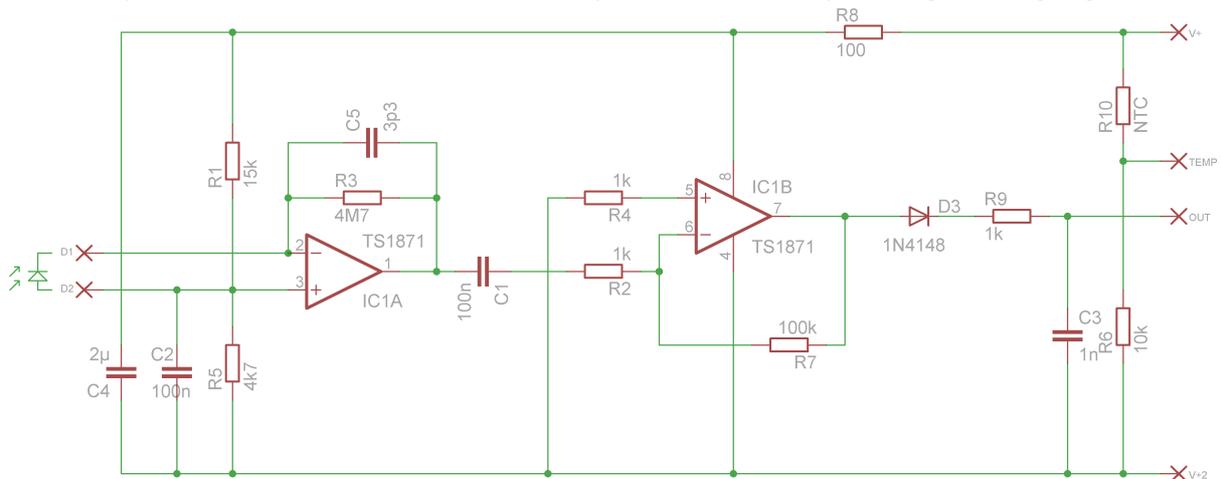
Anhang

Sensorverstärker und Peakdetektor (in Metallgehäuse einbauen)

Die Schaltung arbeitet mit nur einer Versorgungsspannung. Leichte Temperaturabhängigkeit besteht, weil die Diode D3 nicht in den Rückkopplungszweig integriert werden kann. Für eine Temperaturbestimmung am Verstärker kann der NTC-Widerstand verwendet werden. Der hier verwendete rail-to-rail-Operationsverstärker kann am Eingang auch Spannungen verarbeiten, die leicht negativ gegenüber der Masse sind (wichtig für IC1B).

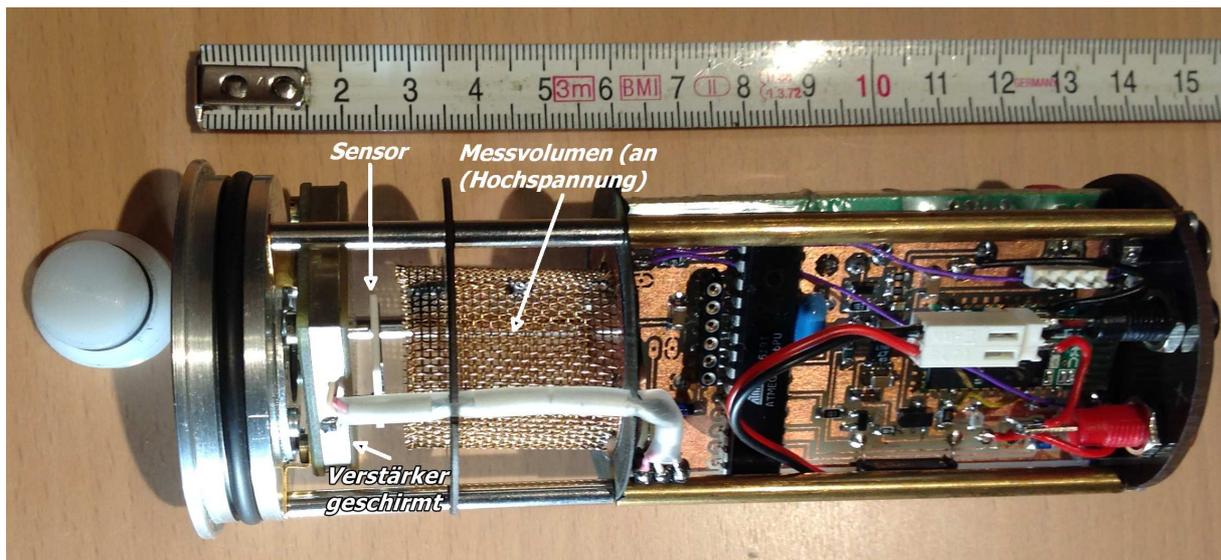
Der Kondensator C3 wird direkt mit dem AD-Wandler des Prozessors verbunden. Nach einem Zerfallsereignis bleibt die Spitzenspannung solange im Kondensator erhalten, bis der Controller den AD-Eingang aktiv auf L-Pegel zieht. Dazu muss der entsprechende Pin kurzzeitig auf einen Digitalausgang umkonfiguriert werden. Sowohl die Schaltung als auch der

Prozessor werden mit einer geregelten Spannung von 5 Volt versorgt (AD-Wandler: 5 Volt Referenz). R8 dient zusammen mit C4 als Tiefpassfilter für die Spannungsversorgung.



[Hochspannungsgenerator](#)

Als Hochspannungsgenerator können CCFL-Inverter für kleine Monitor-Hintergrundbeleuchtungen verwendet werden. Die Spannung muss aber noch mit geeigneten Dioden gleichgerichtet werden (evtl. mit Greinacher- oder Villard-Schaltung).



Ausführungsbeispiel mit Messkorbvolumen 12 cm³. Die Schaltung wird in ein Aluohr gas- und wasserdicht eingeschoben. Der Stopfen wird für Langzeitmessungen über den Höhlenaufenthalt hinaus verschlossen.

[Tipps zur Programmierung:](#)

Die spektrale Analyse der Alphaenergien geschieht folgendermaßen: Der Prozessor misst solange die Sensorspannung, bis sie etwas abfällt. Der Maximalwert wird abgespeichert und die Speicherkapazität anschließend wieder entladen. Der Maximalwert bestimmt welcher Energiekanal incrementiert wird. Ideal ist es, etwa 32 Energiekanäle im Bereich zwischen 1,5 Volt und 3 Volt vorzusehen (entspricht etwa 4,5 - 9 MeV). Eine zu hohe Energieauflösung (zu viele Kanäle) führt zu niedrigen Zählraten je Kanal wodurch Peaks dann kaum mehr erkennbar sind. Bei der Verwendung niedrig getakteter Prozessoren (z.B. ATMEL-Mega-Serie) ist eine in Assembler erstellte Routine notwendig, um die notwendigen Reaktionszeiten zu erreichen.

Mehrere Kanäle werden zu ROIs (**Regions Of Interest**) zusammengefasst. Die Energiekalibrierung erfolgt über Messungen z.B. im Keller. Dort tritt in der Regel nur Radon 222 auf. Es zeigt sich ein Peak bei 6 MeV für Po-218 und ein Peak bei 7,7 MeV für Po-214. Von Glühstrümpfen als Radonquelle wird hier abgeraten, weil der Sensor nach Aufnahme eines Spektrums für zwei Tage nicht genutzt werden kann (Po-212 ist mit 11 Stunden HWZ sehr langlebig). Besser ist es, einen alten Wecker mit Radiumleuchtziffern zu erstehen. Damit kann in einem abgeschlossenen Gefäß ein Messgas für ^{222}Rn erzeugt werden.

Geeignete Photodioden:

BPX-61:

PIN-Diode mit $2,65 \times 2,65 \text{ mm}^2$ aktiver Fläche. Das Gehäuse muss durch vorsichtiges Anschleifen rund um das Fenster geöffnet werden. Der kleine Chip befindet sich in einer metallischen Senke. Dadurch werden viele Isotope an unerwünschten Orten abgeschieden. Evtl. die Kontaktierung mit einem winzigen Tropfen Zweikomponentenkleber gegen mechanische Einflüsse sichern. Wenn das Umfeld des Chips mit dem Kleber isoliert wird, können die Abscheidungen an falschen Orten reduziert werden. R3 muss für diesen Sensor auf ca. 1,5 Megaohm reduziert werden.

Bezug:

Conrad, Pollin, Reichelt... halt die üblichen Verdächtigen. Preis ca. 12 €

Silonex DS-SLCD-61N5:

blanker Chip mit großer Sensorfläche ($9,5 \times 9,5 \text{ mm}^2$). Bei Mouser als PIN-Diode gelistet. Das ist aber wahrscheinlich falsch, weil die Kapazität der Diode sehr hoch ist. Die Chips sind trotzdem gut für unsere Messungen geeignet. Unbedingt mehr als einen Chip bestellen - der erste geht beim Löten sicher kaputt.

Bezug:

Für Privatbestellungen derzeit nur bei Mouser erhältlich. Sonst noch bei Farnell oder Digikey. Preis ca. 20 €

Solarzellen sind definitiv ungeeignet. Ideal sind großflächige PIN-Dioden (Spezialhersteller: Hamamatsu, Perkin-Elmer, Vishay - alle hervorragend geeignet, aber viel zu teuer).

Quellen und weiterführende Literatur

- [1] V. Dankelmann, A. Reineking, und J. Postendörfer, „Determination of Neutralisation Rates of ^{218}Po Ions in Air“, *Radiation Protection Dosimetry*, Bd. 94, Nr. 4, S. 353–357, Apr. 2001, doi: [10.1093/oxfordjournals.rpd.a006510](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006510).
- [2] A. Cigna, „Radon in caves“, *IJS*, Bd. 34, Nr. 1/2, S. 1–18, Jan. 2005, doi: [10.5038/1827-806X.34.1.1](https://doi.org/10.5038/1827-806X.34.1.1).
- [3] H. von Philippsborn und R. Geipel, *Radioaktivität und Strahlungsmessung*, 8. Aufl. in Blaue Buchreihe. 2006. Zugegriffen: 27. März 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wolkersdorfer.info/publication/pdf/stmugv_app000009.pdf