

Kalibrierung und Monte-Carlo-Simulation eines Halbleiterspektrometers zur Aktivitätsbestimmung von Hg-197 und Hg-197m

R. Freudenberg, M. Vogel, J. Kotzerke | Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin am Universitätsklinikum Dresden

Motivation, Problemstellung

Die Quecksilberisotope Hg-197 und Hg-197m eignen sich aufgrund ihrer Umwandlungseigenschaften zur diagnostischen und therapeutischen Anwendung in der Nuklearmedizin. Während die emittierten Röntgen- und Gammaquanten die Lokalisation ermöglichen, erfolgt durch die begleitenden Auger- und Konversions-elektronen regional eine hohe Dosisdeposition. Mittels Halbleiterspektrometrie sollten die Quecksilberaktivitäten exakt bestimmt werden, um zukünftig die Kalibrierung eines Aktivimeters zu ermöglichen. Zusätzlich wurden Monte Carlo Simulationen zur Bestimmung der Detektoreffizienz und zur Untersuchung der Geometrieabhängigkeit durchgeführt.

Methodik

- Messgerät: GC2018-7500SL High-Purity Germanium-Detektor (HPGe) der Firma Canberra
- Experimentelle Bestimmung der Vollenergiepeak-Effizienz für punktförmige Kalibrierquellen in verschiedenen Abständen zur Reduktion von Koinzidenzen
- Monte-Carlo-Simulation des Detektors mittels Geant4:
 - Geometrie aus Herstellerangaben, Röntgen- und CT-Aufnahmen
 - iterative Anpassung verschiedener Parameter durch Vergleich simulierter und experimenteller Effizienzen (2), (3)
- Bestimmung der Effizienz für Energien zwischen 100...400 keV durch Interpolation
- Simulation diverser Quellgeometrien (Punktquellen, Vials mit variablen Füllvolumina)
- Aktivitätsbestimmung für Hg-197 und Hg-197m durch Auswertung verschiedener Peaks

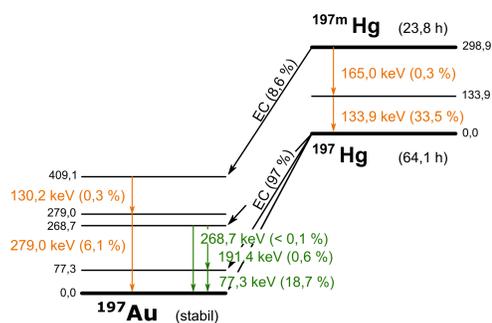


Abb. 1: Umwandlungsschema von Hg-197 und Hg-197m mit den wichtigsten Photonenemissionen (1)

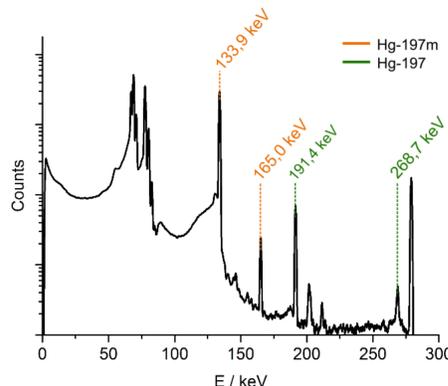


Abb. 2: Spektrum eines Hg-197-/Hg-197m-Gemischs mit den zur Aktivitätsbestimmung genutzten Peaks.

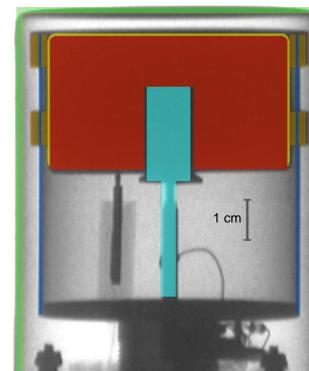


Abb. 3: Überlagerung des in Geant4 modellierten Detektors mit einer planaren Röntgen-Aufnahme. Wichtige Elemente sind der sensitive Kristall (rot), die Totschicht (gelb), der Kühlfinger (hellblau) sowie die Endkappe (grün).

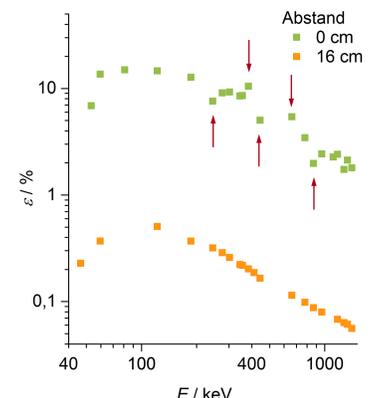


Abb. 4: Vergleich der gemessenen Detektoreffizienz ϵ für Punktquellen in zwei verschiedenen Abständen zur Endkappe. Deutlich sichtbar ist der Einfluss von Koinzidenzen für kleine Abstände (rote Pfeile).

Ergebnisse und Diskussion

Die simulierten Effizienzen der Kalibrierquellen weichen bis zu 20 % von den experimentell bestimmten Werten ab (Abb. 5). Aufgrund der großen Abweichung wurde im Weiteren mit den experimentell bestimmten Werten gearbeitet. Diese Effizienzen wurden für die Messung in Vials mit aus der Simulation bestimmten Geometriefaktoren korrigiert (Abb. 6).

Bei der Auswertung der Hg-197- und Hg-197m-Peaks variiert die ermittelte Aktivität je nach betrachtetem Peak (Abb. 7). Für eine verlässliche Aktivitätsbestimmung ist die Frage nach den zu verwendenden Emissionslinien noch zu klären. Insbesondere das für die Berechnung der Zerfallskinetik bedeutsame Anfangsaktivitätsverhältnis ($A_{\text{Hg-197}}/A_{\text{Hg-197m}} = 1,2...2,4$) ist bislang erheblichen Unsicherheiten unterworfen.

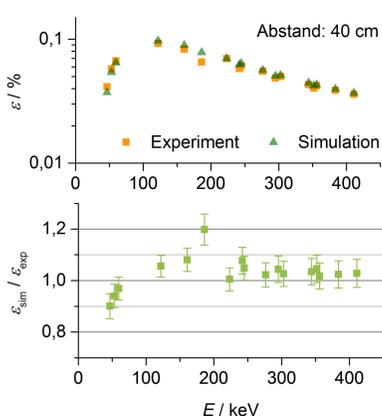


Abb. 5: Vergleich der experimentellen und simulierten Effizienzen bei einem Abstand von 40 cm zwischen Quelle und Endkappe.

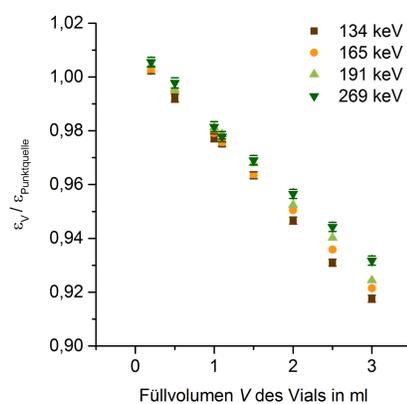


Abb. 6: Simulationsergebnisse zur Abhängigkeit der Effizienz des HPGe-Detektors für verschiedene Füllvolumina eines Vials bezogen auf die Effizienz einer Punktquelle.

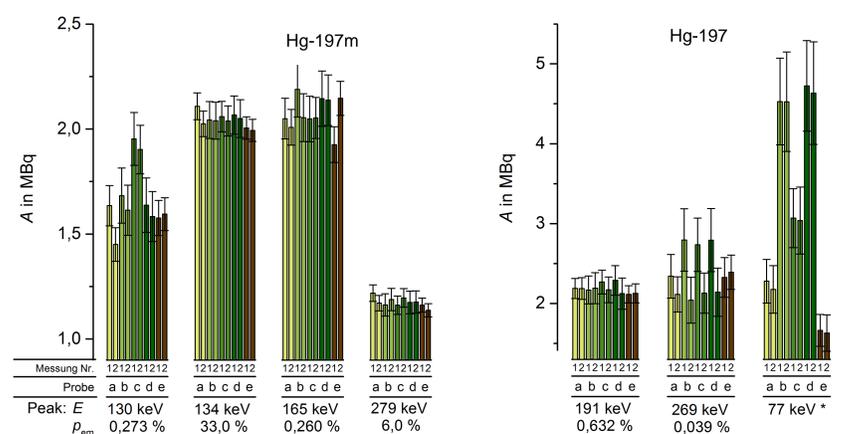


Abb. 7: Berechnete Aktivität von Hg-197m und Hg-197 zum Referenzzeitpunkt in Abhängigkeit des ausgewerteten Peaks. Jede der fünf Proben enthält die gleiche Aktivitätsmenge und wurde zwei Mal am HPGe-Detektor gemessen. Der 77 keV – Peak wird von mehreren Röntgen-Fluoreszenzen überlagert und liegt in einem Bereich großer Unsicherheit der Effizienz, weshalb er nicht zur Aktivitätsbestimmung genutzt werden sollte.

Ausblick

Einflussfaktoren der Aktivitätsbestimmung prüfen:

- Emissionswahrscheinlichkeiten p_{em} und Aktivitäten der Kalibrierquellen
- Simulierte Geometriefaktoren
- Emissionswahrscheinlichkeiten von Hg-197m und Hg-197

Nach Klärung der offenen Fragen kann Kalibrierung eines Aktivimeters erfolgen.

Literatur

(1) Walther, M., Preusche, S., Bartel, S., Wunderlich, G., Freudenberg, R., Steinbach, J. und Pietzsch, H. J.: *Theranostic mercury: Hg-197(m) with high specific activity for imaging and therapy*. Applied Radiation and Isotopes, 97:177–181, 2015.

(2) Hurtado, S., García-León, M. und García-Tenorio, R.: *GEANT4 code for simulation of a germanium gamma-ray detector and its application to efficiency calibration*. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A, 518(3):764, 2004.

(3) Bochud, F., Bailat, C. J., Buchillier, T., Byrde, F., Schmid, E. und Laedermann, J.-P.: *Simple Monte-Carlo method to calibrate well-type HPGe detectors*. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A, 569(3):790–795, 2006.