

Eigenuntergrund der Neutronendetektoren des NEMUS Spektrometers

Für den Einsatz in unbekanntem Neutronenfeldern niedriger Intensität ist die Kenntnis des Eigenuntergrundes von Detektoren eine unabdingbare Voraussetzung. In einer zweimonatigen Messkampagne wurde alle ^3He Detektoren des NEMUS Neutronenspektrometers im Untergrundlabor der PTB (UDO) untersucht und die untere Nachweisgrenze bestimmt.

Für den Einsatz in unbekanntem Neutronenfeldern niedriger Intensität (wie z. B. die Bestimmung der Neutronenquellstärke einer ^{228}Th Gamma-Prüfquelle für das BOREXINO Experiment [1]) ist die Kenntnis des Eigenuntergrundes von Detektoren eine unabdingbare Voraussetzung. In einer zweimonatigen Messkampagne wurden alle ^3He Detektoren des NEMUS Neutronenspektrometers [2] im ehemaligen Untergrundlabor der PTB (UDO) [3] untersucht und deren untere Nachweisgrenze bestimmt.

Das Kernstück einer jeden Kugel des NEMUS Spektrometers ist ein kugelförmiger, mit ^3He Gas gefüllter Proportionalzähler (Typ SP9, Centronic Ltd., UK) zum Nachweis thermischer Neutronen. Wegen Verunreinigungen (α -Strahler) der verwendeten Materialien haben solche Detektoren einen Eigennulleffekt, wie in einer vorangegangenen Untersuchung [4] bereits gezeigt wurde. Ist die Anzahl der auf das Spektrometer einfallenden Neutronen pro Fläche und pro Zeit (Neutronenflussdichte) des zu messenden Strahlungsfeldes klein (z. B. bei Neutronen aus der kosmischen Strahlung auf Meereshöhe $< 40 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), dann ist der Beitrag des Eigenuntergrundes nicht mehr vernachlässigbar. Um den Eigenuntergrund, der sich aus den Signalen der im Zähler produzierten α -Teilchen und zusätzlich aus einem Rauschsignal der Messelektronik zusammensetzt, bestimmen zu können, muss man möglichst die von außen einfallende Neutronenstrahlung "abschalten". Das ist nur in speziellen Untergrundlaboren möglich, wie es der PTB mit dem UDO zur Verfügung stand.

In einer aufwendigen Messreihe wurden alle zurzeit verfügbaren ^3He Detektoren des NEMUS Spektrometers mit der aktuellen Messelektronik getestet. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau mit acht parallel betriebenen Detektoren, die vor den hochkant stehenden Elektronikmodulen erschütterungsarm aufgebaut sind.



Abb. 1: Versuchsaufbau mit acht parallel betriebenen ^3He Proportionalzählern. Auf dem Tisch links sind hinter dem Laptop mit der Datenaufnahme-Software weitere Datenaufnahme-Module zu erkennen.

Das Messergebnis für jeden Detektor ist ein Pulshöhenspektrum (PHS) in der Form: Anzahl der Ereignisse N (in einer bestimmten Zeit) als Funktion der Kanalnummer k . Die Kanalnummer entspricht einer bestimmten Amplitude des Signals im Detektor und damit einer im Detektor deponierten Energie. Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele von Pulshöhenspektren, wie sie mit den SP9 Zählern bei Anwesenheit externer Neutronenstrahlung typischerweise gemessen werden. Links ist ein PHS mit einer hohen Zählrate gezeigt, hervorgerufen durch eine große Neutronenflussdichte, rechts ein PHS, das in einer neutronenarmen Umgebung gemessen wurde.

Beim Einfang thermischer Neutronen im ^3He Gas wird eine Reaktionsenergie von 764 keV (Q-Wert der $^3\text{He}(n,p)t$ Reaktion) frei, wobei auf Grund der Impulserhaltung ein Proton mit einer Energie von 573 keV und ein Triton mit einer Energie von 191 keV im Schwerpunktsystem unter einem Winkel von 180° emittiert werden. Im Idealfall wird die gesamte Reaktionsenergie im Zählgas deponiert, zu erkennen an dem ausgeprägten Maximum in der Pulshöhenverteilung. Wand- und Randeffekte führen jedoch dazu, dass bei manchen Ereignissen ein Teil der kinetischen Energie der Sekundärteilchen in der Wand des Zählrohrs deponiert wird und somit nicht zur Ionisation im Gas beiträgt. Die Impulse, die von Neutronen erzeugt werden und somit die Messgröße einer Kugel des Spektrometers bestimmen, liegen rechts einer bestimmten Kanalnummer (Schwelle), die der Energie von 191 keV entspricht. Die Ereignisse links dieser Schwelle entsprechen Signalen von Gammaquanten und elektronischem Rauschen.

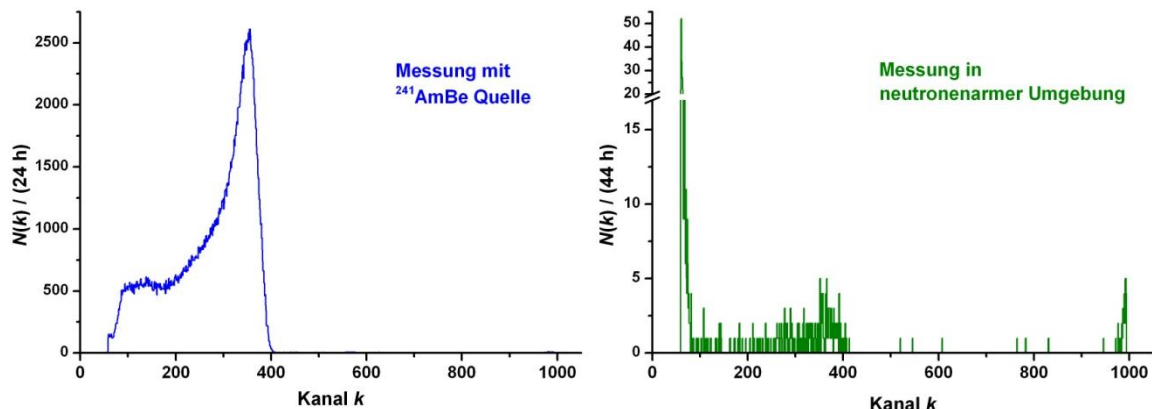


Abb. 2: Pulshöhenspektren von SP9 Zählern bei Anwesenheit externer Neutronenstrahlung mit hoher Zählrate hervorgerufen durch eine große Neutronenflussdichte (links) bzw. in einer neutronenarmen Umgebung (rechts).

Bei den im ehemaligen PTB Undergroundlabor UDO [3] gemessenen Pulshöhenspektren sollten, wegen der Abwesenheit externer Neutronenstrahlung, keine Neutronenereignisse vorhanden sein. Abbildung 3 zeigt im unteren Diagramm ein typisches PHS wie es im UDO aufgezeichnet wurde. Die Ereignisse links von Kanal 90 sind elektronisches Rauschen und im Intervall von Kanal 90 bis Kanal 890 gibt es einige wenige Ereignisse, die auf den ersten Blick gleichverteilt erscheinen. Wegen dieser sehr geringen Anzahl von Ereignissen wechselt man für die weitere Analyse zu der integralen Darstellung I des PHS als Funktion der Kanalnummer k : $I(k) = \sum_{i=1}^k N(i)$ und $N(i)$ Kanalinhalt des Pulshöhenspektrums N , siehe oberes Diagramm der Abbildung 3. In diesem Diagramm sind nur die Signale oberhalb der Schwelle für das elektronische Rauschen dargestellt, d. h. die Summation beginnt in diesem Beispiel

erst mit Kanal 90. Diese Signale haben ihren Ursprung in α -Teilchen, die aus verunreinigten Herstellungsmaterialien emittiert werden.

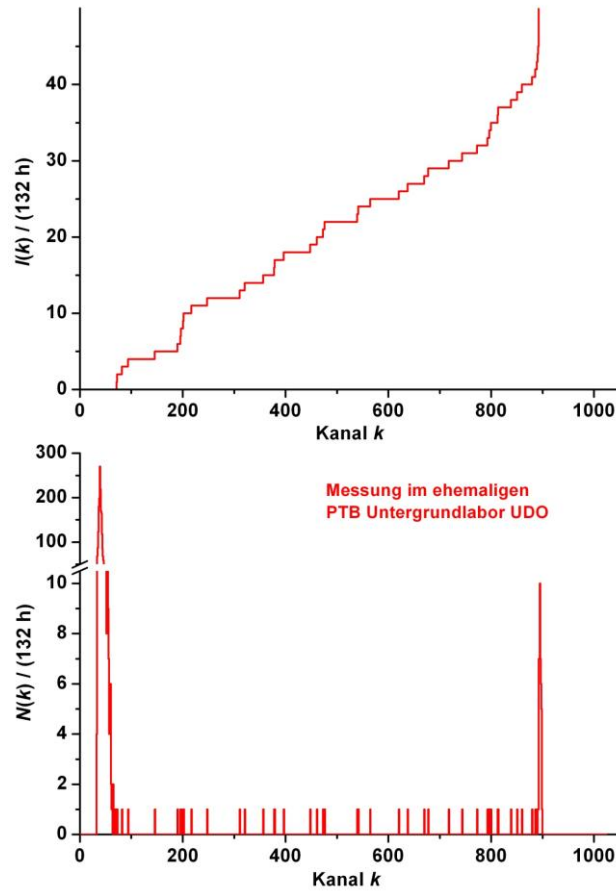


Abb. 3: Untere Reihe: Pulshöhenspektrum eines SP9 Zählers ohne äußere Neutronenstrahlung. Obere Reihe: integrale Darstellung des Pulshöhenspektrums mit $I(k) = \sum_{i=1}^k N(i)$.

In dieser Darstellung kann man aus der Steigung der Kurve den detektorspezifischen Eigenuntergrund in dem Bereich bestimmen, in dem, unter Beibehaltung aller sonstigen Parameter (Signalverstärkung, u.s.w.), die Neutronenereignisse registriert werden. Damit lässt sich eine untere Nachweisschwelle für die Neutronenflussdichte angeben, die mit dem NEMUS Spektrometer gemessen werden kann. Von den insgesamt 17 getesteten Detektoren eignen sich auf Grund der durch α -Zerfälle induzierten Zählrate etwa die Hälfte um Messungen in einer Umgebung mit geringer Neutronenflussdichte durchzuführen. Eine quantitative Analyse der Messkampagne im UDO steht noch aus.

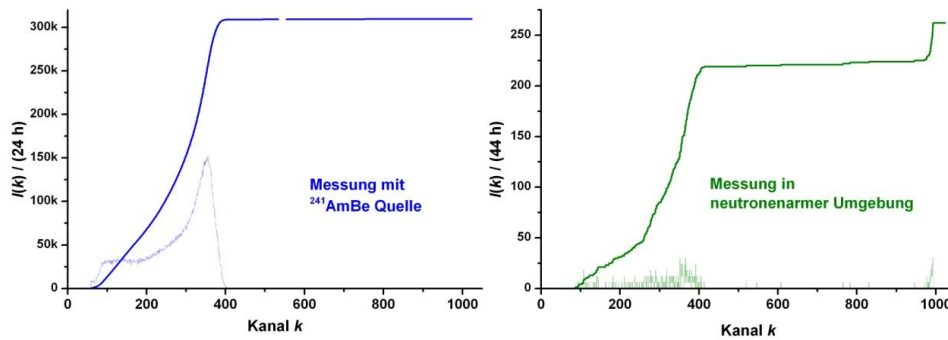


Abb. 4: Integrale Darstellung der Pulshöhenspektren aus Abbildung 2 mit $I(k) = \sum_{i=1}^k N(i)$. Zusätzlich sind die Pulshöhenspektren in gewöhnlicher Darstellung (mit blassen Farben) eingezeichnet.

Abbildung 4 zeigt die integrale Darstellung der in Abbildung 2 in gewohnter Form gezeigten Pulshöhenspektren. Bei Messungen in Feldern mit hoher Neutronenflussdichte spielt der Einfluss des Eigenuntergrundes keine Rolle (linkes Diagramm). Das jeweils im rechten Diagramm der Abbildungen 2 und 4 gezeigte PHS ist das Ergebnis einer Testmessung im Niederniveaumesslabor Felsenkeller des VKTA [5] bei Dresden. Die Strukturen des integralen PHS deuten auf eine Überlagerung von "echten Neutronenereignissen" und Eigenuntergrundsignalen hin.

Mit Hilfe eines in der Entwicklung befindlichen mathematischen Verfahrens können die beiden Anteile separiert werden um so das Neutronenspektrum im Niederniveaumesslabor Felsenkeller zu bestimmen.

Literatur:

- [1] http://www.ptb.de/de/publikationen/jahresberichte/jb2010/oe6/_nachrichten6.html
- [2] <http://www.ptb.de/de/org/6/65/nemus.htm> und dort genannte Referenzen.
- [3] S. Neumaier; D. Arnold; J. Böhm; E. Funck: **The PTB underground laboratory for dosimetry and spectrometry.**; Appl. Radiat. Isot. Vol. 53 No. 1-2 (2000), ISSN 0969-8043, S 173-178.
- [4] B. Wiegel, J. Wittstock: **Apparativer Nulleffekt von ^3He -Proportionalzählern in Bonnerkugeln.**; In: S. Neumaier, R. Zwiener, J. Böhm (Hrsg.) Experimente im Untergrundlaboratorium UDO der PTB im Bergwerk ASSE II, PTB-Dos-43 (2003), ISBN 3-89701-959-0, S 32-34.
- [5] Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA)

Ansprechpartner

B. Wiegel, Fachbereich 6.5, Arbeitsgruppe 6.53, E-Mail: burkhard.wiegel@ptb.de