



Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

FAKULTÄT
MASCHINENWESEN

Teil I: Kurzbericht

**VERBUNDPROJEKT: „RADIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG
VON KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND GEBÄUDEN MITTELS
KOLLIMATIONSFREIER, RICHTUNGS-AUFGELÖSTER IN-SITU-
GAMMA-SPEKTROMETRIE“**

QGRIS („Quantitative Gamma-Ray Imaging System“)

FKZ 15S9431C

Juni 2025

Projektleiter: **Prof. Dr. rer. nat. Thomas Schönmath**

Autoren: **S. Alt, T. Kaden, T. Schönmath**

Projektlauzeit: **01.06.2021 – 31.12.2024**

Hochschule Zittau/Görlitz
Fakultät Maschinenwesen
Fachgebiet Strahlentechnik und Strahlenschutz
Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 15S9431C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Berichts-Nr./Report-No.:
HSZG-FM-2025/QGRIS-KB

Die HSZG entwickelte in enger Abstimmung mit dem Verbundkoordinator Hellma und den anderen Projektpartnern zwei Positioniersysteme für Gammaquellen und Schwächungswände und führte an diesen Versuchsständen (VS) umfangreiche experimentelle Untersuchungen durch.

Der VS „CASTOR“ diente im QGRIS-Projekt hauptsächlich für Eignungstests der von Hellma bereitgestellten Prototypen RSL2 und RSL7 mit Einsatz einzelner Punktquellen bzw. quasi-Linienquellenanordnungen mit mehreren Punktquellen, von seitlichen Störstrahlern und zwischengelagerter Absorptionsmaterialien im AP1. Neben der Variation von Abstand und Winkel zwischen Quellen und Gammakamera wurden auch zwei verschiedene Lagepositionen des RSL2 (vertikal, horizontal) getestet. Als Hauptquellen wurden dabei ^{137}Cs -Strahler verwendet. Auf Basis der Messergebnisse der Experimente und der Simulationsergebnisse mit FLUKA zum RSL2 wurde im Verbund mit den Projektpartnern vereinbart, den Prototyp RSL2 nicht weiter zu untersuchen, sondern sich auf die Verwendung des RSL7 zu konzentrieren.

Im Rahmen der Tests und Messungen mit RSL7 im AP1 und AP4 zeigte sich, dass zusätzliche Untersuchungen zum Einschaltverhalten von Detektoren sowie Ansteuerungs- und Auswerteeinheit erforderlich waren. Durch das Einschaltverhalten des RSL7 bedingt, musste für die weiteren Experimente eine Wartezeit von mindestens 120 min vor dem eigentlichen Messeinsatz eingehalten werden. Sollte dieses Einschaltverhalten zukünftig im Messalgorithmus der RSL-Systeme berücksichtigt werden, kann das später zu einer Verkürzung der Einschaltzeiten führen.

Weiterhin wurden zusätzlich zum Projektantrag an der HSZG (statt wie ursprünglich bei Hellma vorgesehen) umfangreiche Messungen zur Temperaturkalibrierung aller 7 Einzeldetektoren des RSL7 in einem regelbaren Ofen für die zu berücksichtigenden Temperaturbedingungen von 0°C bis 30°C im späteren Praxiseinsatz durchgeführt. Es wurde eine Prozedur zur Energiekalibrierung entwickelt, welche die zeitliche Drift nach Einschalten des RSL7 sowie die Detektortemperatur während der Messung berücksichtigt.

Mit dem VS „GARAY TF“ wurde im AP3 ein manuell bedienbares Positioniersystem für Punkt-, Linien- und Flächenquellen mit einer vorgelagerten Wand für Absorber im Strahlenlabor der HSZG installiert. Dieser VS kam für umfangreiche Messreihen im AP4 zum Einsatz.

Am VS „GARAY TF“ wurden im AP4 RSL7-Messungen für Punkt-, Flächen- und Volumenquellen mit den Nukliden ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs und ^{152}Eu durchgeführt und ausgewertet. Dabei wurden auch Kombinationen von jeweils zwei verschiedenen Nukliden und geometrischen Formen an der Messwand betrachtet. Die Abstände zwischen Messwand und RSL7 betragen 50, 100 und 200 cm.

Die Flächen- und Volumenquellen wurden beim Projektpartner VKTA gefertigt und für die Messungen im Strahlenlabor der HSZG zur Verfügung gestellt. Es erfolgten Vorabmessungen für die Qualitätssicherung mit dem Oberflächendosisleistungsmessgerät RadEye B20-ER zur Bestimmung der Aktivitätsverteilung auf den vom VKTA gefertigten Flächenquellen aus laminiertem Flies (Abmessungen: 150×250 mm). Als Ergebnis wurde eine gleichmäßige Aktivitätsverteilung über die Fläche bei allen Flächenquellen festgestellt. Örtliche Abweichungen von der durchschnittlich eingebrachten Aktivität lagen im einstelligen Prozentbereich.

Die Auswertung mit der Applikationssoftware des RSL7 GARISO-V7 zeigte eine gute spektrale Analyse zu dem jeweiligen Nuklid. Bei den Messungen mit Flächen- und Volumenquellen konnte bei 50 cm Abstand eine örtliche Verteilung der Aktivität ermittelt werden. Bei Abständen von 100 und 200 cm neigt die Rekonstruktions-Auswertung von GARISO-V7 die Aktivitätsverteilung punktförmigen Orten im 2D-Koordinatensystem zuzuordnen.

An der HSZG wurden im AP2 mit dem am CERN entwickelten Simulationsprogramm FLUKA [FER15] umfangreiche Simulationsrechnungen für den RSL2 durchgeführt und

ausgewertet. Die Detektorereignisse als auch die koinzidenten Ereignisse wurden für die Nuklide ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs und ^{235}U bei einem Referenzabstand von 2 m zwischen Punktquelle und Detektor mit Berücksichtigung von Raumwinkeln von 0° , 14° , $20,6^\circ$, $26,6^\circ$ und $36,9^\circ$ bestimmt.

Neben Simulationen zu den vorhandenen Prototypen RSL2 und RSL7 wurden auch Simulationen für den bei Hellma geplanten RSL4 realisiert.

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurden FLUKA-Simulationen für acht Detektorgruppen (DG) gerechnet. Es wurden jeweils drei Nuklide (^{60}Co , ^{137}Cs und ^{241}Am) als Punktquellen gewählt, die an sieben verschiedenen Positionen mit einem Abstand von 1 m zur jeweiligen DG angeordnet waren. Pro DG wurden somit 21 Simulationsrechnungen (3 Nuklide an 7 Positionen) mit FLUKA vorbereitet, ausgeführt und ausgewertet. Damit wurden 168 Ergebnisdatensätze erstellt. Zusätzlich wurde eine DG-9 entworfen, mit der an den sieben verschiedenen Positionen die Nuklide ^{60}Co und ^{137}Cs nachgebildet und simuliert wurden.

Die Ergebnisse der FLUKA-Simulationen wurden bei den regelmäßigen Projekttreffen den Projektpartnern in Form von Präsentationen vorgestellt und mit ihnen diskutiert. Ausgewählte Ergebnisse sind im Teil II: Abschlussbericht dokumentiert.

Im Rahmen der Bearbeitung des AP5 erfolgten im KKW Rheinsberg (KKR) des EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH (EWN) Validierungsmessungen mit dem RSL7 durch die Projektpartner Hellma, VKTA und HSZG. Die HSZG unterstützte die Projektpartner durch die Mitwirkung bei Transport des RSL7 durch die engen Raumbereiche, Installationen des RSL7 im Kontrollbereich sowie durch Unterstützungen bei der Durchführung der Validierungsmessungen und beim Ein- und Ausschleusen des Gerätes.

Für die Bestimmung der Ortsposition der Compton-Gammakamera wurden Alternativen zu den kostenintensiven 3D-Laserscanner-Systemen geprüft, die im Projektantrag benannt waren. Durch den Projektpartner Hellma wurde die Integration von CMOS-Kameras mit Fisheye-Objektiven in die Messsoftware der Compton-Kamera vorangetrieben, um damit eine bildliche Zuordnung der Quelle im Raum herzustellen. Im Vorfeld der Validierungsmessungen wurden Tests zum geplanten Einsatz eines 3D-LiDAR-Systems im KKR im Strahlenlabor an der HSZG realisiert. Diese Tests zeigten die prinzipielle Verwendungsmöglichkeit dieses Systems auch in engen Räumen. Aus EWN-internen und genehmigungsrechtlichen Gründen konnte der Einsatz von betriebsfremden Geräten zu fremden Bildaufnahmen im Kontrollbereich des KKR nicht erlaubt werden. Das führte dazu, dass das LiDAR-System nicht im Kontrollbereich getestet werden konnte.

[FER15] G. Battistoni, T. Boehlen, F. Cerutti, P.W. Chin, L.S. Esposito, A. Fassò, A. Ferrari, A. Lechner, A. Empl, A. Mairani, A. Mereghetti, P. Garcia Ortega, J. Ranft, S. Roesler, P.R. Sala, V. Vlachoudis, G. Smirnov,

"Overview of the FLUKA code",

Annals of Nuclear Energy 82, 10-18 (2015).