

KALIBRIERUNG DES UFS-NEUTRONENSPEKTROMETERS AN EINEM TEILCHENBE- SCHLEUNIGER AM CERN

VLADIMIR MARES¹, THOMAS BRALL¹, MARTIN DOMMERT², SEBASTIAN TRINKL³, MAREK WIELUNSK¹,

WERNER RÜHM¹

¹ HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN, INGOLSTÄDTER LANDSTR. 1, 85764 NEUHERBERG

² PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT, BUNDESALLEE 100, 38116 BRAUNSCHWEIG

³ BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, INGOLSTÄDTER LANDSTRASSE, 85764 OBERSCHEIßHEIM

E-MAIL: MARES@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE

Zusammenfassung: Am CERN in der Schweiz kann ein Strahlenfeld sekundärer Neutronen künstlich hergestellt werden, das dem Feld der sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung auf der UFS Schneefernerhaus ähnlich ist. Daher wurden dort Messungen mit dem Bonner Vielkugel-Spektrometer des HMGU sowie GEANT₄ Simulationsrechnungen durchgeführt. Die am CERN gemessenen Neutronenspektren zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Referenzspektren des CERN sowie mit den von uns durchgeführten GEANT₄-Simulationen, für den gesamten Neutronen-Energiebereich von meV bis GeV.

Abstract: At CERN, Switzerland, a radiation field of secondary neutrons can be produced that resembles that from cosmic radiation at the UFS Schneefernerhaus. Therefore the HMGU Bonner Multisphere Spectrometer was transported to CERN and neutron spectrometry measurements were performed. The experiment was also simulated with the GEANT₄ Monte Carlo tool kit. Measured neutron spectra were close to neutron reference spectra provided by CERN, and to the simulated GEANT₄ neutron spectra, in the energy range from meV to GeV.

Am CERN in der Schweiz kann auf dem Testgelände des CERF (CERN-EU High Energy Reference Field) sekundäre kosmische Neutronenstrahlung künstlich hergestellt werden (Mitaroff and Silari 2002). Dafür werden hochenergetische (120 GeV) Hadronen (61 % Pionen (π^+), 35 % Protonen, 4 % Kaonen (K^+)) auf einen Kupferblock geschossen, wobei unter anderem sekundäre Neutronen entstehen. Hinter einer 80 cm dicken Betonabschirmung baut sich dann ein ähnliches Neutronenfeld auf wie das, das auf der UFS durch die sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung vorhanden ist.

Das Neutronenfeld am CERF wurde in einer dedizierten Messkampagne genutzt, um das Bonner Vielkugel-Spektrometer des HMGU, das seit vielen Jahren auch an der UFS verwendet wird, zu kalibrieren. Zusätzlich sollten die für die UFS bereits begonnenen GEANT₄ Simulationsrechnungen durch begleitende Simulationen des CERF-Felds unter kontrollierten Bedingungen (keine Umwelteinflüsse, „einfache“ Geometrie) getestet werden.

Messergebnisse

Abbildung 1 zeigt einige Kugeln des HMGU Vielkugelspektrometers, wie sie auf vier der insgesamt 16 Referenz-Positionen auf dem Dach der Betonabschirmung des CERF-Messplatzes am CERN aufgestellt sind.



Abb.1: Vier Kugeln des HMGU Bonner Vielkugel-Spektrometers auf dem Betondach des CERF-Messplatzes am CERN. Bild: T. Brall

Das auf dem Dach der Betonabschirmung des CERF mit dem HMGU Spektrometer auf Position 6 gemessene Neutronenspektrum ist in Abb. 2 beispielhaft zusammen mit dem simulierten Referenzspektrum, das vom CERN für diese Position zur Verfügung gestellt wurde, dargestellt. Die Abbildung demonstriert eine außerordentlich gute Übereinstimmung zwischen dem gemessenen BSS-Spektrum und dem simulierten Referenzspektrum über den gesamten Energiebereich.

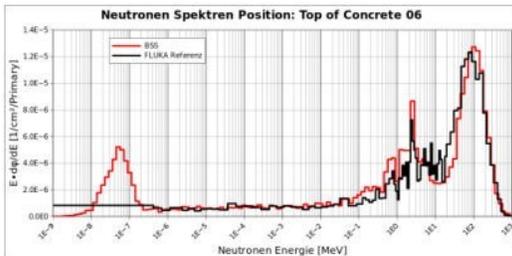


Abb.2: Auf dem Betondach des CERF auf Position 6 mit dem HMGU Bonner Vielkugel Spektrometer gemessenes Neutronenspektrum (rot) und das vom CERN für diese Position simulierte Neutronenspektrum (schwarz) (CERF 2018).

Zum Vergleich zeigt Abbildung 3 das am CERF gemessene Neutronenspektrum zusammen mit einem auf der UFS gemessenen Neutronenspektrum. Diese Abbildung verdeutlicht, dass sich das Neutronenspektrum am CERF in der Tat hervorragend eignet, um die auf der UFS durchgeführten Messungen über den

gesamten Energiebereich von meV bis GeV zu validieren.

Die Ergebnisse dieser Messkampagne wurden bereits publiziert (Wielunski et al. 2018)

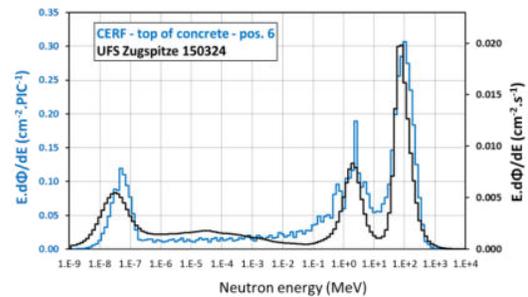


Abb.3: Neutronenspektrum auf dem Dach der Betonabschirmung am CERF (blaue Linie) im Vergleich zu einem gemessenen Neutronenspektrum der sekundären kosmischen Strahlung auf der UFS (schwarze Linie); PIC – Ereignis in der verwendeten Precision Ionisation Chamber

Simulationsergebnisse

Das oben beschriebene Experiment wurde zusätzlich mit dem Monte Carlo (MC) Code GEANT₄ simuliert. Auf diese Art sollte die Methodik, die auch für die Simulationen der auf der UFS und auf dem Jungfrauoch in der Schweiz mit dem Bonner Vielkugel-Spektrometer des HMGU gemessenen Neutronenspektren (Mares et al. 2017) angewandt wird, validiert werden. Das CERF Testfeld eignet sich dafür besonders gut, da das dortige Neutronenfeld stabil ist und nicht wie auf der UFS durch Umweltparameter verändert wird.

Für die GEANT₄ Simulation wurde das CERF Testgelände mit einem Volumen von 20 x 15 x 12 m³ modelliert und als Primärteilchen ein Drittel Protonen und zwei Drittel positive Pionen angenommen. Es wurden Simulationen mit verschiedenen Kernmodellen durchgeführt. Für jede Simulation wurde mit 3 Millionen primären Teilchen gerechnet. Dafür stand am HMGU ein Rechencluster zur Verfü-

gung, mit dem die Simulationen eine Rechenzeit von ungefähr 20 Tagen auf 100 Prozessorkernen beanspruchten.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Ergebnisse für Position 6 auf dem Dach der Betonabschirmung. Es zeigt sich, dass die mit GEANT₄ simulierten Neutronenspektren bei Verwendung der QGSP_BIC_HP Physikliste (blaue Linie) sowohl mit dem gemessenen Neutronenspektrum (rote Linie) als auch mit dem von CERN zur Verfügung gestellten simulierten Referenzspektrum (schwarze Linie) gut überein stimmt. Im Gegensatz dazu weisen die mit der in mit GEANT₄ auch angebotenen Physikliste QGSP_BERT_HP simulierten Neutronenspektren (grüne Linie) meist eine höhere Fluenz auf.

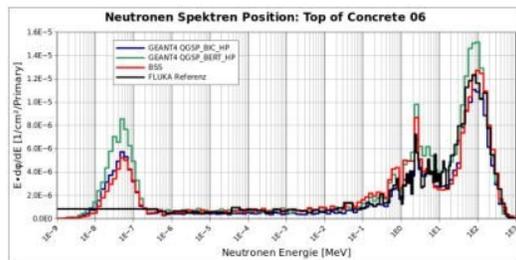


Abb.4: Simulierte und gemessene Neutronenspektren am CERF für Position 6 auf dem Dach der Betonabschirmung. Blaue Linie – GEANT₄, QGSP_BIC_HP Physikliste; Grüne Linie - GEANT₄, QGSP_BERT_HP Physikliste; Schwarze Linie – CERN Referenzspektrum (CERF 2018); Rote Linie – mit dem HMGU Bonner Vielkugel-Spektrometer gemessenes Neutronenspektrum.

Generell zeigen die Ergebnisse der Simulationen am CERF-Feld, dass mit GEANT₄ Neutronenspektren im Energiebereich zwischen meV und GeV, der auch für die sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung auf der UFS und auf dem Jungfraujoch relevant ist, simuliert werden können.

Eine Publikation der Ergebnisse der GEANT₄ Simulationen ist gegenwärtig in Vorbereitung (Brall et al. 2019).

Literatur

Brall, T., Dommert, M., Rühm, W., Trinkl, S., Wielunski, M. und Mares, V.: Monte Carlo Simulation of the CERN EU high energy Reference Field (CERF) facility, Manuskript in Vorbereitung, 2019.

CERF – The CERN-EU High Energy Reference Field Facility. Heruntergeladen im September 2018.

Mares, V., Brall, ., Bütikofer, R., Donth, G. und Rühm, W.: Einfluss von umweltsparametern auf die sekundären neutronen der kosmischen Strahlung im Alpenraum. UFS Jahresbericht 2015/2016, 2017.

Mitaroff A. und Silari, M.: The CERN-EU high-energy reference field (CERF) facility for dosimetry at commercial flight altitudes and in space. Radiat. Prot. Dosimetry 102(1), 7-22, 2002

Wielunski, M., Brall, T., Dommert, M., Trinkl, S., Rühm, W. und Mares V: Electronic neutron dosimeter in high-energy neutron fields. Radiation Measurements 114, 12-18, 2018.

Danksagung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Bay. StMUV) für die Förderung im Rahmen des Verbundprojektes VAO-II (Az. 71_1d-U8729-2013/193-5).