

Messung von Neutronen - Probleme und alternative Detektoren

Autor: Thales SCHRÖTTNER
Systementwicklung
Radiation Safety and Applications
Seibersdorf Labor GmbH, 2444 Seibersdorf
thales.schroettner@seibersdorf-laboratories.at

Inhalt

- **Nachweisreaktionen**
- **Detektionsverfahren**
- **Energieabhängigkeit der Detektorempfindlichkeit**
- **He-3 (Vorteile, Produktion, Verknappung)**
- **Alternative Detektoren**
- **Entwicklung in Seibersdorf**

Nachweisreaktionen

- $n + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{H}_{(184 \text{ keV})} + \text{p}_{(580 \text{ keV})}$
($\sigma \sim 5333$ barn, 0.5 bis 5 ppm ${}^3\text{He}$)
- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^7\text{Li}_{(1.1 \text{ MeV})} + \alpha_{(1.8 \text{ MeV})}$ (7%)
 $\rightarrow {}^7\text{Li}^*_{(840 \text{ keV})} + \alpha_{(1.47 \text{ MeV})}$ (93%)
 ${}^7\text{Li}^* \rightarrow {}^7\text{Li} + \gamma_{(478 \text{ keV})}$
($\sigma \sim 3840$ barn, $\sim 20\%$ ${}^{10}\text{B}$)
- $n + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{H}_{(2.73 \text{ MeV})} + \alpha_{(2.05 \text{ MeV})}$
($\sigma \sim 941$ barn, $\sim 7.5\%$ ${}^6\text{Li}$)
- $n + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{14}\text{C} + \text{p}_{(0.6 \text{ MeV})}$

Nachweisreaktionen

- **Rückstoßprotonen** (neue Plastik-Szintillatoren)
- $n + {}^{155}\text{Gd} \rightarrow {}^3\text{Gd}^* + \gamma + \text{Konversionselektronen}$
- $n + {}^{157}\text{Gd} \rightarrow {}^3\text{Gd}^* + \gamma + \text{Konversionselektronen}$
- $n + {}^{235}\text{U} \rightarrow \text{Spaltfragmente} + \sim 160 \text{ MeV}$
- $n + {}^{239}\text{Pu} \rightarrow \text{Spaltfragmente} + \sim 160 \text{ MeV}$
- Energieselektive Detektoren
z.B. ${}^{197}\text{Au}$: 4.9 eV, ${}^{115}\text{In}$: 1.5 eV, ${}^{181}\text{Ta}$: 4.3 eV, ${}^{238}\text{U}$: 6.7 und 10.3 eV

Detektionsverfahren

- Proportionalzählrohr (Ar-Gasverstärkung)
- Szintillation
 - heterogen → Absorption der Sekundärteilchen im Konverter
 - homogen → Reabsorption des Lichts
- Halbleiter (kleine Fläche → niedrige Empfindlichkeit)
- Lumineszenz

Energieabhängigkeit der Detektorempfindlichkeit

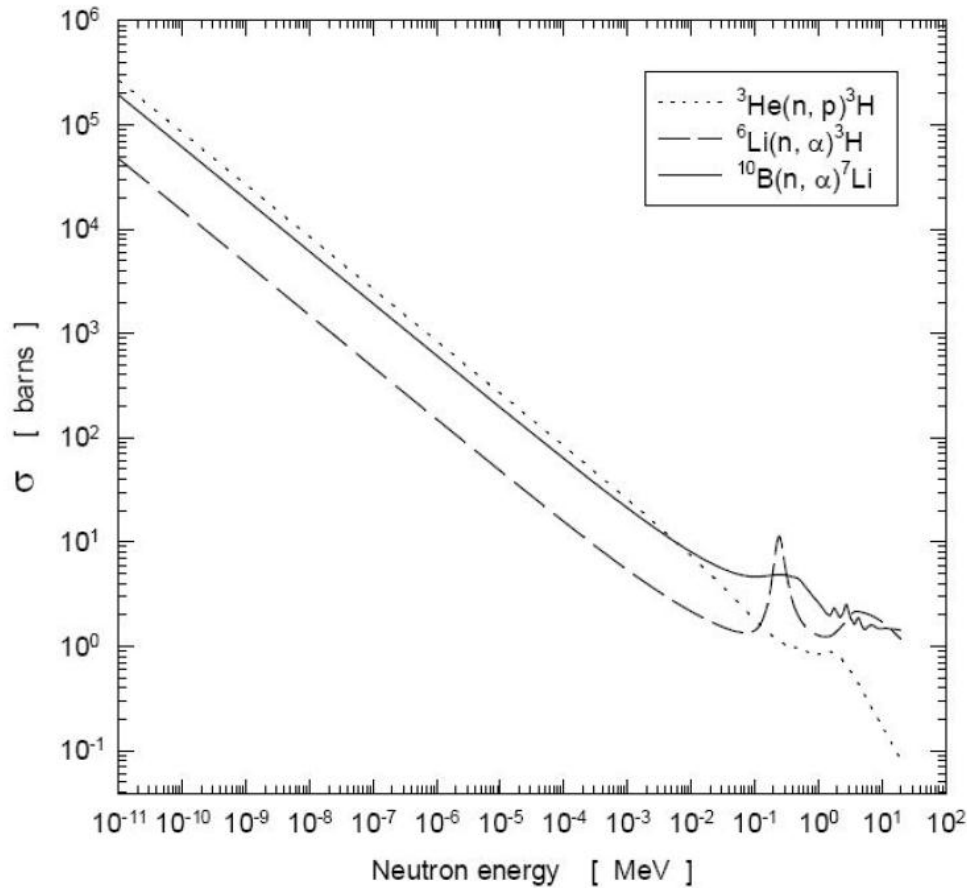


Abb. 1: Wirkungsquerschnitte in Abhängigkeit von der Neutronenenergie (aus [2]).

Energieabhängigkeit der Detektorempfindlichkeit

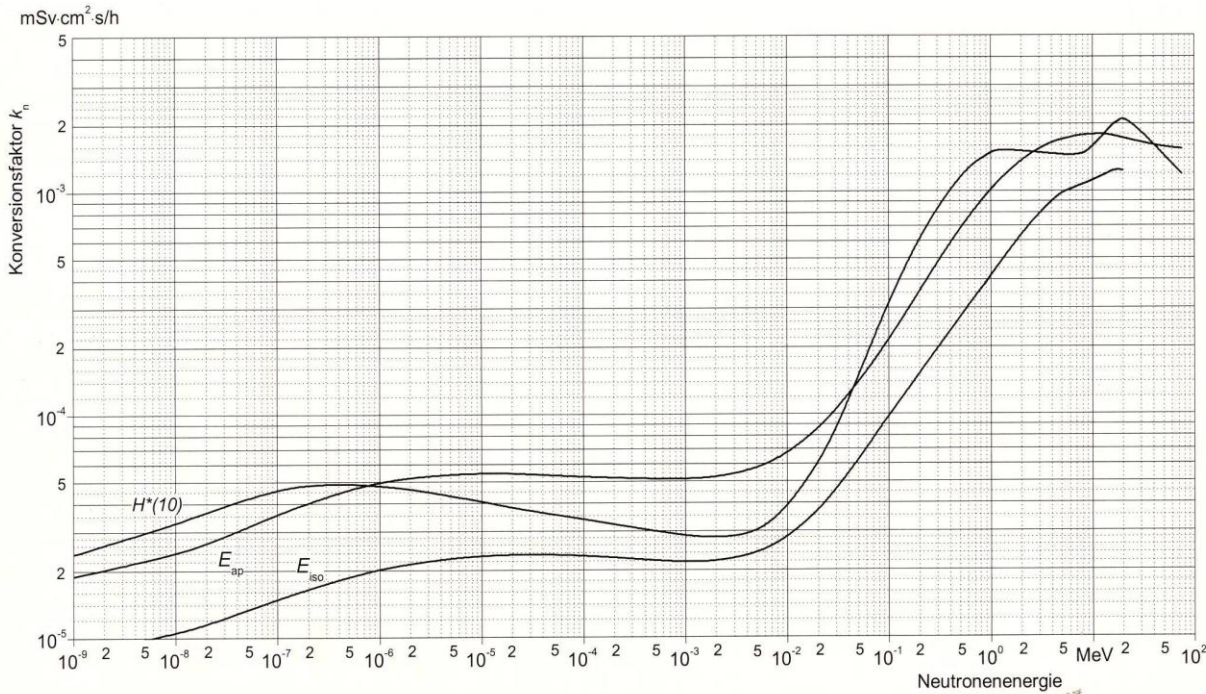


Abb. 2: Strahlenbiologische Gewichtung von Neutronen in Abhängigkeit von der Neutronenenergie.

$H^*(10)$	Umgebungs-Äquivalentdosis
E_{ap}	Effektive Dosis in einem parallelen Strahlungsfeld bei Bestrahlung von vorn
E_{iso}	Effektive Dosis in einem isotropen Strahlungsfeld (aus [7])

^3He - Vorteile

- Verfügbarkeit (ursprünglich Abfallprodukt)
- einfacher Aufbau → preiswert
- hohe Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität
- recht gute n/γ Unterscheidung
- Peak im Energiespektrum
→ Systemdiagnose
- HV <1kV (2-3 keV für BF_3)
- ungiftig

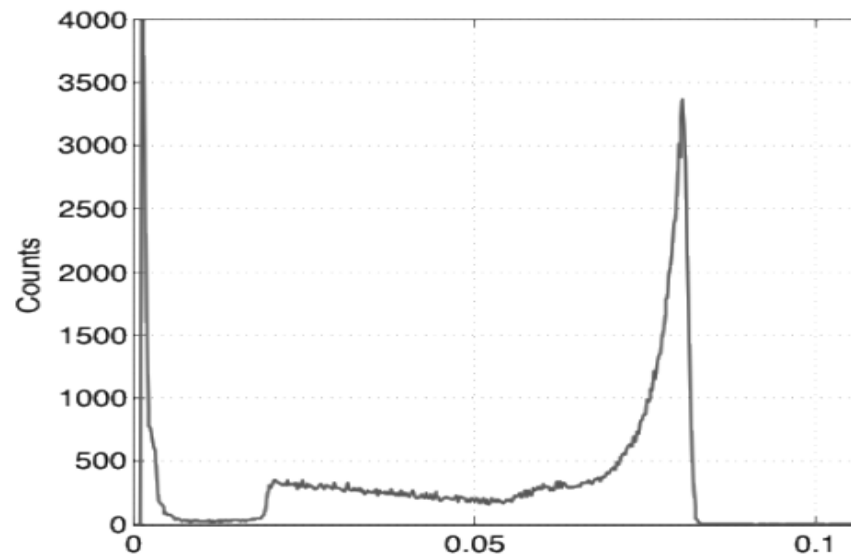


Abb. 3: ^3He Impulshöhenverteilung.

^3He - Produktion

- natürliches Vorkommen ~ **37000 t** in der Atmosphäre
- Gewinnung aus Tritium
(jährliche Produktion ~ 1/18 Tritiummenge)
- Anwendung: Neutronendetektoren, (Fusion)
- Verbrauch ~ 65 m³/a
Produktion ~ 15 m³/a
- für Portalmonitore ~ 22 m³/a (Σ ca. 70 m³)
- Preissteigerung
2008: 75 \$/l
2011: 6500 \$/l

Tritium

- natürliches Vorkommen ~ **7.3 kg** Atmosphäre
- **1955 bis 1988** in USA ~**225 kg** produziert davon noch ~**50 kg** vorh.
→ ~**175 kg ^3He produziert** (~1350m³)
- <10% für zivile Zwecke (Lichtquellen und Fusionsforschung)
- prod. im Reaktor (Linearbeschleuniger zu teuer)
- bis 1988 in Savannah River (K-Reaktor)
 $^6\text{Li} + n \rightarrow ^3\text{H} + \alpha + 4.8 \text{ MeV}$
- seit 1997 Produktion in Tennessee (Watts Bar-1)
ziviler DWR mit Li statt B in speziellen Steuerstäben
„**Tritium Production Burnable Absorber Rods**” (TPBA)
Aufarbeitung in Savannah River
Diffusionsprobleme!



Alternative Detektoren - ^{10}B

- BF_3 gasgefüllte Proportionalzähler

HV: 2-3 keV, schöner Peak, giftig

- Bor beschichtete Proportionalzähler

HV: <1 keV, $1\ \mu\text{m } ^{10}\text{B}_4\text{C}$, $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$,

Bündelung vieler dünner Röhren „straw detector“

Absorptionsverluste \rightarrow Impulsverteilung \rightarrow breiter Peak

Empfindlichkeit & n/γ -Diskriminierung abhängig vom Schwellwert (bzw. Temperatur)

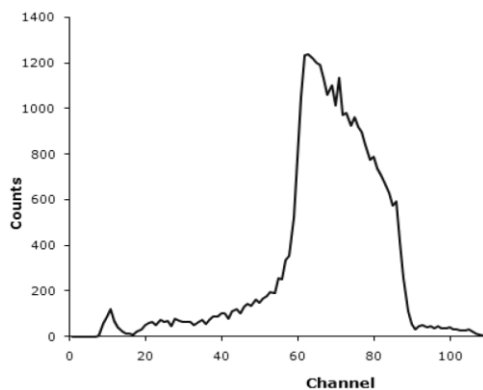


Abb. 4: BF_3

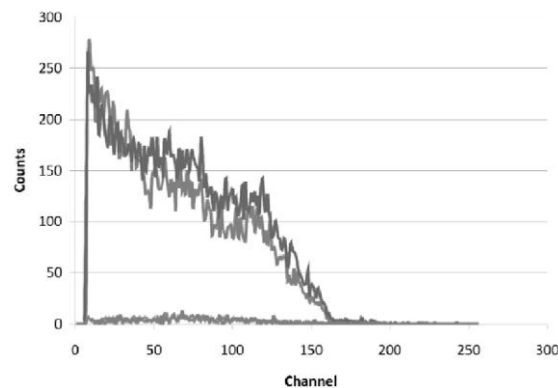


Abb. 5: Bor-beschichtet

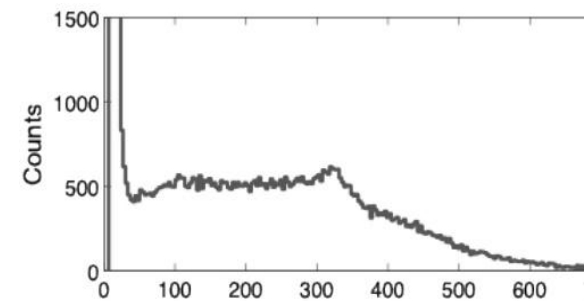


Abb. 6: BSC.

Alternative Detektoren – ^6Li

- ^6Li dotierte Glasfasern
n/ γ -Diskriminierung durch Analyse der Impulsform,
PMT → Langzeit-/Temperaturdrift → Stabilisierung
- ^6Li /Scintillator beschichtete Glasfasern
breiter Peak bei relativ hoher Energie,
Potential für höchste Empfindlichkeit,

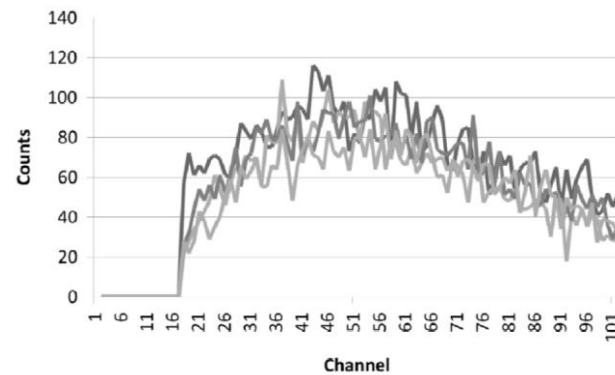


Abb. 7: ^6Li beschichtete Glasfasern

Alternativdetektor – SL

- ZnS(Ag) mit ^6LiF
 - hohe Lichtausbeute
- gute n/ γ -Diskriminierung
- Detektorempfindlichkeit $\sim 4 \text{ cm}^2$
- Problem: Schwellwert beeinflusst n/ γ -Diskriminierung und Empfindlichkeit
- noch zu charakterisierten:
 - Temperaturabhängigkeit
 - Langzeitstabilität/Drift

Alternativdetektor – SL

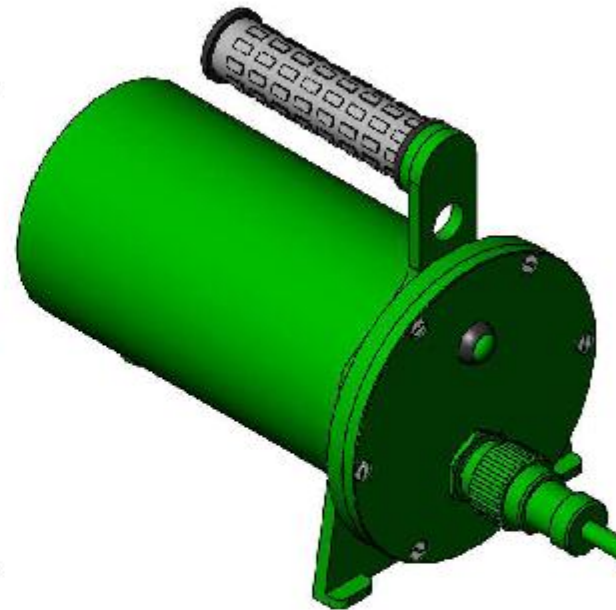
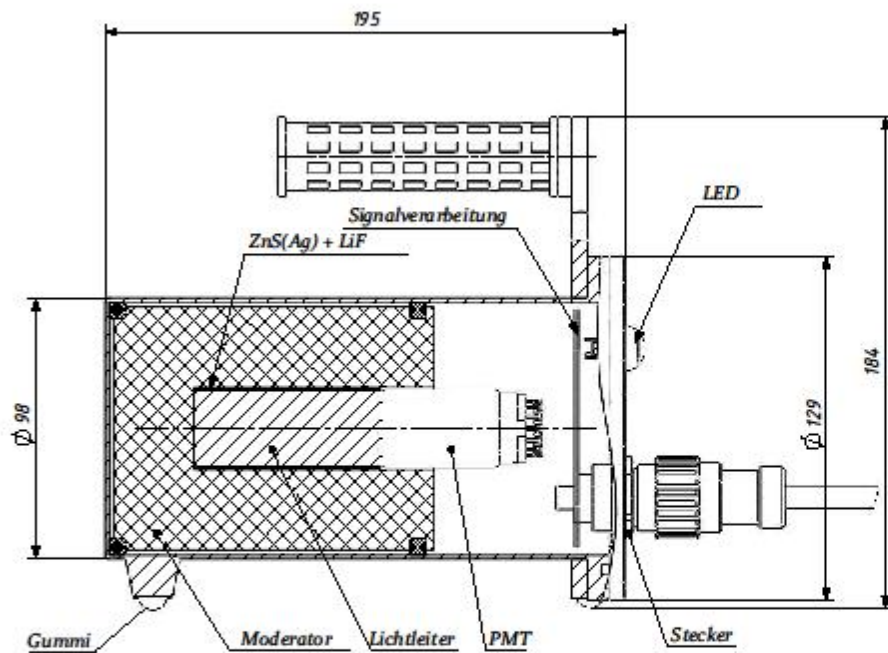


Abb. 8: Testdetektor um alte ^3He Sonde zu ersetzen.

Quellenverzeichnis

- [1] Knoll, G. Radiation Detection and Measurement, fourth edn. (New York: John Wiley & Sons) (2010).
 - [2] Vega-Carrillo, H.R., Response matrix of a multisphere neutron spectrometer with an ^3He proportional counter. REVISTA MEXICANA DE FÍSICA 51 (1) 47–52 (2005).
 - [3] Schuhmacher, H. Neutron Calibration Facilities. Radiat. Prot. Dosim. 110(1-4), 33-42 (2004).
 - [4] International Organization for Standardization. Reference neutron radiations -- Part 1: Characteristics and methods of production; 2001-02 ISO 8529-1:2001/Corrigendum 1:2008.
 - [5] International Organization for Standardization. Reference neutron radiations -- Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field; 2000-08.
 - [6] International Organization for Standardization. Reference neutron radiations -- Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and determination of response as a function of energy and angle of incidence; 1998-11.
 - [7] Vogt, H.G. Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes. Hanser Verlag (2007)
 - [8] Eisenhauer et al. Calibration Techniques for Neutron Personal Dosimetry. Radiat. Prot. Dosim. 10 (1-4), 43-57 (1985).
 - [9] Kluge, H., Alevra, A. V., Jetzke, S., Knauf, K., Matzke, M., Weise, K. and Wittstock, J. Scattered neutron reference fields produced by radionuclide sources. Radiat. Prot. Dosim. 70, 327-330 (1997).
 - [10] Silari M. Workspace characterization in mixed neutron gamma fields. Radiat. Prot. Dosim. Advanced Access. doi:10.1093/rpd/ncm395 (2007).
 - [11] Marsh, J.W. High resolution measurements of neutron energy spectra from Am-Be and Am-B neutron sources. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 366, 340-348 (1995)
 - [12] ICRP Publication 74: Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. Annals of the ICRP Volume 26/3
- cont...

Quellenverzeichnis

- [13] R.T. Kouzes et al., Neutron detection alternatives to ^3He for national security applications, NIM A623 (2010), p. 1035-1045
- [14] J.L. Lacy et al., Boron coated straw detectors as a replacement for ^3He , IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (2009)
- [15] R.T. Kouzes, The ^3He Supply Problem, Technical Report, PNNL-18388 (2009)
- [16] J.L. Lacy et al., Boron-Coated Straw Detectors: a Novel Approach for Helium-3 Neutron Detector Replacement, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (2010)
- [17] http://www.proportionaltech.com/new_site/
- [18] D.A. Shea, D. Morgan, The Helium-3 Shortage, Congressional Research Service Report R41419 (2010)
- [19] R.T. Kouzes et al., Boron-Lined Neutron Detector Measurements, Technical Report, PNNL-18938 (2009)
- [20] N. Zaitseva et al., Plastic scintillators with efficient neutron/gamma pulse shape discrimination, NIM A668 (2012), p 88-93
- [21] R.T. Kouzes, J.H. Ely, Lithium an Zinc Sulfide Coated Plastic Neutron Detector Test, Technical Report, PNNL-19566 (2010)
- [22] B.J. Conners et al., ZnO Thermal Neutron Scintillators Designed for High Sensitivity and Gamma-Ray Discrimination, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (2011)
- [23] R.T. Kouzes et al., Boron-Lined Straw-Tube Neutron Detector Test, Technical Report, PNNL-19600 (2010)