

**Neutronendosimetrie**  
Neutronenmeßverfahren und -geräte für den Strahlenschutz  
Kennzeichnende Eigenschaften

**DIN**  
**6802**  
Teil 3

Neutron dosimetry; methods and devices for neutron measurement in radiation protection; ratings

Aufgestellt vom Normenausschuß Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft.

**Inhalt**

	Seite		Seite
<b>1 Anwendungsbereich und Zweck</b> .....	1	4.5 Rückstoßprotonen-Proportionalzähler zur Messung der Äquivalentdosis .....	4
<b>2 Meßgrößen</b> .....	1	4.5.1 Ortsdosisleistungs- und Ortsdosismesser .....	4
<b>3 Praktisch vorkommende Strahlungsfelder</b> .....	1	4.5.2 Personendosimeter .....	4
<b>4 Kennzeichnende Eigenschaften gebräuchlicher Neutronenmeßverfahren und -geräte</b> .....	2	4.6 Gewebeäquivalente Proportionalzähler .....	5
4.1 Dosismessfilm .....	2	4.7 Äquivalentdosisleistungs-Meßgeräte mit Doppelionisationskammer .....	5
4.2 Kernspurdetektoren .....	2	4.8 Gewebeäquivalente Ionisationskammer (Messung der Energiedosisleistung) .....	5
4.2.1 Kernspurfilm .....	2	4.9 Plastiksintillator für hochenergetische Neutronen .....	5
4.2.2 Nichtphotographische Kernspurdetektoren .....	2	4.10 PIN-Dioden .....	5
4.3 Albedodosimeter .....	2	4.11 Aktivierungsdetektoren .....	5
4.4 Äquivalentdosis- und Äquivalentdosisleistungs-Meßgeräte mit Moderator .....	4	Zitierte Normen und andere Unterlagen .....	6

**1 Anwendungsbereich und Zweck**

Diese Norm gilt im Gesamtbereich des Strahlenschutzes für Strahlungsfelder, in denen Neutronen vorkommen oder zu erwarten sind.

Mit Hilfe der im Abschnitt 4 zusammengestellten Neutronenmeßverfahren und -geräte können die durch Neutronen erzeugte

- Ortsdosis
- Ortsdosisleistung oder
- Personendosis

(siehe DIN 6814 Teil 3) ermittelt werden. Zusätzlich sind einige Verfahren und Geräte zur Bestimmung der Gewebeenergiedosis oder -dosisleistung aufgenommen.

Die Norm soll es dem Anwender erleichtern, anhand der aufgeführten Meß- und Nenngebrauchsbereiche geeignete Verfahren und Geräte auszuwählen sowie weiterführendes Schrifttum aufzufinden.

**2 Meßgrößen**

Meßgrößen sind die durch die Neutronenfluenz-Äquivalentdosis-Konversionsfaktoren oder Neutronenfluenz-Ener-

giedosis-Konversionsfaktoren in einem Neutronenfeld in Abhängigkeit von der Neutronenenergie festgelegten Äquivalent- bzw. Energiedosen für Weichteilgewebe [36].

Die im Abschnitt 4 aufgeführten Meßgeräte sind hinsichtlich ihres Ansprechvermögens so konstruiert, daß sich nach Kalibrierung diese Meßgrößen in den in Tabelle 1, Spalte 5, angegebenen Nenngebrauchsbereichen der Neutronenenergie mit den aus Spalte 8 folgenden Abweichungen ermitteln lassen.

**3 Praktisch vorkommende Strahlungsfelder**

Neutronen treten in der Regel zusammen mit Photonen auf (sog. gemischte Strahlungsfelder), so daß die Beiträge beider Strahlenarten zur Äquivalentdosis ermittelt werden müssen. In Strahlenschutzbereichen enthalten solche gemischten Strahlungsfelder im allgemeinen zu einem beträchtlichen Teil Neutronen, deren Energie infolge Streuung wesentlich geringer ist als die Energie, die sie bei ihrer Erzeugung besaßen. Deshalb ist hinter Abschirmungen stets auch mit dem Auftreten intermediärer Neutronen zu rechnen. Langsame Neutronen liefern dagegen selten allein den überwiegenden Beitrag zur gesamten durch Neutronen erzeugten Äquivalentdosis.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.  
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

#### 4 Kennzeichnende Eigenschaften gebräuchlicher Neutronenmeßverfahren und -geräte

Für die gebräuchlichen Meßverfahren und -geräte sind in Tabelle 1 die Anwendungsart (Spalte 2), der Meßeffect (Spalte 4), der Nenngebrauchsbereich der Neutronenenergie (Spalte 5), der Meßbereich der Äquivalentdosis oder Äquivalentdosisleistung bzw. der Energiedosis oder Energiedosisleistung (Spalte 6) und das Ansprechvermögen (Spalte 7) zusammengestellt.

Die in Spalte 8 aufgeführten Faktoren erlauben, Aussagen über die Abweichung zu machen, die sich aufgrund der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens für das jeweilige Verfahren oder Gerät ergibt. Multipliziert man das in Spalte 7 angegebene Ansprechvermögen mit dem kleineren (größeren) der beiden Faktoren der Spalte 8, so erhält man das minimale (maximale) Ansprechvermögen im Nenngebrauchsbereich der Neutronenenergie (Spalte 5). Da das Ansprechvermögen im allgemeinen aber keine monotone Funktion der Neutronenenergie ist, kann durchaus nicht auf die Lage dieser Extrema im Nenngebrauchsbereich geschlossen werden. Wenn der kleinere (größere) Faktor an erster Stelle aufgeführt ist, so liegt das Minimum (Maximum) jedoch bei niedrigerer Neutronenenergie als das Maximum (Minimum).

Der angezeigte Meßwert kann nur dann bezüglich der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens korrigiert werden, wenn der Verlauf des Ansprechvermögens mit der Neutronenenergie und die Energieverteilung der einfallenden Neutronen bekannt sind. Im anderen Fall ist diese Energieabhängigkeit als nicht näher erfaßte systematische Abweichung anzusehen und eine entsprechend hohe Meßunsicherheit anzusetzen. Wird das Gerät jedoch in einem Neutronenfeld kalibriert, dessen Energieverteilung der bei der Anwendung auftretenden ähnlich ist, so kann diese Meßunsicherheit wesentlich geringer sein. Wegen Einzelheiten wird auf das angegebene Schrifttum verwiesen.

In Tabelle 2 sind sogenannte Aktivierungsdetektoren zusammengestellt, die sich für die Dosimetrie nach Strahlenunfällen eignen.

Die Abschnitte 4.1 bis 4.11 enthalten zusätzliche Angaben für die Meßverfahren und -geräte der Tabellen 1 und 2.

##### 4.1 Dosismeßfilm

Die durch langsame Neutronen erzeugte Äquivalentdosis wird beim Filmschwärzungsverfahren (siehe DIN 6816) mit Hilfe der optischen Dichten eines Dosismeßfilms bestimmt. Der Film ist während der Bestrahlung in der Plakette an verschiedenen Stellen beidseitig mit Cd bzw. mit Sn abgedeckt. Langsame Neutronen schwärzen den Film zwischen den Cd-Filtern vorwiegend über die aus dem Neutroneneinfangprozeß am Cd entstehende Gammastrahlung, aber auch der Film zwischen den Sn-Filtern wird durch langsame Neutronen merklich geschwärzt. Die durch langsame Neutronen erzeugte Äquivalentdosis ergibt sich aus der Differenz der Dosisanzeigen zwischen den Cd-Filtern  $H^{Cd}$  und den Sn-Filtern  $H^{Sn}$ , wenn diese in Einheiten der Photonenäquivalentdosis  $H_X$  mit  $^{60}Co$ -Gammastrahlung kalibriert sind, zu ungefähr  $(H^{Cd} - H^{Sn})/2$ .

Die durch einfallende Photonenstrahlung und durch Einfang-Gammastrahlung aus dem Körper der exponierten Person hervorgerufenen optischen Dichten zwischen den Cd- und zwischen den Sn-Filtern sind annähernd gleich groß, da die Schwächung der Photonenstrahlung durch beide Filter vergleichbar ist. Schnelle Neutronen werden durch diesen Dosismeßfilm nicht erfaßt.

##### 4.2 Kernspurdetektoren

In Kernspurdetektoren werden schnelle Neutronen durch neutroneninduzierte Sekundärteilchen nachgewiesen, die im Detektor selbst oder in sogenannten Konvertern in unmittelbarer Umgebung des Detektors erzeugt werden. Nach chemischer Naßverarbeitung (photographische Entwicklung, chemische oder elektrochemische Ätzung) werden die Kernspuren z. B. im Mikroskop, Microfiche-Lesegerät oder im Funkenzähler ausgezählt. Meßwert ist die flächenbezogene Anzahl der Kernspuren. Die Meßunsicherheit setzt sich aus Beiträgen u. a. der statistischen Schwankungen der Nutzspurenanzahl und der herstellungsbedingten Schwankungen der Anzahl von Untergrundspuren sowie Beiträgen aus der Energie- und Richtungsabhängigkeit des Ansprechvermögens der Detektoren zusammen. Für die Personendosimetrie sind Kernspurdetektoren wegen der hochliegenden unteren Energiegrenze des Nenngebrauchsbereichs für die Neutronenenergie im allgemeinen nur in Verbindung mit anderen Neutronendosimetern geeignet.

###### 4.2.1 Kernspurfilm

Kernspurfilm sind für Neutronenenergien oberhalb 1 MeV brauchbar, wenn die zusätzliche Photonenäquivalentdosis 10 mSv bei Photonenenergien über 0,2 MeV oder 0,4 mSv bei einer Photonenenergie von 40 keV nicht übersteigt. Nachteilig ist das nicht zu vernachlässigende Ansprechvermögen der Emulsionen für thermische Neutronen sowie das von der Temperatur, der Feuchtigkeit und von der Neutronenenergie abhängige Fading. Für Neutronen mit Energien oberhalb einiger MeV erlauben Kernspurfilm eine Aussage über deren mittlere Energie, wenn die Verteilung der Spurlängen ausgewertet wird.

###### 4.2.2 Nichtphotographische Kernspurdetektoren

Nichtphotographische Kernspurdetektoren zum Nachweis neutroneninduzierter Rückstoßkerne sind unempfindlich gegenüber Photonenstrahlung und zeigen praktisch kein Fading.

Kernspurdetektoren ohne Konverter werden manchmal mit dem Detektormaterial oder mit Polyethylenfolien (Radiatoren) abgedeckt, um das Ansprechvermögen durch vermehrte Erzeugung von Rückstoßprotonen aus der Neutronenstreuung am Wasserstoff zu erhöhen. Bei Kernspurdetektoren mit Konvertern hängt das Ansprechvermögen ausgeprägt von der Neutronenenergie ab. Die Energieabhängigkeit wird von dem Verlauf des Wirkungsquerschnittes der im Konverter stattfindenden Kernreaktion und außerdem auch von der Dicke der Konverterschicht beeinflusst. Durch geeignete Umhüllung läßt sich das Ansprechvermögen der Detektoren mit  $^6Li$ - und  $^{10}B$ -Konvertern für langsame und intermediäre Neutronen ändern.

Bei Neutronenenergien unterhalb 50 keV haben (n, Spaltfragment-)Konverter mit  $^{237}Np$  zwar ein merkliches Ansprechvermögen, doch sollten sie wegen ihrer Radioaktivität nur für Sonderaufgaben der Ortsdosimetrie eingesetzt werden.

##### 4.3 Albedodosimeter

In Albedodosimetern werden durch Detektoren für langsame Neutronen vorwiegend solche Neutronen nachgewiesen, die durch den Körper oder durch das Phantom abgebremst und zurückgestreut worden sind. Sie eignen sich deshalb nur dann als Dosimeter, wenn sie auf der Körper- oder einer Phantomboberfläche befestigt sind. Albedodosimeter sind gegen direkt einfallende langsame Neutronen mit Cadmium- oder Bor-haltigem Material abgeschirmt.

	5	6	7	8
	Nenngebrauchsbereich der Neutronenenergie <sup>2)</sup> in MeV	Meßbereich der Dosis oder Dosisleistung <sup>3)</sup>	Ansprechvermögen <sup>4)</sup> (Anzeige nach Spalte 4/Meßgröße)	Grenzwerte des Faktors für das Ansprechvermögen <sup>5)</sup> im Nenngebrauchsbereich
	bis $5 \cdot 10^{-7}$ (d. h. nur für langsame Neutronen)	0,4 bis 300 mSv	0,06 mSv <sup>-1</sup> (Zunahme der optischen Dichte im linearen Teil der Schwärzungskurve)	Fehlen
Fläche Fläche	0,8 bis 15	0,2 bis 500 mSv	$1,8 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$	0,4 bis 1,2
	1 bis 20 1,5 bis 20 0,15 bis 20 0,15 bis 20	1 bis $2 \cdot 10^3$ mSv 0,4 bis 300 mSv 0,05 bis 7 mSv 0,1 bis 200 mSv	$8 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ chemische Ätzung $18 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ elektrochem. Ätzung $8 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ elektrochem. Ätzung $2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ chemische Ätzung	0,12 bis 5,0 0,25 bis 1,2 0,05 bis 1,5 0,07 bis 1,7
	bis $5 \cdot 10^{-7}$ 1,2 bis 20 0,5 bis 20	$1 \cdot 10^{-5}$ bis 0,15 mSv 0,5 bis $1,5 \cdot 10^3$ mSv 0,3 bis 50 mSv	$1,3 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ für thermische Neutronen ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ Schichtdicke: 50 $\mu\text{m}$ ) $2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$ (Konverter, flächenbezogene Masse: $0,5 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) $3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$	Fehlen 0,35 bis 1,8 0,25 bis 1,2
Fläche	bis 10	0,1 bis $10^5$ mSv	relativ zum Ansprechvermögen für Photonenstrahlung: 1	150 bis 0,4
	bis 10	0,002 bis 1 mSv	$2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{mSv}^{-1}$	150 bis 0,4
n- n- ng-	bis 20	0,01 bis $100 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$	etwa $1 \cdot 10^6 \text{ mSv}^{-1}$	6 bis 0,3
	bis 20	0,01 bis $100 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$	etwa $1 \cdot 10^6 \text{ mSv}^{-1}$	6 bis 0,3
	bis 20	0,01 bis $100 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$	etwa $1 \cdot 10^6 \text{ mSv}^{-1}$	4 bis 0,8
	0,1 bis 20 bis 20	0,001 bis $10 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ 0,035 bis $100 \text{ mSv}$	$3,4 \cdot 10^4 \text{ mSv}^{-1}$ $1 \cdot 10^3 \text{ mSv}^{-1}$	0,5 bis 1,5 0,5 bis 1,6
	0,05 bis 20	0,01 bis $100 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$	$5,7 \cdot 10^4 \text{ mSv}^{-1}$	Fehlen
	bis 260	0,05 bis $100 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-9} \text{ C mSv}^{-1}$	3,7 – 0,5
	bis 260	$10^{-6}$ bis $10 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{Gy}^{-1}$	0,4 bis 1,5
	oberhalb 20	$1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	$5,0 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Sv}^{-1}$	Fehlen
αβ-	0,35 bis 15	0,05 bis 20 Gy	$140 \text{ mV} \cdot \text{Gy}^{-1}$	0,8 bis 1,2

<sup>3)</sup> Angegeben ist die Äquivalentdosis (Äquivalentdosisleistung) oder die Energiedosis (Energiedosisleistung) für Weichteilgewebe.

<sup>4)</sup> Das Ansprechvermögen ist der Quotient aus der Anzeige nach Spalte 4 und der Meßgröße nach Abschnitt 2. In der Tabelle sind typische mittlere Werte für den in Spalte 5 angegebenen Energiebereich aufgeführt.

<sup>5)</sup> Angegeben sind die Faktoren, mit denen die in Spalte 7 gegebenen Werte zu multiplizieren sind, um die Extremwerte des Ansprechvermögens in dem Energiebereich der Spalte 5 zu erhalten.

<sup>6)</sup> Ein Konverter ist eine Schicht vor dem eigentlichen Detektor. Er enthält Nuklide, die auf sie auftreffende Neutronenstrahlung durch eine Kernreaktion in direkt nachweisbare Strahlenarten (z. B.  $\alpha$ -Teilchen, Spaltfragmente) umwandeln.