

Entwicklung neuer Sonden für die Messung von Photonen-Dosisleistungen bis zu 100 Sv/h



U. Hoffmann¹⁾, A. Meister¹⁾, T. Gantz¹⁾, C.-M. Herbach¹⁾, R. Steiner²⁾



¹⁾ VacuTec Meßtechnik GmbH, Deutschland

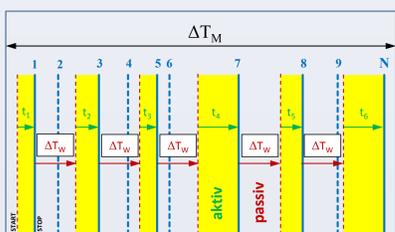
²⁾ Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH, Deutschland

Geiger-Müller Zählrohre im START-STOP-Betriebsmodus

Geiger-Müller-Zählrohre (GMZ) sind als einfache, robuste und zuverlässige elektronische Detektoren besonders für Messungen der Ortsdosisleistung (ODL) in intensiven Gamma-Strahlungsfeldern geeignet. Die ODL wird dabei von der Ereignisrate \dot{r} abgeleitet. Durch Auswahl von GMZ mit angepasster Detektor-Response ε_{Det} können verschiedene ODL-Bereiche erfasst werden:

$$\text{ODL} = \dot{r} / \varepsilon_{\text{Det}}$$

Traditionell werden GMZ mit konstanter Hochspannung betrieben. Die Ereignisrate \dot{r} wird dabei aus der Impulzzählung bei vorgegebener Messzeit bestimmt. Zählverluste infolge von Totzeiten können aber bewirken, dass die Messung \dot{r}_M stark von der gesuchten Rate \dot{r} abweicht. Problematisch ist, dass die Totzeit ($\tau = 10\text{--}200 \mu\text{s}$) bei hohen Zählraten nicht konstant bleibt. Die Berechnung von \dot{r} aus \dot{r}_M verlangt daher aufwändige Kalibrierungen. Auch kann es nach der Sättigung bei weiter ansteigender ODL zum totalen Ausfall der GMZ-Signale kommen.

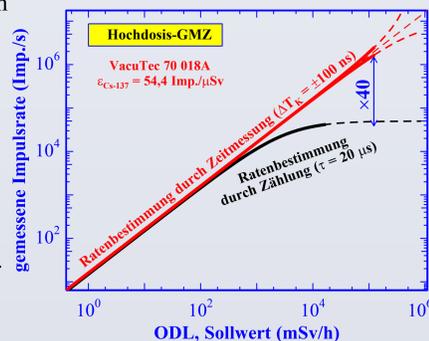


Impulzzählung
 $\dot{r}_M = N / \Delta T_M$
 alle N Ereignisse müssen nachgewiesen werden
 → Totzeitkorrektur

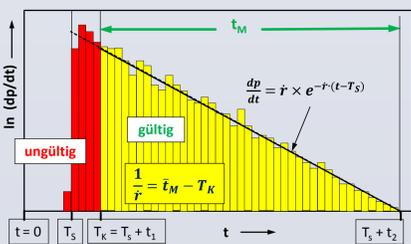
START-STOP
 $\dot{r}_M = 1 / \bar{t}$
 Zahl der Zeitmessungen < N ist ohne Einfluss
 → keine Totzeitkorrektur

Bei der Sonde VacuTec 70 091 wurde die Zählung durch ein totzeit-unabhängiges Verfahren ersetzt. Gemessen werden die Zeitintervalle t_i vom Start der Aktivierung des Detektors bis zur Generierung des ersten Impulses. Aufeinanderfolgende Messungen sind möglich, wenn die Arbeitsspannung des GMZ sehr schnell (in ca. 50 ns) auf Pegel über und unter die Einsatzspannung geschaltet werden kann. Mit dem STOP-Signal wird die Hochspannung auf den unteren Pegel geführt; das Zählrohr bleibt bis zum Ende der „Wartezeit“ $\Delta T_W \gg \tau$ unempfindlich. Nach ΔT_W hat sich das Zählrohr immer vollständig erholt. Dadurch wird der Signalverlust des GMZ auch bei hohen ODL ausgeschlossen.

Die Messung der mittleren Zeit \bar{t} ist unabhängig von ΔT_W , nicht alle Ereignisse müssen erfasst werden. Eine konstante GMZ-Response wird bis zu hohen Ereigniszählraten \dot{r} gewährleistet. Systematische Abweichungen resultieren aus Unsicherheiten der Zeitmessung und können auf ca. 100 ns begrenzt werden. Für ein typisches Hochdosis-GMZ wird dadurch die obere Bereichsgrenze im START-STOP-Modus gegenüber der Zählung erheblich erweitert. Die Methode wurde schon in den 1950er Jahren diskutiert [1], eine Möglichkeit ihrer Realisierung wurde erstmals in [2] vorgestellt.



Mathematische Grundlagen und Korrekturen

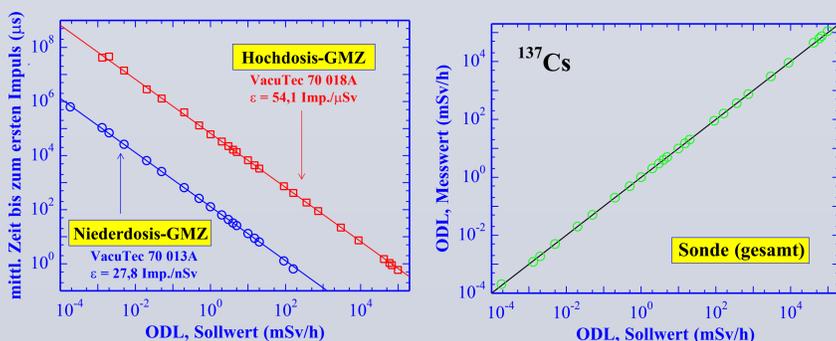


Die Verteilungsdichte dp/dt der Zeiten bis zum ersten Impuls gehorcht der Poisson-Statistik und fällt exponentiell ab. Die Mittelung der Zeit t erfolgt in den Grenzen t_1 und t_2 . Die Bedingung $t_2 \gg \bar{t}$ ist meist für $\text{ODL} > 5 \text{ nSv/h}$ erfüllt, ein Offset $t_1 > 0$ erfordert jedoch die Korrektur:

$$\bar{t}(t_1, \infty) = (1 + \dot{r} \times t_1) / \dot{r}$$

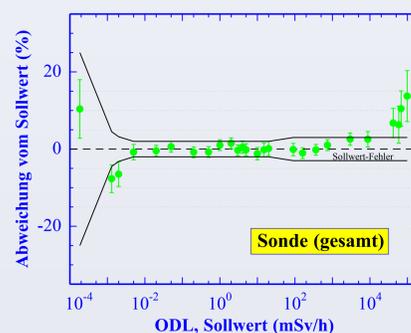
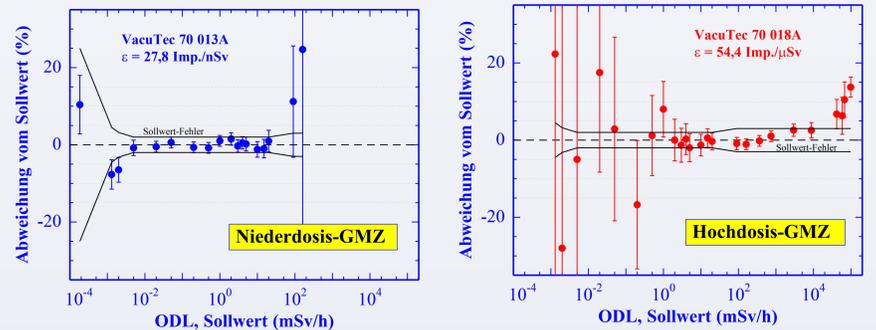
Der Start der Zeitmessung $t = 0$ wird von der Steuerung der Hochspannung abgeleitet. Bis zur vollständigen Aktivierung des GMZ vergeht die Verzögerungszeit T_S . Ereignisse in der Nähe von T_S werden durch den Offset t_1 aussortiert. Zur Berechnung der Ereignisrate \dot{r} ist die Summe $T_K = (T_S + t_1)$ vom Messwert \bar{t}_M abzuziehen. Der Anteil ungültiger Zeiten $t_i < T_K$ steigt mit der Ereignisrate \dot{r} an und definiert die obere Bereichsgrenze des GMZ. Überschreitet dieser Anteil eine gesetzte Schwelle, wird ein Überlauf signalisiert. Für hohe Zählraten \dot{r} wird die Güte der ODL-Messung vom Fehler der Korrektur T_K bestimmt. Die Sonde vom Typ VacuTec 70 091 detektiert T_K aus der aktuellen Zeitverteilung dp/dt . Bei Fehlern von $|\Delta T_K| < 100 \text{ ns}$ können Ereignisraten $\dot{r} \approx 10^6 \text{ Imp./s}$ mit systematischen Abweichungen $< 10\%$ gemessen werden.

Messungen der Ortsdosisleistung im ¹³⁷Cs-Strahlenfeld



Für den Einsatz bei der KTE (Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH, ehemals WAK GmbH) wurde eine Sonde mit zwei GMZ unterschiedlicher Response im Strahlungsfeld von ¹³⁷Cs getestet. Beide GMZ werden mit konstanter Wartezeit $\Delta T_W = 2 \text{ ms}$ betrieben.

Die Zeitmessung erfolgt mit einer Taktfrequenz von 40 MHz. ODL-Ergebnisse hoher Präzision werden auch bei sehr kleinen Messzeiten $\bar{t} \approx 1 \mu\text{s}$ erreicht. Das angezeigte Gesamtergebnis der Sonde entspricht der gewichteten Summation der Einzelmessungen.



Die Ergebnisse der unabhängig voneinander arbeitenden GMZ werden in einer zentralen Steuereinheit zusammengefasst.

Mit dem Niederdosis-GMZ werden ODL von ca. 300 nSv/h bis zu ca. 30 mSv/h gemessen. Bei ca. 200 mSv/h zeigt es Überlauf an und wird dann nicht mehr für das Gesamtergebnis berücksichtigt. Das Hochdosis GMZ liefert ab 3 mSv/h Daten guter Statistik. Systematische Abweichungen zum Sollwert treten erst bei ca. 10 Sv/h auf, auch bei 100 Sv/h liegen die Abweichungen noch unter 20%.

Messungen an radioaktiven Abfällen bei der KTE



Die GMZ der Sonde sind mit energiekompensierenden Korrektiven ausgestattet und ermöglichen die Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis und -Dosisleistung nach den Vorgaben der Norm IEC 60846-1 im Energiebereich von 35-2000 keV (Niederdosis) bzw. 70-4500 keV (Hochdosis).

Die Sonde verfügt über ein integriertes Alarmsystem. Zwei Algorithmen stehen für die Erkennung von Alarmzuständen zur Verfügung

- **Warnschwelle:** Überschreiten vordefinierter Grenzen bei der Messung der Dosis und der Dosisleistung
- **Peak-Finder:** Signalisierung einer signifikanten Erhöhung der Dosisleistung

Die Lage der Warnschwellen und die Empfindlichkeit des Peak-Finders können über die Sonden-Software konfiguriert werden. Die Sonde verfügt über eine integrierte Uhr und eine Datenlogger-Funktion im nichtflüchtigen Speicher. Alle Ergebnisse werden über entsprechende Datenprotokolle für die weitere Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Ausführliche Informationen dazu unter <http://www.vacutec-gmbh.de>.



Die Elektronik der Sonde verteilt sich auf zwei voneinander getrennte Komponenten. Wenige elektronische Bauelemente sind unmittelbar am Zählrohr angebracht. Gut vor Umwelteinflüssen geschützt, befinden sie sich mit dem Zählrohr in einem dünnwandigen Al-Gehäuse der Schutzart IP 65. Über 10 m lange Kabel werden die GMZ an die gemeinsame Steuer- und Analyseeinheit angeschlossen. Diese ist entfernt von der strahlenden Probe und gut abgeschirmt positioniert. Ein Messplatz zur Bestimmung der Dosisleistungen an Containern mit radioaktiven Abfällen wurde 2017 von der KTE mit mehreren Sonden vom Typ VacuTec 70 091 ausgerüstet und befindet sich gegenwärtig im Probebetrieb.

Zusammenfassung

Für die Messung der Photonenstrahlung an hochradioaktiven Proben wurde eine aus zwei halogenelöschten Geiger-Müller-Zählrohren bestehende Sonde entwickelt. Sie ermöglicht die zuverlässige Bestimmung der Äquivalentdosis sowohl bei natürlichem Untergrund als auch bei hohen Dosisleistungen von 100 Sv/h. Im Unterschied zur traditionellen Betriebsweise wird die Messung der Dosisleistung zurückgeführt auf die Bestimmung der mittleren Zeit vom Anlegen der Betriebsspannung bis zum Eintreffen des ersten Signals. Grundlage dafür ist ein gesteuertes Zu- und Abschalten der Arbeitsspannung. Die gute intrinsische Linearität der Detektorresponse gestattet es, den oberen Dosisleistungsbereich um 1-2 Dekaden zu erweitern. Von Bedeutung für den Einsatz der Sonde bei intensivster Strahlung ist die Verlängerung ihrer Lebenserwartung.

Referenzen

- [1] T.J. Lewis, Geiger-counter operation without dead-time, Appl. Sci. Res. B5, p. 305, 1955
- [2] E.J. Dilanni, H.J. Cooley, M. Fujita, C.V. Noback, Patent US 4605859, 1986