

Zerstörungsfreie Charakterisierung Radioaktiver Abfälle

M. Schumann¹, R. Engels², M. Frank⁴, S. Furltov², J. Furltova², C. Genreith¹, A. Havenith^{1,3}, G. Kemmerling², J. Kettler^{1,3}, T. Krings¹, E. Mauerhofer¹, D. Neike³, M. Rossbach¹, O. Schithelm⁵, R. Vasques⁴, C. Carasco⁶, E. Payan⁶, B. Perot⁶, J.-L. Ma⁶

¹Institut für Energie- und Klimaforschung - Nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit, Forschungszentrum Jülich GmbH
²Zentralinstitut für Engineering, Elektronik und Analytik – Systeme und Elektronik, Forschungszentrum Jülich GmbH
³Institut für Nuklearen Brennstoffkreislauf, RWTH Aachen
⁴MATHCCES, Department of Mathematics, RWTH Aachen
⁵Corporate Technology, Siemens AG
⁶Nuclear Measurement Laboratory, DEN, CEA, Cadarache



Einführung und Problematik



Zerstörungsfreie Charakterisierung von radioaktiven Abfallfässern

Radioaktiver Abfall unterliegt diversen Prozessen der Qualitätskontrolle, um radiologische und chemotoxische Anforderungen für den Transport, die Zwischenlagerung und die Endlagerung zu erfüllen. Besondere Relevanz bei der Charakterisierung radioaktiver Abfallfässer haben zerstörungsfreie Analyseverfahren, da hier im Gegensatz zu zerstörenden Verfahren eine Probenahme sowie eine langwierige Vor- und Aufbereitung der Messproben für die verschiedensten Analyseverfahren vermieden wird. Das Institut für Energie- und Klimaforschung – Nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit des Forschungszentrums Jülich forscht unter anderem im Rahmen verschiedener Kollaborationen an der Neu- und Weiterentwicklung von zerstörungsfreien Messverfahren für die routinemäßige Charakterisierung radioaktiver Abfallfässer.



Segmentiertes Gamma-Scanning

Die zerstörungsfreie radiologische Charakterisierung von Abfallfässern mit vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen wird mit Hilfe von Segmentierten Gamma-Scan (SGS) Messungen durchgeführt. Um die Aktivitäten von homogenen und punktförmigen Quellen präzise und verlässlich zu bestimmen wurde ein neues Auswertprogramm mit dem Namen SGSreco entwickelt.



Abb. 1: Das Gamma-Scan-System Gernod 2 im Forschungszentrum Jülich.
 1) Halbleiterdetektor mit Kollimator
 2) Dewar mit flüssigem Stickstoff
 3) Dosisleistungssonde
 4) Drehtisch
 5) Hubsystem für den Detektor
 6) Fass mit radioaktivem Abfall

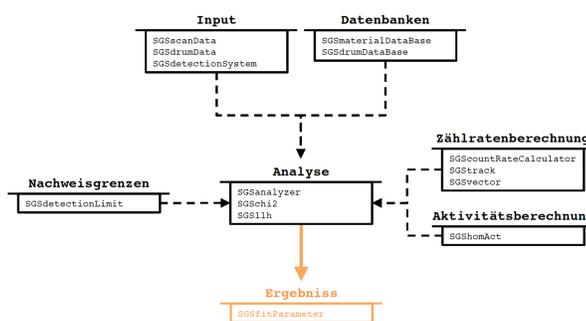


Abb. 2: Flowsheet für das SGSreco-Framework. Auf der Basis von a priori bekannter Daten werden in SGSreco Zählratenverteilungen berechnet, die optimal mit den gemessenen Verteilungen übereinstimmen.

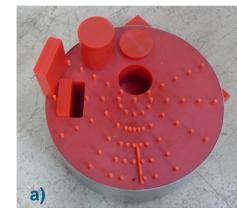
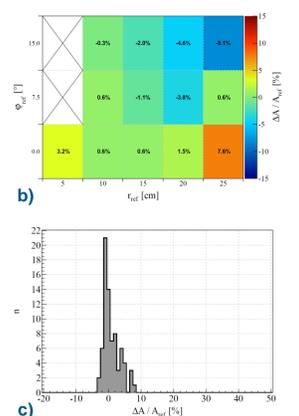


Abb. 3: a) Testsegment für die Messung von Punktquellen an bekannten Positionen im Abfallfass. b) Genauigkeit der Aktivitätsrekonstruktion für die verschiedenen Quellpositionen. c) Abweichungen in der Aktivitätsrekonstruktion bei zwei Punktquellen im selben Segment.



MEDINA

In Kooperation mit: RWTH AACHEN UNIVERSITY, CEA

Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse

Um nicht-radioaktive Elemente und Substanzen in Abfallfässern zu identifizieren und quantifizieren wurde die MEDINA (Multi Element Detection based on Instrumental Neutron Activation) Testeinrichtung entwickelt. Grundlage hierbei ist die prompte (PGNAA) und verzögerte (DGNAA) Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse unter Verwendung eines 14MeV Neutronengenerators.

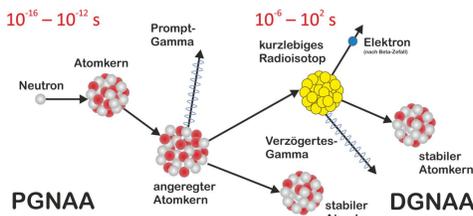


Abb. 4: MEDINA
 1) Halbleiterdetektor mit Neutronenabschirmung
 2) Dewar mit flüssigem Stickstoff zur Kühlung des Detektors
 3) Neutronengenerator
 4) Graphikammer

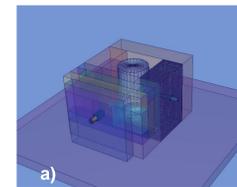
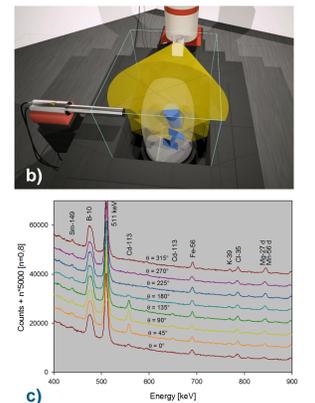


Abb. 5: a) MCNP Model der MEDINA Anlage. b) Computersimulation mit Sichtkegel des Detektors. c) Nachweis von 137g Cd in einem 200l Fass (200kg Beton + 53kg Eigengewicht).



TANDEM

In Kooperation mit: TUM, EK, BERKELEY LAB

Prompt-Gamma-Aktivierungsanalyse

Zur Bestimmung von Actinoiden in Proben mittels Prompt-Gamma-Aktivierungsanalyse (PGAA) ist es essentiell den partiellen Wirkungsquerschnitt für Neutroneneinfang so genau wie möglich zu kennen, um quantitative Aussagen treffen zu können. Das Ziel der TANDEM (Trans-uranium Actinides' Nuclear Data – Evaluation and Measurement) Kollaboration ist es, nukleare Daten in den PGAA Einrichtungen in München und Budapest zu bestimmen.

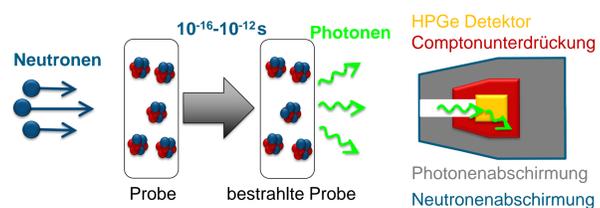


Abb. 6: a) Messeinrichtung in Budapest. b) Model des Detektors in Geant4. c) Energiespektrum einer 90min bestrahlten ²⁴²PuO₂ Probe (blau) und Untergrundmessung (rot).

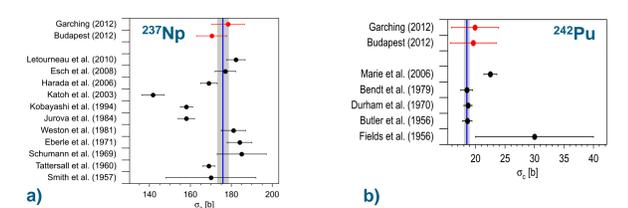
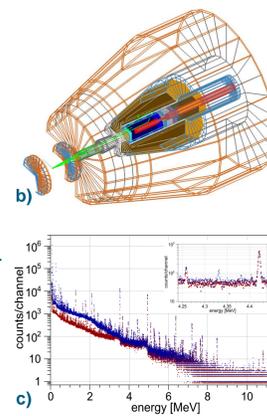


Abb. 7: Wechselwirkungsquerschnitt für Neutroneneinfang, gemessene Werte (rot) und ENDF-Werte (blaue Linie) für ²³⁷Np und ²⁴²Pu.

	Budapest σ_γ in barn	Garching σ_γ in barn	ENDF-Werte in barn
²⁴² Pu	19.6 ± 3.9	19.9 ± 4.0	18.5 ± 0.5
²³⁷ Np	170.4 ± 7.4	178.3 ± 8.0	175.9 ± 2.9

NISRA

In Kooperation mit: RWTH AACHEN UNIVERSITY, SIEMENS

Neutronenradiographie

In Zusammenarbeit zwischen dem Forschungszentrum Jülich, der RWTH Aachen und der Siemens AG wird die Machbarkeit eines kompakten Systems zur Radiografie mit schnellen Neutronen untersucht (NISRA, Neutron Imaging System for Radioactive-waste Analysis). Das System basiert auf einem 14MeV Neutronengenerator, einem amorph-Silizium-Detektor, der mit einem speziellen Konverter/Szintillator gekoppelt ist, sowie einem innovativen Bildrekonstruktionsalgorithmus.

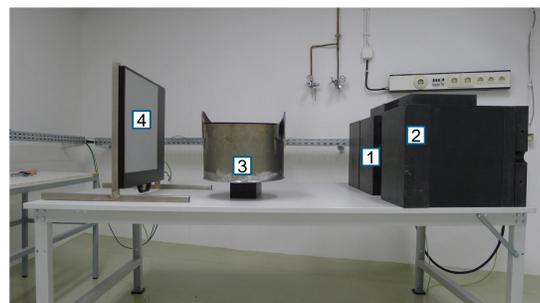
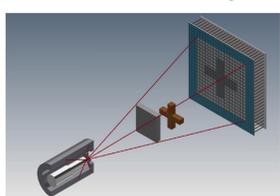


Abb. 9: Aufbau des Experiments.
 1) Neutronengenerator in Abschirmung
 2) Abschirmung und Kollimator
 3) Probe
 4) Detektor

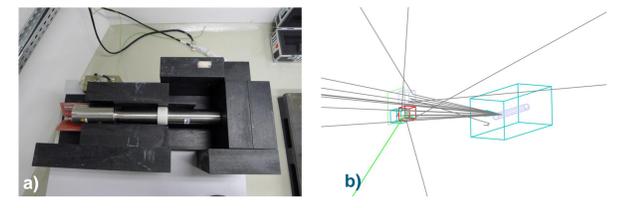


Abb. 10: a) Geöffnete Abschirmung aus Polyethylen mit Neutronengenerator. b) Geant4-Model mit Neutronengenerator, Abschirmung mit Kollimator, Detektor und drei verschiedenen Proben. c) Anzahl an Neutronen im Detektor, simuliert in Geant4 mit drei verschiedenen Proben.

