

DIN ISO 21909-1
(VDE 0492-3-909-1)
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 13.280; 17.240

Einsprüche bis 2021-01-20

Ersatz für
E DIN EN ISO 21909-1 (VDE
0492-3-909-1):2017-05

Entwurf

**Passive Dosimetriesysteme für Neutronenstrahlung –
Teil 1: Leistungs- und Prüfanforderungen für die Personendosimetrie
(ISO/DIS 21909-1:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Passive neutron dosimetry systems –
Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry
(ISO/DIS 21909-1:2020);
Text in German and English

Systèmes dosimétriques passifs pour les neutrons –
Partie 1: Exigences de fonctionnement et d'essai pour la dosimétrie individuelle
(ISO/DIS 21909-1:2020);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-11-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 93 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	5
Vorwort.....	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
3.1 Allgemeine Begriffe	10
3.2 Auf Größen bezogene Begriffe.....	10
3.3 Kalibrierung und Auswertung	12
3.4 Liste der Symbole.....	15
4 Allgemeine Prüfbedingungen	17
4.1 Prüfbedingungen	17
4.2 Referenzstrahlung	17
4.3 Prüfanforderungen.....	17
5 Leistungs- und Prüfanforderungen.....	18
6 Prüfverfahren	21
7 Leistungsprüfungen: Intrinsische Eigenschaften.....	21
7.1 Allgemeines	21
7.2 Bestrahlungen	21
7.3 Qualifizierung, um die Verwendung der vollständigen Kombinationspackung aus Neutronen- und Photonendosimeter zu vermeiden.....	26
7.3.1 Zweck der Prüfung	26
7.3.2 Prüfverfahren.....	27
7.3.3 Interpretation der Ergebnisse	27
7.4 Leistungsprüfungen	28
7.4.1 Allgemeines	28
7.4.2 Variationskoeffizient/Linearität	28
7.4.3 Energie- und Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens	29
7.4.4 Spezielle Prüfung für thermische Neutronen	30
8 Leistungsprüfungen: Stabilität im Bereich realistischer Gebrauchsbedingungen der Dosimeter	31
8.1 Fading.....	31
8.1.1 Allgemeines	31
8.1.2 Prüfverfahren.....	31
8.1.3 Interpretation der Ergebnisse	31
8.2 Alterung	32

	Seite
8.2.1 Allgemeines.....	32
8.2.2 Prüfverfahren	32
8.2.3 Interpretation der Ergebnisse.....	32
8.3 Auswirkung der Lagerung auf unbestrahlte Dosimeter.....	33
8.3.1 Allgemeines.....	33
8.3.2 Prüfverfahren	33
8.3.3 Interpretation der Ergebnisse.....	33
8.4 Einwirkung einer anderen Strahlung als Neutronenstrahlung	33
8.4.1 Allgemeines.....	33
8.4.2 Photonenstrahlung	33
8.4.3 Radon.....	35
8.5 Stabilität unter verschiedenen klimatischen Bedingungen	35
8.5.1 Allgemeines.....	35
8.5.2 Auswirkung auf das Dosis-Ansprechvermögen	35
8.5.3 Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	36
8.6 Auswirkung von Lichteinwirkung (Lichtempfindlichkeit).....	37
8.6.1 Auswirkung auf das Dosis-Ansprechvermögen	37
8.6.2 Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	37
8.7 Fallprüfung	38
8.7.1 Auswirkung auf das Dosis-Ansprechvermögen	38
8.7.2 Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	38
8.8 Abstand zum Phantom.....	39
8.8.1 Allgemeines.....	39
8.8.2 Prüfverfahren	39
8.8.3 Interpretation der Ergebnisse.....	39
8.9 Abdichtung	39
9 Kennzeichnung und Begleitunterlagen	39
9.1 Individuelle Beschriftung	39
9.2 Gemeinsame Kennzeichnung	40
9.3 Begleitunterlagen	40
Anhang A (informativ) Dosimetrie für die Bestrahlung von Extremitäten.....	41
Anhang B (normativ) Bezugs- und Standardprüfbedingungen	42
Anhang C (normativ) Bestrahlungsbedingungen	43
Anhang D (normativ) Tabellen von Konversionskoeffizienten	44
Anhang E (normativ) Vertrauensgrenzen.....	45
E.1 Allgemeines.....	45
E.2 Vertrauensintervall für den arithmetische Mittelwert $\bar{x}$	46
E.3 Vertrauensintervall für die experimentelle Standardabweichung s	47
E.4 Vertrauensintervall für eine kombinierte Größe	47

Literaturhinweise	49
-------------------------	----

Bilder

Bild 1 – Anforderungen an den Variationskoeffizienten für alle Arten von Dosimetriesystemen. Die Anzahl der Dosimeter wird in Abhängigkeit von der Mess-Äquivalentdosis festgelegt (siehe Tabelle 2)	18
Bild 2 – Anforderungen an die Energie- und Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für alle Arten von Dosimetriesystemen	19
Bild 3 – Optimierungsprinzip für Bestrahlungen, das zur Berücksichtigung der Mischfelder verwendet werden kann	26
Bild E.1 – Prüfung des Vertrauensintervalls	45

Tabellen

Tabelle 1 – Liste der Symbole	16
Tabelle 2 – Anforderungen an die Linearität von Dosimetriesystemen	19
Tabelle 3 – Leistungsanforderungen bei der Prüfung des Verhaltens von Dosimetriesystemen als Funktion interner oder externen Bedingungen	20
Tabelle 4 – Bestrahlungsreihen, die für die Prüfung der charakteristischen Merkmale von Dosimetriesystemen erforderlich sind	23
Tabelle 5 – Vorgeschriebene Bestrahlungsreihen als Funktion des für das Dosimetriesystem angegebenen Energiebereichs	24
Tabelle 6 – Leistungsgrenzen in Abhängigkeit vom Referenzwert H^0 und der Einfallsrichtung der Neutronenstrahlung für alle Dosimetriesysteme	30
Tabelle 7 – Leistungsprüfungen für photonenempfindliche Dosimeter	35
Tabelle B.1 – Bezugs- und Standardprüfbedingungen	42
Tabelle D.1 – Konversionskoeffizient $h_p \phi(10, E, \alpha)$ zur Umrechnung von Neutronenfluenz in Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ im gewebeäquivalenten ICRU-Quaderphantom für monoenergetische und parallele Neutronenstrahlung (aufgeweitetes Feld)	44
Tabelle D.2 – Konversionskoeffizient $h_p \phi(10, E, \alpha)$ zur Umrechnung von Neutronenfluenz in Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ im gewebeäquivalenten ICRU-Quaderphantom für parallele Neutronenstrahlung (aufgeweitetes Feld)	44
Tabelle E.1 – Student- t -Faktor für ein doppelseitiges 95 %-Vertrauensintervall für eine Probengröße n	46

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument ISO/DIS 21909-1:2020 „Passive neutron dosimetry systems – Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry“ ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des DIS entsprechend der diesbezüglich durch die ISO erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

Das internationale Dokument wurde vom ISO/TC 85/SC 2 „Radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Mitgliedern zur Stellungnahme und Abstimmung vorgelegt.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 852 „Strahlenschutzdosimeter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), zuständig.

Der Entwurf ersetzt den Entwurf E DIN EN ISO 21909-1 (VDE 0492-3-909-1):2017-05, welcher auf der nun in Überarbeitung befindlichen ISO-Publikation basierte.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

In der Reihe ISO 21909 sind zurzeit die folgenden Teile mit dem gemeinsamen übergeordneten Titel *Passive Neutronen-Dosimetriesysteme für Neutronenstrahlung* vorgesehen:

- Teil 1: Leistungs- und Prüfanforderungen für die Personendosimetrie
- Teil 2: Verfahren und Empfehlungen für Arbeitsplatzstudien bezüglich Neutronenstrahlung

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der enthaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche technische Komitee ISO/TC 85, *Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection*, Unterkomitee SC 2, *Radiological protection*.

Diese zweite Ausgabe ersetzt ISO 21909:2015, die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 21909 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Dieses Dokument enthält laborgestützte Leistungs- und Prüfanforderungen an passive Dosimetriesysteme zur Ermittlung der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in Neutronenfeldern mit Energien im Bereich von thermischer Energie bis etwa 20 MeV.

Ein Dosimetriesystem kann aus den folgenden Elementen bestehen:

- a) einem passiven Bauteil (hier als Detektor bezeichnet), das nach Einwirkung von Strahlung eine Information (ein Signal) für die Messung einer oder mehrerer Messgrößen des einfallenden Strahlungsfelds speichert;
- b) einem Dosimeter, das aus einem oder mehreren Detektoren besteht, die zusammen mit einigen Identifikationsmerkmalen gemeinsam eingebaut sind;
- c) einer Prozedur zur Vorbereitung der Dosimeter vor der Bestrahlung und/oder vor dem Auslesen;
- d) einem Lesegerät, das zum Auslesen des gespeicherten Signals des Detektors benutzt wird, und ggf. dem zugehörigen Algorithmus, der zur Bestimmung der Tiefen-Personendosis dient.

Dieses Dokument gilt für alle passiven Neutronendetektoren, die ganz oder teilweise in dem oben genannten Neutronenenergiebereich als Personendosimeter eingesetzt werden können. Dieses Dokument ist nicht dazu bestimmt, irgendeine bestimmte Technik auszuschließen, sondern soll allgemeine Gültigkeit auch für neu entwickelte Verfahren haben, sobald sie auftreten. Wo Unterscheidungen erforderlich sind, werden sie so allgemein wie möglich angegeben, z. B. in Einwegdosimeter, wiederverwendbare Dosimeter und photonenempfindliche Dosimeter. Grundsätzlich sind die Leistungsprüfungen nicht auf eine bestimmte Technik abgestimmt, soweit dies nicht absolut erforderlich ist. Infolgedessen zielt dieses Dokument auf die Festlegung von Methoden zur Prüfung der Leistungsfähigkeit ab, um vergleichbare Ergebnisse unabhängig von der benutzten Technik zu erhalten.

Das Hauptziel dieses Dokuments besteht im Erreichen von Korrelationen zwischen den Leistungsprüfungen und den Gebrauchsbedingungen am Arbeitsplatz. Dosimetriesysteme, die diesem Dokument entsprechen, zeigen konsistente Dosimetrie-Ergebnisse beim Einsatz am Arbeitsplatz. Um das angegebene Ziel zu erreichen, müssen in diesem Dokument verschiedene Situationen bei Strahlungseinwirkungen in Bezug auf das Dosisniveau und die Neutronenenergieverteilung berücksichtigt werden.

Die jährliche Strahlenexposition vieler Arbeitnehmer besteht aus einer Summe mehrerer niedriger Dosiswerte nahe dem minimalen Erfassungswert. Deshalb muss das Dosimeter sehr gut charakterisiert werden, nicht nur für die Verwendung in Situationen, bei denen relativ hohe Dosen auftreten, sondern auch für solche Situationen, bei denen geringe Dosiswerte auftreten, um sicherzustellen, dass die Jahresdosis mit einer akzeptablen Unsicherheit bestimmt wird. In diesem Dokument gibt es keine Prüfung der Nachweisgrenze mittels der Messung des Untergrundsignals von Dosimetern, wenn sie nicht bestrahlt werden. Doch müssen alle Prüfungen, die auf die Bestimmung der dosimetrischen Eigenschaften des Systems (Variationskoeffizient und Linearität, Energie- und Winkelabhängigkeit) zielen, bei zwei Dosiswerten durchgeführt werden, bei etwa 1 mSv und nahe dem minimalen Erfassungswert. Die bei diesen beiden Dosiswerten angewendeten Kriterien können unterschiedlich sein. Damit soll sichergestellt werden, dass die Dosimetriesysteme an die Dosisbereiche angepasst sind, die üblicherweise an den Arbeitsplätzen auftreten.

Das Hauptziel dieses Dokuments besteht darin, sicherzustellen, dass ein Dosimeter für den Einsatz an den meisten Arbeitsplätzen eine ausreichende Zuverlässigkeit besitzt. Charakteristika für die Neutronen-Referenzstrahlung und Verfahren für die sachgerechte Kalibrierung der Dosimeter sind in ISO 8529 (alle Teile), ISO 12789-1 und **ISO 29661** beschrieben. Die Mess-Äquivalentdosis-Verteilungen der häufigsten Referenzstrahlungen (z. B. $^{241}\text{Am-Be}$ oder ^{252}Cf), wie sie für die Kalibrierung benutzt werden, liegen bezüglich der Energie üblicherweise höher (wo die Mess-Äquivalentdosis je Neutron größer ist) als diejenigen Verteilungen, die an Arbeitsplätzen auftreten. Die Leistungsfähigkeit der Dosimeter für Neutronenenergien zwischen einigen zehn und einigen hundert keV muss speziell bestimmt werden, um ein gutes Ansprechvermögen an den meisten Arbeitsplätzen sicherzustellen. Um diesen Erfordernissen gerecht zu werden, sind in diesem Dokument einige Leistungsprüfungen mit monoenergetischen Neutronenfeldern bei niedrigen Energien erforderlich.

Ein gut charakterisiertes Neutronenfeld (z. B. ^{241}Am oder ^{252}Cf) reicht aus, um die Stabilität der dosimetrischen Leistungsdaten in Bezug auf Einflussgrößen zu prüfen (z. B. Fading, Alterung, Einfluss der Nicht-Neut-

ronenstrahlung auf das Neutronensignal, raue klimatische Bedingungen, Lichteinwirkung, physikalische Schäden und Dichtheit).

Dieses Dokument beschreibt keine Leistungsprüfungen, die der Ermittlung eines Leistungsabfalls aufgrund folgender Umstände dienen:

- immanente zeitliche Schwankung der Qualität des vom Hersteller gelieferten Dosimeters;
- immanente zeitliche Schwankung der Vorbehandlung (vor der Bestrahlung und/oder vor dem Auslesen), soweit zutreffend;
- immanente zeitliche Schwankung des Ausleseprozesses;
- Verschlechterung aufgrund von Umgebungseinflüssen auf die vorbereitende Behandlung, soweit zutreffend;
- Verschlechterung aufgrund von Umgebungseinflüssen auf den Ausleseprozess.

Um jedoch die Stabilität des Dosimetriesystems sicherzustellen, ist es erforderlich, dass vom Prüflabor die potenzielle Verschlechterung bewertet und/oder die entsprechenden Prozessregler justiert werden.

Für den Fall, dass ein Dosimetriesystem nicht den gesamten Bereich der Anforderungen dieses Dokuments hinsichtlich der Abhängigkeit des Ansprechvermögens von der Energie- und Richtungsverteilung der Neutronenfluenz erfüllt, ist es notwendig, die Eigenschaften für die Bedingungen des gewählten Arbeitsplatzes zu bewerten. Dies wird in ISO 21909-2 behandelt. ISO 21909-2 gibt Methoden und Kriterien zur Qualifizierung des Dosimetriesystems am Arbeitsplatz an. Auch wenn das Dosimetriesystem die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt, kann es wünschenswert sein, eine ähnliche Studie am Arbeitsplatz durchzuführen.

Dieses Dokument kann in Zukunft in einem weiteren Teil auf die Umgebungsdosis-Äquivalentdosis $H^*(10)$ für die Umgebungs- und Umweltdosimetrie ausgedehnt werden.

Alle Abschätzungen der Unsicherheiten in diesem Dokument müssen in Übereinstimmung mit dem GUM [2] durchgeführt werden. Die in diesem Dokument angegebenen Unsicherheiten werden unter Verwendung eines Erweiterungsfaktors $k = 2$ angegeben.

Passive Dosimetriesysteme für Neutronenstrahlung – Teil 1: Leistungs- und Prüfanforderungen für die Personendosimetrie

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument liefert Leistungs- und Prüfanforderungen zur Feststellung der Eignung von Neutronendosimetrie-Systemen für die Messung der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ von Neutronenstrahlung im Energiebereich von thermischer Energie bis 20 MeV¹. Bei der Beschreibung der Prüfverfahren wird nicht zwischen den verschiedenen auf dem Markt verfügbaren Techniken unterschieden. Nur allgemeine Unterscheidungen wie z. B. Einwegdosimeter oder wiederverwendbare Dosimeter werden getroffen.

Dieses Dokument enthält im [Anhang A](#) Informationen für die Extremitätendosimetrie, basierend auf den Empfehlungen des ICRU-Berichts 66. Dieses Dokument befasst sich nur mit der Personendosimetrie bei Neutronenstrahlung und nicht mit den Bedingungen eines Neutronen-Kritikalitätsunfalls.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 29661, *Reference radiation fields for radiation protection – Definitions and fundamental concepts*

ISO 21909-2:2021, *Passive neutron dosimetry systems – Part 2: Methodology and criteria for the qualification of personal dosimetry systems in workplaces*

ISO 8529-1:2001, *Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production*

ISO 8529-2, *Reference neutron radiations – Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field*

ISO 8529-3, *Reference neutron radiations – Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and determination of response as a function of energy and angle of incidence*

ISO 12789-1, *Reference radiation fields – Simulated workplace neutron fields – Part 1: Characteristics and methods of production*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

¹ Diese Höchstgrenze des Energiebereichs gibt nur die Größenordnung an. Für die Leistungsprüfungen werden die in ISO 8529-1 definierten Referenzstrahlungsfelder benutzt. Dies bedeutet, dass die maximalen Energien bei nur 14,8 MeV oder 19 MeV liegen können. Dieses Dokument enthält Leistungsanforderungen bis 14,8 MeV, der bei Fusion auftretenden typischen Neutronenenergie. Bei Spaltungsspektren liegen die höchsten Energien bei etwa 20 MeV, doch ist der Beitrag von Neutronen mit höheren Energien als 14,8 MeV zur Mess-Äquivalentdosis vernachlässigbar.

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Allgemeine Begriffe

3.1.1

Alterung

(en: ageing)

zeitliche Änderung der physikalischen, chemischen oder elektrischen Eigenschaften eines Bauteils oder Moduls unter spezifizierten Betriebsbedingungen, die zu einer Verschlechterung der signifikanten Leistungsmerkmale führen können

[QUELLE: IEC 60050-393:2007, 393-18-41]

3.1.2

Detektor

Strahlungsdetektor

(en: detector, radiation detector)

Gerät oder Substanz zur Umwandlung der einfallenden ionisierenden Strahlungsenergie in ein für die Anzeige und/oder Messung geeignetes Signal

[QUELLE: IEC 60050-394:2007, 394-24-01, modifiziert – „Detektor“ wurde als bevorzugte Benennung hinzugefügt]

3.1.3

Fading

(en: fading)

Signalverlust unter bestimmten Bedingungen wie Lagerung, Transport, Feuchte oder Temperaturänderung

[QUELLE: IEC 60050-393:2007, 393-38-54]

3.1.4

Dosimeter

(en: dosimeter, dosimeter)

Gerät mit einem reproduzierbaren, messbaren Ansprechvermögen auf Strahlung, das zur Messung der *Energiedosis* (3.2.1) oder der *Mess-Äquivalentdosis* (3.2.3) in einem gegebenen System benutzt werden kann

[QUELLE: ISO 12749-2:2013, 5.5]

3.1.5

Personendosimeter

(en: personal dosimeter)

Dosimeter, das von einer Person getragen wird, um die erhaltene Personendosis zu ermitteln

[QUELLE: IEC 60050-394:2007, 394-31-11 modifiziert – die Anmerkungen 1 und 2 sind entfallen]

3.1.6

Dosimetriesystem

(en: dosimetry system)

System zur Messung der Energiedosis, bestehend aus Dosimetern, Messgeräten und den dazugehörigen Bezugsnormen, sowie Verfahren für die Verwendung des Systems

[QUELLE: ISO 12749-4:2015(en), 3.3.1]

3.2 Auf Größen bezogene Begriffe

3.2.1

Energiedosis

D

(en: absorbed dose)

Quotient $d\bar{E}$ durch dm , wobei $d\bar{E}$ die mittlere Energie ist, die der Masse dm zugeführt wird, so dass gilt

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Maßeinheit der Energiedosis ist Joule durch Kilogramm ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$). Die spezielle Bezeichnung für die Energiedosis ist Gray (Gy).

[QUELLE: ICRU 60, 4.2.5]

3.2.2

Qualitätsfaktor

Q

(en: quality factor)

Zahl, mit der die *Energiedosis* (D) (3.2.1) multipliziert wird, um die relative biologische Wirksamkeit der Strahlung anzugeben; das Ergebnis ist die *Mess-Äquivalentdosis* (3.2.3)

[QUELLE: ISO 12749-2:2013, 4.1.6.6]

3.2.3

Mess-Äquivalentdosis

H

(en: dose equivalent)

Produkt aus D und Q an einem Punkt im Gewebe, wobei D die *Energiedosis* (3.2.1) und Q der *Qualitätsfaktor* (3.2.2) für die spezifische Strahlung an diesem Punkt ist, daher gilt:

$$H = D \cdot Q$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Maßeinheit der Mess-Äquivalentdosis ist Joule durch Kilogramm ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$), und die spezielle Bezeichnung ist Sievert (Sv).

[QUELLE: ICRP 103:2007]

3.2.4

ICRU-Kugel

(en: ICRU sphere)

Kugel von 30 cm Durchmesser aus gewebeäquivalentem Material mit einer Dichte von 1 g/cm^3 sowie einer Massenzusammensetzung von 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff

[QUELLE: ISO 12749-2:2013, 4.1.6.4, modifiziert – Anmerkung 1 ist entfallen]

3.2.5

Neutronenfluenz

Φ

(en: neutron fluence)

Quotient dN durch da , wobei dN die Anzahl der auf eine Kugel mit der Querschnittsfläche da auftreffenden Neutronen ist

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die SI-Einheit der Fluenz ist m^{-2} ; eine häufig verwendete Einheit ist cm^{-2} .

[QUELLE: ISO 8529-1:2001]

3.2.6

Personendosis

$H_p(d)$

(en: personal dose equivalent)

Mess-Äquivalentdosis (3.2.3) in Weichteilgewebe in einer Tiefe d unter einem spezifizierten Punkt auf dem menschlichen Körper

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Maßeinheit der Personendosis ist Joule durch Kilogramm ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$), und ihre spezielle Bezeichnung ist Sievert (Sv).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der spezifizierte Punkt ergibt sich normalerweise aus der Position, an der das Personendosimeter getragen wird.

[QUELLE ICRP 103:2007]

3.2.7

Umgebungs-Äquivalentdosis

(en: ambient dose equivalent)

Mess-Äquivalentdosis (3.2.3), die durch das entsprechende ausgerichtete und erweiterte Feld in der ICRU-Kugel (3.2.4) in einer Tiefe d auf dem der Richtung des ausgerichteten Felds entgegengesetzten Radius erzeugt würde

[QUELLE IAEA—Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards - Interim Edition IAEA Safety Standards Series GSR Part 3, 2011]

3.2.8

Konversionskoeffizient

$h_{p\phi}(10, E, \alpha)$

(en: conversion coefficient)

Quotient Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ durch Neutronenfluenz ϕ an einem Ort im Strahlungsfeld, der zur Umwandlung der Neutronenfluenz in die Tiefen-Personendosis in 10 mm Tiefe im gewebeäquivalenten ICRU-Quaderphantom benutzt wird, wobei E die Energie der einfallenden Neutronen ist, die im Winkel α auf das Phantom auftreffen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Maßeinheit des Konversionskoeffizienten ist $\text{Sv} \cdot \text{m}^2$. Eine allgemein verwendete Einheit des Konversionskoeffizienten ist $\text{pSv} \cdot \text{cm}^2$.

3.3 Kalibrierung und Auswertung

3.3.1

arithmetischer Mittelwert

$\bar{x}$

(en: arithmetic mean)

Durchschnittswert einer Serie x_i aus n Messungen, der sich nach folgender Gleichung ergibt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{N1}$$

3.3.2

richtiger Größenwert

H^0

(en: conventional quantity value)

Größenwert, der entsprechend der Vereinbarung einer Größe für einen gegebenen Zweck zugeordnet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der richtige Wert H^0 ist der bestmögliche Schätzer der zu messenden Größe, ermittelt mit einem Primärnormal oder einem Sekundär- bzw. Arbeitsnormal, welche auf ein Primärnormal rückführbar ist.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.12, modifiziert]

3.3.3

Kalibrierung

(en: calibration)

Tätigkeit, die unter festgelegten Bedingungen in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Normale zur Verfügung gestellten Größenwerten mit ihren Messunsicherheiten und den entsprechenden Anzeigen mit ihren beigeordneten Messunsicherheiten herstellt, und in einem zweiten Schritt diese Information verwendet, um eine Beziehung herzustellen, mit deren Hilfe ein Messergebnis aus einer Anzeige erhalten wird

N1 Nationale Fußnote: Hier liegt ein Tippfehler im ISO-Originalentwurf vor, dort steht & statt der 1 im Zähler.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung kann in Form einer Angabe, einer Kalibrierfunktion, eines Kalibrierdiagramms, einer Kalibrierkurve oder einer Kalibriertabelle ausgedrückt werden. In einigen Fällen kann sie aus einer additiven oder multiplikativen Korrektur der Anzeige mit der beigeordneten Messunsicherheit bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kalibrierung sollte nicht mit der Justierung eines Messsystems verwechselt werden, die oft fälschlicherweise „Selbst-Kalibrierung“ genannt wird, und auch nicht mit der Verifizierung der Kalibrierung.

Anmerkung 3 zum Begriff: Oft wird nur der erste Schritt der obigen Definition als Kalibrierung angesehen.

[QUELLE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39]

3.3.4

Kalibrierfaktor

N

(en: calibration factor)

Quotient *richtiger Größenwert* H^0 (3.3.2) durch *Anzeige* M (3.3.15), ermittelt unter Standardbedingungen, der sich nach folgender Gleichung ergibt:

$$N = \frac{H^0}{M}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Mathematische Funktionen, in einigen Fällen Funktionsfamilien, können verwendet werden, um Kalibrierfaktoren für eine Vielzahl von Bedingungen bereitzustellen. Mehrere verschiedene Kalibrierfunktionen können für dasselbe Dosimetriesystem definiert und möglicherweise für verschiedene Expositionsbedingungen verwendet werden.

3.3.5

Kalibriergröße

(en: calibration quantity)

physikalische Größe, die zur Kalibrierung des Dosimeters verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Rahmen dieses Dokuments ist die Kalibriergröße die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in einer Tiefe von 10 mm im gewebeäquivalenten ICRU-Quaderphantom.

3.3.6

Stichproben-Standardabweichung

s

(en: sample standard deviation)

Parameter für eine Messreihe x_i aus n Messungen zur Beschreibung der Verteilung und bestimmt nach folgender Gleichung:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dabei ist

$\bar{x}$ der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse der n Messungen.

3.3.7

Variationskoeffizient

C

(en: coefficient of variation)

Quotient Standardabweichung s durch arithmetischen Mittelwert $\bar{x}$ einer Reihe x_i aus n Messungen und berechnet nach folgender Gleichung:

$$C = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

[QUELLE: IEC 60050-394, 394-40-14]

3.3.8

Nachweisgrenze

(en: detection threshold)

gemessene minimale Mess-Äquivalentdosis, die (bei 95 % Vertrauensniveau) signifikant höher ist als die mittlere Mess-Äquivalentdosis einer Stichprobe von unbestrahlten Dosimetern

3.3.9

minimaler Erfassungswert

$H_{\min}$

(en: minimal recording value)

niedrigster Dosiswert, der erfasst wird, d. h. der untere Grenzwert des vom Dosimetrielaboratorium festgelegten Dosismessbereichs

Anmerkung 1 zum Begriff: $H_{\min}$ kann zum Beispiel gleich 0,10 mSv oder 0,20 mSv oder sogar 0,30 mSv sein. Die Wahl hängt vom Land des Dosimetrielaboratoriums ab. $H_{\min}$ ist logischerweise höchstens gleich oder geringer als der gesetzliche Schwellenwert des Landes.

Anmerkung 2 zum Begriff: In diesem Dokument darf $H_{\min}$ einen Maximalwert von 0,3 mSv nicht überschreiten: $H_{\min} \leq 0,3 \text{ mSv}$.

3.3.10

Feldkorrektur

(en: field correction)

Verfahren zur Bestimmung eines feldspezifischen Korrekturfaktors für Neutronendosimeter in Neutronenfeldern, die für das jeweiligen Arbeitsumfeld repräsentativ sind und für die die Personendosisleistungen oder die Verteilungen von Neutronenenergie und die Strahlungseinfallswinkel mit geeigneten Methoden bestimmt wurden und somit ausreichend gut bekannt sind

3.3.11

Einflussgröße

(en: influence quantity)

Größe (Parameter), die einen Einfluss auf das Messergebnis hat ohne das eigentliche Ziel der Messung zu sein

[QUELLE: ISO 8529-3:1998, 3.2.1, modifiziert – „Parameter“ wurde hinzugefügt und die Anmerkung 1 entfernt]

3.3.12

gemessene Mess-Äquivalentdosis

H^M

(en: measured dose equivalent)

Produkt aus Anzeige M und Kalibrierfaktor N

$$H^M = M \cdot N$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Es können auch komplexere Algorithmen verwendet werden.

3.3.13

Phantom

(en: phantom)

Objekt, das die Streuungs- und Absorptionseigenschaften des menschlichen Körpers bei einer gegebenen ionisierenden Strahlung simuliert

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Kalibrierungen im Hinblick auf den Schutz des Ganzkörpers wird das wasseräquivalente ISO-Quaderphantom verwendet. Es besteht aus Wänden aus Polymethylmethacrylat (PMMA) (Vorderwand 2,5 mm dick, andere Wände 10 mm dick) mit den Außenabmessungen 30 cm × 30 cm × 15 cm und ist mit Wasser gefüllt.

Anmerkung 2 zum Begriff: In Fällen sehr inhomogener Bestrahlungsbedingungen kann ein Teilkörper-Säulenphantom oder ein Stabphantom verwendet werden, wie im ICRU-Bericht 66 beschrieben.

[QUELLE: ISO 12749-2, 4.1.6.1 modifiziert – Anmerkungen 1 und 2 wurden hinzugefügt]

3.3.14

Bezugsbedingungen

(en: reference conditions)

Gruppe von Einflussgrößen, für die der Kalibrierfaktor ohne jede Korrektur gilt

[QUELLE: ISO 8529-3:1998]

3.3.15

Auslesen

(en: read out)

Methode zur Bestimmung der Anzeige eines Detektor- oder Dosimeter-Auslesegeräts

3.3.16

Anzeige

M

(en: reading)

quantitative Anzeige eines ausgelesenen Detektors oder Dosimeters, die gewöhnlich korrigiert wird bezüglich Untergrund, Alterung, Fading und Nichtlinearität des Prozesses bzw. des Auslesesystems

3.3.17

Ansprechvermögen bezüglich Mess-Äquivalentdosis

(im Dokument kurz „Ansprechvermögen“)

R

(en: dose equivalent response (abbreviated form: “response” in the document))

gemessene Äquivalentdosis H^M , dividiert durch den *richtigen* Größenwert (3.3.2) der Mess-Äquivalentdosis H^0 nach folgender Gleichung:

$$R = \frac{H^M}{H^0}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anzeige M wird in die Mess-Äquivalentdosis H^M umgewandelt, indem M mit einem geeigneten Konversionskoeffizienten multipliziert wird, oder durch Anwendung eines komplexeren Algorithmus.

Anmerkung 2 zum Begriff: In diesem Dokument ist die Größe die Tiefen-Personendosis: $R = \frac{H_p^M(10)}{H_p^0(10)}$.

Anmerkung 3 zum Begriff: In diesem Dokument wird der Kürze halber $H^M = H$ und $H^0 = H_p^{\text{reference}}$ verwendet.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der Kehrwert des Ansprechvermögens unter Bezugsbedingungen ist gleich dem Kalibrierkoeffizienten.

Anmerkung 5 zum Begriff: In der Metrologie der Strahlung wird der Begriff Ansprechvermögen (en: response), für diese Anwendung eine Abkürzung von „Ansprechcharakteristik“ (en: “response characteristic”) (VIM), als Quotient von Anzeige M des Messgeräts durch den Wert der vom Messgerät zu messenden Größe definiert, und zwar für eine bestimmte Art, Energie- und Richtungsverteilung der Strahlung. Um Verwechslungen zu vermeiden, ist es wichtig, die zu messende Größe anzugeben. Beispielsweise ist „Fluenz-Ansprechvermögen“ das Ansprechvermögen in Bezug auf die Fluenz, während das „Mess-Äquivalentdosis-Ansprechvermögen“ das Ansprechvermögen in Bezug auf die Mess-Äquivalentdosis ist.

[QUELLE: ISO 8529-3:1998, 3.2.10, modifiziert]

3.3.18

Standardprüfbedingungen

(en: standard test conditions)

Bedingungen, die durch den Wertebereich für die Einflussgrößen repräsentiert werden, unter denen eine Kalibrierung oder eine Bestimmung des Ansprechvermögens durchgeführt wird

3.4 Liste der Symbole

Die in diesem Dokument verwendeten Symbole sind in [Tabelle 1](#) aufgelistet.

Tabelle 1 – Liste der Symbole ^{N2}

Symbol	Bedeutung	Einheit
C	Variationskoeffizient	–
D	Energiedosis	Gy
$D_{\text{ageing max}}$	$T_2 - T_1$	Tage
$D_{\text{fading max}}$	maximale Lagerzeitspanne in Tagen zwischen Bestrahlung und Auslesen	Tage
d	Tiefe in ICRU 4-Element-Gewebe oder in Weichteilgewebe. Empfohlene Tiefen sind 0,07 mm, 3 mm und 10 mm.	mm
H	Mess-Äquivalentdosis	Sv
H_{HD}	Personendosis, deren Wert innerhalb des folgenden Bereichs gewählt wird: $0,8 \text{ mSv} < H_{\text{HD}} < 2 \text{ mSv}$	Sv
I^M	Messwert der Mess-Äquivalentdosis	Sv
H_{min}	minimaler Erfassungswert	Sv
$H_p(d)$	Personendosis in einer Tiefe d	Sv
$H_p(10)$	Tiefen-Personendosis (immer in 10 mm Tiefe)	Sv
H_p^0	richtiger Größenwert der Personendosis	Sv
$h_p \phi(10; E, \alpha)$	Konversionskoeffizient	$\text{Sv} \cdot \text{m}^2$
I^0	richtiger Größenwert (einer Größe)	Sv
I^0_{neutron}	richtiger Größenwert nur für Neutronenstrahlungen	Sv
I^0_{photon}	richtiger Größenwert nur für Photonenstrahlungen	Sv
$H^*(10)$	Umgebungs-Äquivalentdosis (immer in 10 mm Tiefe)	Sv
i	Bezeichner für eine Gruppe, die einer bestimmten Einflussgröße ausgesetzt ist	–
j	Bezeichner für eine Gruppe, die einem spezifischen Dosimeter aus n gleichmäßig bestrahlten Dosimetern ausgesetzt ist ^{N3}	–
k	Bezeichner für eine Gruppe, die einer spezifischen Serie von Bestrahlungen ausgesetzt ist	–
M	Anzeige	Sv
N	Kalibrierfaktor	–
n	Anzahl der gleich bestrahlten Dosimeter einer Gruppe	–
Q	Qualitätsfaktor	–
R	Ansprechvermögen	–
R^0	Bezugsansprechvermögen	–
r	zulässiger Wert	–
r_{max}	maximal zulässiger Wert	–
r_{min}	minimal zulässiger Wert	–
s	(experimentelle) Stichproben-Standardabweichung	–
T_1	minimale Zeitspanne zwischen dem Herstellungsdatum eines Einwegdosimeters bzw. dem Datum der Rückstellung eines wiederverwendbaren Dosimeters und dem ersten Tag der möglichen Bestrahlung	Tage
T_2	maximale Zeitspanne zwischen dem Herstellungsdatum eines Einwegdosimeters bzw. dem Datum der Rückstellung eines wiederverwendbaren Dosimeters und dem letzten Tag der möglichen Bestrahlung	Tage
t_n^{-1}	Student- t -Faktor für n Messungen	–
U	erweiterte Messunsicherheit	–
U^0	erweiterte Messunsicherheit des richtigen Größenwerts	–
Φ	Fluenz	m^{-2}
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert	–

^{N2} Nationale Fußnote: Die Einheiten in dieser Tabelle entsprechen dem ISO-Entwurf, sind aber nicht immer richtig.

^{N3} Nationale Fußnote: Diese Angabe ist unklar. Vermutlich ist gemeint: Bezeichner für ein bestimmtes Dosimeter einer Gruppe aus n gleich bestrahlten Dosimetern.

In diesem Dokument werden SI-Einheiten verwendet. Jedoch werden für Zeit und Energie die folgenden praxisnahen Maßeinheiten benutzt, wenn dies erforderlich ist:

- Tage (d) und Stunden (h) für die Zeit;
- Elektronenvolt (eV), wobei $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Die SI-Einheit für die Mess-Äquivalentdosis ist $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, aber der spezielle Name für die Einheit der Mess-Äquivalentdosis ist Sievert (Sv).

4 Allgemeine Prüfbedingungen

4.1 Prüfbedingungen

Alle Prüfungen müssen unter Standardprüfbedingungen (siehe [Anhang B](#)) durchgeführt werden, soweit nichts anderes festgelegt ist. Die tatsächlich vorherrschenden Bedingungen sollten im Prüfbericht vermerkt werden. Diese Bedingungen sollten sich während einer Messreihe nicht wesentlich ändern, um einen Einfluss auf die Detektorsignale auszuschließen.

4.2 Referenzstrahlung

Es müssen die in ISO 8529-1 definierten Referenzstrahlungsfelder benutzt werden. Die auf die Charakterisierung der wesentlichen Eigenschaften des Dosimetriesystems (Variationskoeffizient, Linearität, Energie- und Winkelabhängigkeit) ausgerichteten Leistungsprüfungen müssen bei unterschiedlichen Energieverteilungen (z. B. von Neutronenquellen ^{241}Am -Be oder ^{252}Cf , monoenergetischen Feldern unterschiedlicher Energien) durchgeführt werden. Ein gut charakterisiertes Neutronenfeld (z. B. ^{241}Am -Be oder ^{252}Cf) reicht aus, um Veränderungen der Eigenschaften eines Dosimetriesystems aufgrund interner oder externer Bedingungen (Fading, Einfluss von Photonen usw.) zu beurteilen. Informationen über die Bestrahlungsbedingungen sind in [Anhang C](#) enthalten.

In [Anhang A](#) ist ein Abschnitt speziell zur Teilkörperdosimetrie enthalten.

ANMERKUNG 1 Prüfungen unter Verwendung simulierter Neutronen-Arbeitsplatzfelder, wie sie in ISO 12789-1 definiert sind, werden aufgrund der sehr begrenzten Verfügbarkeit von Einrichtungen, die solche Felder bereitstellen können, nicht durchgeführt.

ANMERKUNG 2 Bei Dosimetriesystemen, die mittels Feldkalibrierung kalibriert werden, können manche der Prüfungen ebenfalls in diesen Feldern vorgenommen werden. Siehe [Anhänge C](#) und [D](#).

4.3 Prüfanforderungen

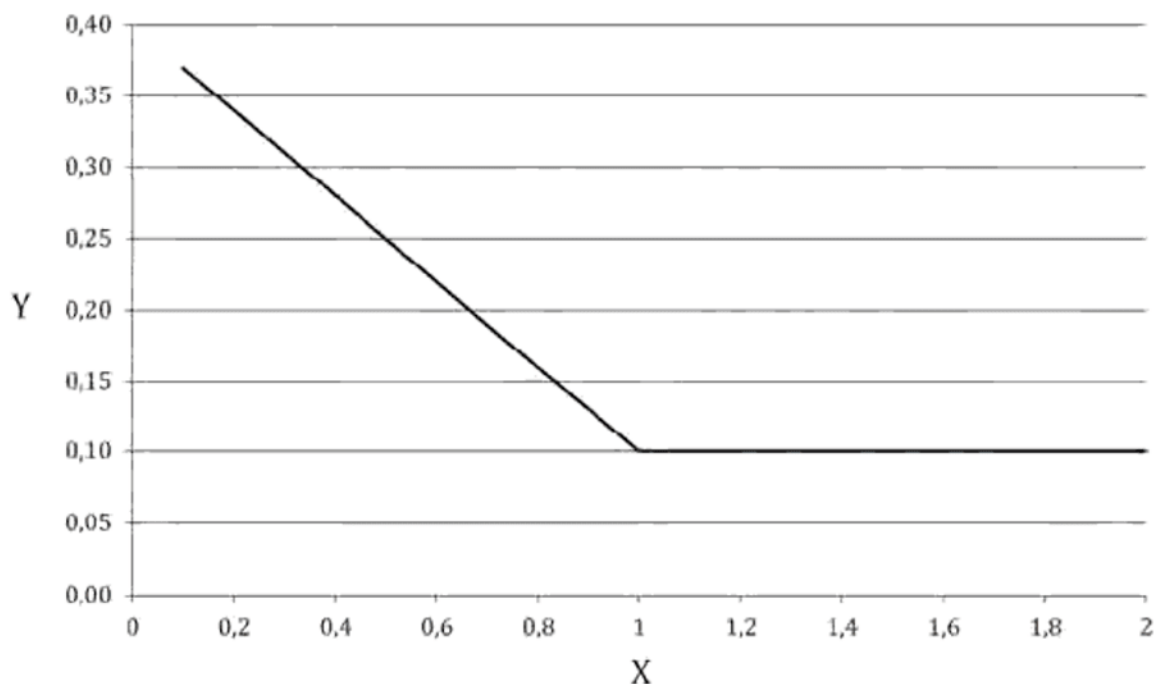
Die Prüfungen der Leistungsfähigkeit der Dosimetriesysteme sind so konzipiert, dass alle Bedingungen, unter denen die Dosimeter eingesetzt werden, berücksichtigt werden. Ziel ist es, zu überprüfen, dass jedes Dosimeter bei allen Prozessen im Laboratorium (Lagerung, Verpackung, mögliche vorbereitende Behandlungen, Auspacken, mögliche Behandlungen vor dem Auslesen und das Auslesen selbst), bei der Auslieferung an den Kunden und bei der Verwendung durch den Kunden in jeder realistischen Situation Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit liefert.

Für die Parameter des Systems und die im Laboratorium durchgeführten Prozesse, die Einfluss auf die Reproduzierbarkeit und Stabilität der dosimetrischen Leistungsdaten haben können, werden keine Prüfungen vorgeschlagen, hauptsächlich deshalb nicht, weil diese Systeme und Prozesse in starkem Maße vom benutzten Dosimetrieverfahren abhängen können. Dennoch wird die Bedeutung dieser Parameter unter Berücksichtigung der Herstellerspezifikationen und der Gebrauchsbedingungen im Laboratorium hervorgehoben. Die kritischen Parameter für die Handhabung von Dosimetern müssen beschrieben werden.

5 Leistungs- und Prüfanforderungen

Die folgenden allgemeinen Anforderungen gelten für die Prüfung aller Dosimetriesysteme:

- a) Die Prüfungen werden an einer bestimmten Anzahl von Dosimetern vorgenommen, die aus den im Routineverfahren verwendeten Dosimetern nach dem Zufallsprinzip ausgewählt werden (d. h. aus der Gesamtheit der den beruflich strahlenexponierten Personen zur Verfügung gestellten Dosimeter);
- b) Bauartprüfungen werden durchgeführt, um die Grundeigenschaften der Dosimetriesysteme zu ermitteln und werden häufig von anerkannten nationalen Laboratorien durchgeführt. Dieses Dokument beschreibt nur die Bauartprüfungen;
- c) Die Leistungsanforderungen sind in den Tabellen 2 und 3 und den Bildern 1 und 2 aufgelistet. Sie sind unterteilt in zwei Kategorien:
 - 1) Anforderungen, die die dosimetrischen Leistungsdaten von Dosimetriesystemen prüfen: Variationskoeffizient (siehe Bild 1) und Linearität (siehe Tabelle 2), Energie- und Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens (siehe Bild 2);
 - 2) Anforderungen, die die Stabilität der dosimetrischen Leistungsdaten von Dosimetriesystemen im Bereich realistischer Gebrauchsbedingungen für Dosimeter prüfen: Einfluss von Fading, Alterung, anderer Strahlung als Neutronenstrahlung, rauen klimatischen Bedingungen, Lichteinfall, mechanische Beschädigung, Abdichtung (siehe Tabelle 3).
- d) Die globalen Verfahren der Lagerung, Vorbereitung und Auswertung der Dosimeter müssen in Übereinstimmung mit den Routineverfahren durchgeführt werden. Insbesondere dann, wenn Untergrunddosimeter zur Bewertung und zur Subtraktion von Untergrundrauschen verwendet werden, müssen diese Dosimeter wie im Routinebetrieb eingesetzt werden.
- e) Das Prüflabor sollte darlegen, wie der Gesamtwert von $H_p(10)$ sowie die spezifische Neutronenkomponente ermittelt werden.



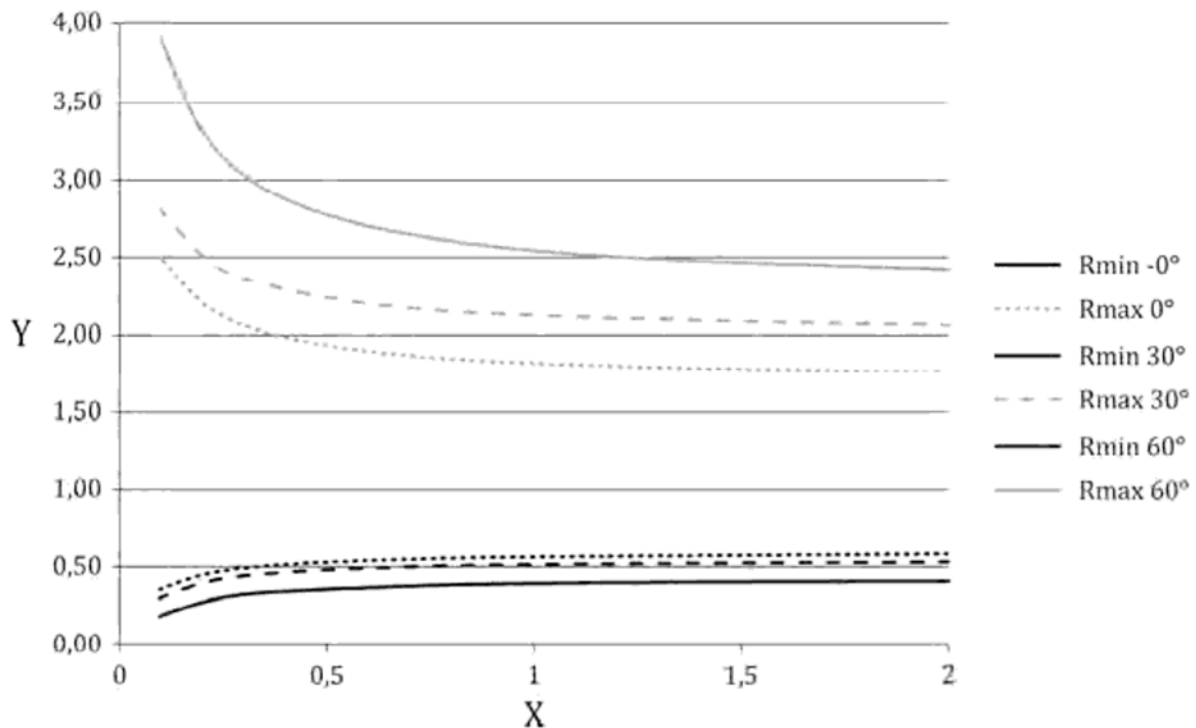
Legende

- X Mess-Äquivalentdosis in mSv
- Y Kriterien für die Prüfung des Variationskoeffizienten

Bild 1 – Anforderungen an den Variationskoeffizienten für alle Arten von Dosimetriesystemen.
Die Anzahl der Dosimeter wird in Abhängigkeit von der Mess-Äquivalentdosis festgelegt
(siehe Tabelle 2)

Tabelle 2 – Anforderungen an die Linearität von Dosimetriesystemen

Nr.	Zu prüfende Eigenschaft	Personendosis H_p^0 mSv	Anzahl der Dosimeter	Leistungsanforderungen an die Linearität		Arten von Dosimetriesystemen und Komponenten
				$r_{\min}$	$r_{\max}$	
7.4.2	Linearität	0,1	12			Alle
		0,2 bis 0,4	12			
		0,5	6	-15 %	+18 %	
		0,8	6			
		≥1	6			



Legende

- X Mess-Äquivalentdosis in mSv
Y Ansprechvermögen R

Bild 2 – Anforderungen an die Energie- und Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für alle Arten von Dosimetriesystemen

Tabelle 3 – Leistungsanforderungen bei der Prüfung des Verhaltens von Dosimetriesystemen als Funktion interner oder externen Bedingungen (1 von 2)

Nr.	Leistungsmerkmale	Leistungsanforderungen	Arten von Dosimetriesystemen und Komponenten
8.1	Fading (Stabilität des latenten Bilds)	Das Ansprechvermögen von Dosimetriesystemen, die zu Beginn der Lagerzeitspanne bestrahlt wurden, darf sich unter Standardprüfbedingungen während einer Lagerzeitdauer, die der maximalen Lagerzeitspanne $D_{\max}^{\text{fading}} [0,1]$ zwischen Bestrahlung und Auslesung im Labor entspricht, um nicht mehr als -15% bis $+18\%$ verändern.	Alle
8.2	Alterung	Das Ansprechvermögen von Dosimetriesystemen, die zum Ende der Lagerzeitspanne bestrahlt wurden, darf sich bei einer Lagerzeitdauer $D_{\max}^{\text{ageing}}$ unter Standardprüfbedingungen nicht um mehr als -15% bis $+18\%$ verändern.	Alle; doch hängt die Definition von $D_{\max}^{\text{ageing}}$ von der bestrahlten Lagerung davon ab, ob es sich um Einweg- oder wiederverwendbare Dosimeter handelt.
8.3	Auswirkung der Lagerung auf unbestrahlte Dosimeter	Maximal dürfen 10 % der unbestrahlten Dosimeter eine gemessene Mess-Äquivalentdosis H_M von mehr als $H_{\min}$ aufweisen. Darüber hinaus darf kein Dosimeter eine gemessene Mess-Äquivalentdosis H^M von mehr als $H_{\min} + 0,2$ mSv aufweisen. Wenn eines oder mehrere Dosimeter eine gemessene Mess-Äquivalentdosis H_M von mehr als $H_{\min} + 0,2$ mSv aufweist, ist eine zweite Prüfung mit 50 Dosimetern erforderlich. Davon darf maximal ein Dosimeter eine gemessene Mess-Äquivalentdosis H^M von mehr als $H_{\min} + 0,2$ mSv aufweisen.	Alle
8.4	Einwirkung einer anderen Strahlung als Neutronenstrahlung: Photonenstrahlung	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis darf sich bei Dosimetriesystemen, die 10 mSv einer ^{137}Cs -Quelle ausgesetzt sind, um nicht mehr als den Wert von $H_{\min}$ verändern, verglichen mit der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von Dosimetriesystemen, die unbestrahlt und unter Standardprüfbedingungen gelagert sind.	Alle
		Die gemessene Mess-Äquivalentdosis darf sich bei Dosimetriesystemen, die einer ^{137}Cs -Photonenquelle und einer $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Neutronenquelle ausgesetzt sind, um nicht mehr als 0,1 mSv verändern, verglichen mit der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von Dosimetriesystemen, die (nur) einer $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Neutronenquelle ausgesetzt sind. Die Konfiguration, ausgedrückt als Quotient, muss dabei $H_{\text{Neutron}}^0 / H_{\text{Photon}}^0 = 0,3; 1$ und 3 betragen.	Photonen-empfindliche Dosimetriesysteme
	Einwirkung einer anderen Strahlung als Neutronenstrahlung: Radon	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis darf sich bei Dosimetriesystemen, die der Einwirkung von 3 MBq·h/m ³ Radon bei einem Gleichgewichtsfaktor der Radon-Folgeprodukte von 0,5 = 50 % um nicht mehr als 0,5 mSv verändern, verglichen mit der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern, die unter Standardprüfbedingungen gelagert wurden.	Alle
8.5	Stabilität unter verschiedenen klimatischen Bedingungen: Auswirkung auf das Ansprechvermögen	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern, die 48 h bei $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ und 90 % relativer Luftfeuchte gelagert wurden und die entweder zu Beginn oder am Ende der Lagerzeitspanne bestrahlt wurden, darf um nicht mehr als -15% bis $+18\%$ von der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern abweichen, die unter Standardprüfbedingungen gelagert wurden.	Alle
	Stabilität unter verschiedenen klimatischen Bedingungen: Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	Maximal 20 % der Dosimeter, die 48 h in einer Klimakammer mit einer Temperatur von $40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ und einer relativen Luftfeuchte von mindestens 90 % gelagert wurden, dürfen eine gemessene Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min}$ aufweisen. Jedoch darf kein Dosimeter eine gemessene Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min} + 0,1$ mSv aufweisen.	
8.6	Auswirkung von Lichteinfall (Lichtundurchlässigkeit): Auswirkung auf das Ansprechvermögen	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern, die eine Woche der Strahlung einer Xenonlampe mit einer dem hellen Sonnenlicht entsprechenden Strahlung (295 nm bis 769 nm) von 1 000 W/m ² ausgesetzt waren, darf von der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von unter Standardprüfbedingungen gelagerten Dosimetern um nicht mehr als -15% bis $+18\%$ abweichen.	Alle

Tabelle 3 (2 von 2)

	Auswirkung von Lichteinfall (Lichtundurchlässigkeit): Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	Maximal 20 % der unbestrahlten Dosimeter, die eine Woche dem Licht von 1 000 W/m ² ausgesetzt waren, dürfen eine gemessene Mess-Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min}$ aufweisen. Jedoch darf kein Dosimeter eine gemessene Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min} + 0,1$ mSv aufweisen.	
8.7	Fallprüfung: Auswirkung auf das Ansprechvermögen	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern, die aus einer Höhe von 1 m fallen gelassen wurden, darf von der gemessenen Mess-Äquivalentdosis von unter Standardprüfbedingungen gelagerten Dosimetern um nicht mehr als -15 % bis +18 % abweichen.	Alle
	Fallprüfung: Auswirkung auf unbestrahlte Dosimeter	Maximal 20 % der unbestrahlten Dosimeter, die aus einer Höhe von 1 m fallen gelassen wurden, dürfen eine gemessene Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min}$ aufweisen. Jedoch darf kein Dosimeter eine gemessene Äquivalentdosis von mehr als $H_{\min} + 0,1$ mSv aufweisen.	
8.8	Abstand zum Phantom	Die gemessene Mess-Äquivalentdosis von Dosimetern, die im Abstand von 0,5 cm vom Phantom angeordnet sind, darf von der gemessenen Mess-Äquivalentdosis anderer Dosimeter um nicht mehr als -15 % bis +18 % abweichen.	Alle
8.9	Abdichtung	Vorsichtsmaßnahmen, um den Eintritt von Fremdkörpern zu verhindern, sind noch anzugeben.	Alle

6 Prüfverfahren

Prüfungen zum Nachweis der Übereinstimmung mit den angegebenen Leistungsanforderungen werden als Leitlinie in den folgenden Abschnitten beschrieben. Spezielle Details für ähnliche Prüfungen der verschiedenen nationalen Zulassungsbehörden können von den hier beschriebenen Verfahren abweichen.

Leistungsprüfungen werden in zwei Kategorien unterteilt: Erstens, zur Quantifizierung der intrinsischen Eigenschaften von Dosimetriesystemen und zweitens, zur Quantifizierung der Veränderung der Dosimetriesysteme aufgrund interner oder externer Einflussgrößen (Zeit, Temperatur, Feuchte, Einwirkung anderer Strahlung als Neutronenstrahlung usw.). Es wird empfohlen, vor den Leistungsprüfungen eine Vorprüfung durchzuführen, um die notwendige Anzahl von Bestrahlungen zu verringern. Diese Vorprüfung betrifft die Qualifizierung, um die Verwendung der vollständigen Kombinationspackung aus Neutronen- und Photondosimeter zu vermeiden.

7 Leistungsprüfungen: Intrinsische Eigenschaften

7.1 Allgemeines

Dieses Dokument stellt Leistungs- und Prüfanforderungen zur Bestimmung der Eignung von Neutronen-Dosimetriesystemen für die Messung der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ durch Strahlung von Neutronen im Energiebereich zwischen thermischer Energie und 20 MeV zur Verfügung.

7.2 Bestrahlungen

Die Prüfungen müssen mit Neutronen verschiedener Energien durchgeführt werden:

- thermische Strahlung wie in ISO 8529-1 beschrieben;
- monoenergetische Strahlung mit 144 keV, 250 keV, 565 keV, 1,2 MeV und 14,8 MeV wie in ISO 8529-1:2001, [Tabelle 2](#) beschrieben;
- Strahlung einer moderierten ²⁵²Cf-Neutronenquelle wie in ISO 8529-1:2001, [Tabelle 1](#) beschrieben;
- Strahlung einer ²⁴¹Am-Be- oder ²⁵²Cf-Neutronenquelle.

Während der Prüfungen muss das Dosimeter auf dem ISO-Wasser-Quaderphantom und unter den in ISO 8529-3 und [ISO 29661](#) beschriebenen Bedingungen bestrahlt werden (außer für Teilkörperdosimeter (siehe [Anhang A](#))).

In diesem Dokument wird keine Prüfung zur Bestimmung der Nachweisgrenze mit Hilfe der Messung von Untergrundsignalen unbestrahlter Dosimeter beschrieben. Jedoch werden alle Prüfungen für die Ermittlung von „Variationskoeffizient“, „Energieabhängigkeit“ und „Winkelabhängigkeit“ bei zwei Dosisniveaus durchgeführt: Nahe dem minimalen Erfassungswert und im Dosisbereich von 0,5 mSv bis 2 mSv. Die angewendeten Kriterien können für diese beiden Dosisniveaus unterschiedlich sein.

Um die Prüfungen zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften des Neutronen-Dosimetriesystems durchzuführen, sind unbedingt mehrere Bestrahlungen erforderlich, die in [Tabelle 4](#) zusammengefasst sind. Um die Anzahl der Bestrahlungen gering zu halten, darf dieselbe Bestrahlung für mehrere Prüfungen benutzt werden. Beispielsweise kann die Bestrahlung mit einer $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Quelle für einen richtigen Größenwert der Personendosis von 1 mSv für drei Prüfungen benutzt werden: Linearität, Energie- und Winkelabhängigkeit.

Tabelle 4 – Bestrahlungsreihen, die für die Prüfung der charakteristischen Merkmale von Dosimetriesystemen erforderlich sind

Energiebereich	Thermisch			Schnell											14,8 MeV																
Einfallswinkel zur Senkrechten	0°	60°	85° ^a	0°								30°		60°	0°																
Reihe	A	B	P	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O															
Dosis mSv	Thermische Spektren			144 keV	250 keV	565 keV	1,2 MeV	²⁵² Cf oder ²⁴¹ Am-Be mit einem 144 keV oder 250 keV Feld (<i>H_p</i> (10)-Dosisanteil 50 %)	²⁵² Cf oder ²⁴¹ Am-Be mit einem thermischen Feld (<i>H_p</i> (10)-Dosisanteil [25 %,50 %])	Modifiziertes ²⁵² Cf	²⁵² Cf oder ²⁴¹ Am-Be (oder eine andere Energie von 2 MeV bis 10 MeV für Linearität)	144 keV	250 keV	²⁵² Cf oder ²⁴¹ Am-Be (oder eine andere Energie von 2 MeV bis 10 MeV für Linearität)	²⁵² Cf oder ²⁴¹ Am-Be (oder eine andere Energie von 2 MeV bis 10 MeV für Linearität)	14,8 MeV															
<i>H_{min}</i>																	TE TL			TE			TE	TE TL		TA					
<i>H_{min}</i> + 0,1 mSv																	TE TL	TA		TE	TE	TE	TE	TE	TE TL	TA	TA	TA	TA ^c	TE	
0,5																	TE TL ^b	TA ^b	TA ^a						TL						
0,8 mSv < <i>H_{HD}</i> < 2 mSv																	TE ^b	TA ^b		TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE TL	TA	TA	TA	TA	TE
2	TL ^b										TL																				
5											TL																				
10											TL																				
20											TL																				

ANMERKUNG Die für jede Prüfung benutzten Bestrahlungen sind als Kurzzeichen angegeben: TL für Variationskoeffizient/Linearität, TA für Winkelabhängigkeit (≠0) und TE für Energieabhängigkeit.

^a Für thermische Neutronen wird eine spezielle Prüfung bei 85° mit Dosisniveaus über 0,5 mSv durchgeführt, um festzustellen, ob die Anzeige des Dosimeters bei diesem Winkel höchstens das Dreifache (+200 %) der Anzeige des Dosimeters bei 0° ist, wobei die Bestrahlung mit der gleichen Fluenz der thermischen Neutronen erfolgt. Dies wird gefordert, weil ein Problem aufgrund einer mangelnden Abschirmung an der Seite des Dosimeters auftreten könnte. Die Bestrahlung wird bei dem maximalen Dosisniveau der Reihe A durchgeführt. Außerdem sollte für die Bestrahlung die Neutronenfluenz benutzt werden, die dem Wert $H_p(10,0^\circ)$ entspricht wie in Reihe A.

^b Alle diese Bestrahlungen sind optional, abhängig von dem in den Begleitpapieren für das thermische Feld angegebenen maximalen Dosiswert. Wenn der angegebene maximale Dosiswert mindestens 0,8 mSv beträgt, brauchen die Energie- und Winkelprüfungen nicht bei 0,5 mSv vorgenommen zu werden.

^c Verbindlich vorgeschriebene Bestrahlung; doch sind die Kriterien lediglich informativ. Es wäre lediglich die Prüfung durchzuführen und das Ergebnis anzugeben.

H_{HD} entspricht einem richtigen Größenwert der Personendosis, der im Bereich $0,8 \text{ mSv} < H_{HD} < 2 \text{ mSv}$ zu wählen ist. Es wurde vorgezogen, einen Dosisbereich anstelle eines genauen richtigen Größenwerts der Personendosis von 1 mSv festzulegen. Das für die Bestrahlungen oder die Charakterisierung des Dosimetriesystems entsprechend diesem Dokument verantwortliche Laboratorium muss einen Wert innerhalb dieses Bereichs wählen, der dem Dosimetrielabor jedoch nicht bekannt ist.

H_{min} entspricht dem minimalen Dosiswert, der angegeben wird. H_{min} ist daher die Untergrenze des vom Dosimetrielabor festgelegten Dosisbereichs. H_{min} ist dann logischerweise höchstens gleich oder niedriger als der in dem Land gesetzlich vorgeschriebene Schwellenwert (z. B. $0,10 \text{ mSv}$, $0,20 \text{ mSv}$ oder $0,30 \text{ mSv}$). Um diesem Dokument zu entsprechen, darf H_{min} maximal $0,3 \text{ mSv}$ betragen:

$$H_{min} \leq 0,3 \text{ mSv}$$

Die Kriterien für die verschiedenen Prüfungen von Variationskoeffizient, Linearität, Energie- und Winkelabhängigkeit sind Funktionen des für H_{min} gewählten Werts. Deshalb sollte H_{min} in den Begleitunterlagen angegeben werden.

Obwohl H_{min} dem minimalen angegebenen Dosiswert entspricht, sollte der Wert einer Personendosis, der unterhalb dieses Werts liegt, nicht unterdrückt werden, im Unterschied dazu, wie es im Routineverfahren der Fall ist.

Das Dosimetrielabor muss in der Dokumentation den Energiebereich deutlich angeben, innerhalb dem das Dosimetriesystem charakterisiert ist:

- a) thermisch + schnell;
- b) nur schnell;
- c) schnell + $14,8 \text{ MeV}$;
- d) thermisch + schnell + $14,8 \text{ MeV}$.

Bei Dosimetriesystemen, deren angegebener Bereich thermische Energien nicht einschließt, sollte unabhängig davon, ob der Beitrag thermischer Neutronen zur Äquivalentdosis als vernachlässigbar angesehen wird, das Ergebnis zeigen, dass das Ansprechvermögen des Dosimetriesystems auf thermische Neutronen die Bestimmung des Ergebnisses der Äquivalentdosis von Neutronen höherer Energie nicht nachteilig beeinflusst. Die vorgeschriebene „H“-Bestrahlungsreihe wurde zu diesem Zweck für alle Dosimeter konzipiert (siehe [Tabelle 4](#)).

Tabelle 5 – Vorgeschriebene Bestrahlungsreihen als Funktion des für das Dosimetriesystem angegebenen Energiebereichs

Für das Dosimetriesystem angegebener Energiebereich	Verbindlich vorgeschriebene Bestrahlungsreihe
Thermisch + schnell	(A, B, P) + (C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N)
Nur schnell	(C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N)
Schnell + $14,8 \text{ MeV}$	(C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N) + (O)
Thermisch + schnell + $14,8 \text{ MeV}$	(A, B, P) + (C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N) + (O)

In Tabelle 5 sind die vorgeschriebenen Bestrahlungsreihen als Funktion des für die Dosimetriesysteme angegebenen Energiebereichs aufgeführt.

Die maximale Dosis von 2 mSv für Prüfungen mit thermischen Neutronen wird vorgeschlagen, um die Realität der möglichen Expositionen mit thermischen Neutronen und die Dosisleistungen der vorhandenen thermischen Referenzfelder zu berücksichtigen. Sie darf entsprechend den Möglichkeiten des Dosimetrielabors angepasst werden. Dieser Maximalwert sollte in den Begleitunterlagen angegeben werden. Er darf jedoch nicht niedriger als $H_{min} + 0,1 \text{ mSv}$ sein.

Für jede Prüfung sind mindestens 4 Dosimeter erforderlich, mit Ausnahme der Prüfung von Variationskoeffizient und der Linearität (siehe 7.4.2) und der Prüfung zum Wegfall der Verwendung der vollständigen Kombinationspackung aus Neutronen- und Photonendosimeter (siehe 7.3). Außer bei der Prüfung von Variationskoeffizient und Linearität darf die Anzahl der Dosimeter je Charge erhöht werden, um eine Anpassung an die jeweils angewendete Dosis vorzunehmen. Die maximale Anzahl der Dosimeter sollte nicht höher als 25 sein, außer bei Prüfung 8.3, bei der die Anzahl auf 50 erhöht werden kann.

Im Falle der Bestrahlung mit schräg einfallenden Neutronen muss der Einfallswinkel für die n Bestrahlungen in zwei Ebenen, die aufeinander und zur Ebene des Dosimeters senkrecht stehen, positiv und negativ verändert werden. Dies bedeutet im Falle von $n = 8$, dass jeweils zwei Dosimeter mit dem gleichen Einfallswinkel bestrahlt werden. Solche Winkeländerungen sind nicht erforderlich bei Dosimetern, die in ihren wesentlichen empfindlichen Bestandteilen symmetrisch aufgebaut sind und dies vom Hersteller angegeben ist. Die als $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Neutronenquelle gewählte Strahlungsquelle muss dieselbe sein, die zur Kalibrierung des Dosimetriesystems verwendet wurde.

Für jede der vorgeschriebenen Bestrahlungsreihen des angegebenen Energiebereichs des Dosimetriesystems sind j Chargen (j entspricht der Anzahl der in Tabelle 4 angegebenen Dosiswerte) mit jeweils $i = 1$ bis mindestens 4 Dosimetern vorzubereiten, die dann mit Neutronen bestrahlt werden, deren Energie und Winkel dem in Tabelle 4 angegebenen richtigen Größenwert der Personendosis $H_{k,j}^0$ entsprechen, der in der ersten Spalte von Tabelle 4 angegeben ist.

Bei der Reihe „G“ werden Mischfeld-Bestrahlungen mit der Hälfte der Dosis von einer Radionuklidquelle (^{252}Cf oder $^{241}\text{Am-Be}$) plus der Hälfte der Dosis bei niedriger Energie (144 keV oder 250 keV) durchgeführt.

Bei der Reihe „H“ werden Mischfeld-Bestrahlungen mit einer Radionuklidquelle (^{252}Cf oder $^{241}\text{Am-Be}$) und mit thermischen Neutronen durchgeführt. In diesem Fall muss der Anteil der Mess-Äquivalentdosis aus der Bestrahlung mit dem thermischen Feld zwischen 25 % und 50 % der gesamten Mess-Äquivalentdosis betragen.

ANMERKUNG Um die Anzahl der Bestrahlungen zu begrenzen und Mischfeldsituationen zu berücksichtigen, könnten die Dosimeter am Rande der erlaubten üblichen Bestrahlungsfläche des Phantoms bestrahlt werden, wobei die Hälfte der Dosimeter mit beiden Feldern des Mischfelds bestrahlt wird und die andere Hälfte nur mit einem der Felder, um anschließend die Werte dieser letzten Dosimeter hinzu zu addieren (siehe Bild 3). Mit derselben Methode wird eine Prüfung in einem Mischfeld (schnell + thermisch) vorgeschlagen, um Nichtlinearitäten des Algorithmus und Überansprechen der Dosimeter bei thermischen Neutronen zu erkennen. Im Falle der gleichzeitigen Bestrahlung mehrerer Dosimeter an einem Phantom müssen die in ISO 29661 beschriebenen Effekte (von benachbarten Dosimetern gestreute Neutronen, Änderungen der Eigenschaften des zurückgestreuten Felds) besonders beachtet werden, was zu einer Reduzierung der Anzahl der gemeinsam bestrahlten Dosimeter führen kann.



Legende

- 1 Grenze der zulässigen üblichen Bestrahlungsfläche
- 2 zulässige übliche Bestrahlungsfläche
- 3 Phantom
- 4 Dosimeter, die für die Bestrahlung „J“ verwendet werden
- 5 Dosimeter, die für die Prüfung der Mischung zweier verschiedener Felder verwendet werden
- 6 Dosimeter, die für die Bestrahlung „C“ verwendet werden

^a Alle Dosimeter werden mit einer ²⁴¹Am-Be- oder ²⁵²Cf-Neutronenquelle bestrahlt.

^b Alle Dosimeter werden mit einem monoenergetischen 144-keV-Feld bestrahlt.

ANMERKUNG Anordnung und Anzahl der Dosimeter dienen nur als Beispiel.

Bild 3 – Optimierungsprinzip für Bestrahlungen, das zur Berücksichtigung der Mischfelder verwendet werden kann

7.3 Qualifizierung, um die Verwendung der vollständigen Kombinationspackung aus Neutronen- und Photonendosimeter zu vermeiden

7.3.1 Zweck der Prüfung

Diese Prüfung ist nicht notwendig, wenn die vollständige Kombinationspackung aus Neutronen- und Photonendosimeter benutzt wird.

Für die Leistungsfähigkeitsprüfungen sind viele Bestrahlungs-Konfigurationen erforderlich. Außerdem kann die Anzahl der je Konfiguration verwendeten Dosimeter signifikant hoch sein, insbesondere bei Konfigurationen mit minimalem Erfassungswert. Neutronendosimeter können mit Photonendosimetern kombiniert werden, die unabhängig voneinander arbeiten, jedoch zusammengepackt sind. Neutronendosimeter (insbesondere, wenn sie mit Photonendosimetern kombiniert sind) können am Phantom viel Platz beanspruchen, was die Anzahl der Dosimeter begrenzt, die gleichzeitig bestrahlt werden können. Die Anzahl der Dosimeter, die je Bestrahlung am Phantom angeordnet werden können, wird durch die Größe der Dosimeter begrenzt. Aus diesem Grund können mehrere Bestrahlungen je Konfiguration erforderlich sein.

Diese Prüfung dient dazu, den Einfluss der Photonendosimeter und der Dosimeter-Kombinationspackung auf das Ansprechvermögen der Neutronendosimeter zu ermitteln. Wenn das Kriterium dieser Prüfung erfüllt ist, kann der von dem Photonendosimeter und der Kombinationspackung ausgehende Einfluss auf das Neutronen-Ansprechvermögen als vernachlässigbar angesehen werden. Die nachfolgenden Leistungsprüfungen können dann unter Verwendung lediglich der Neutronenkomponente der Dosimeter-Kombinationspackung durchgeführt werden. Die Gesamtanzahl der Bestrahlungen lässt sich reduzieren, wenn die Abmessungen des Neutronendosimeters geringer sind als die der Dosimeter-Kombinationspackung.

Wenn diese Prüfung fehlschlägt, müssen alle Leistungsfähigkeitsprüfungen mit den gesamten Dosimeter-Kombinationspackung (Photonen- und Neutronenkomponenten gemeinsam verpackt) durchgeführt werden. Und selbst wenn diese Forderung erfüllt ist, kann es sein, dass die zuständige Regulierungsbehörde, das Genehmigungsgremium oder die Akkreditierungsstelle dieses Verfahren nicht akzeptiert. Um den gesetzlichen Bestimmungen nachzukommen, kann die vollständige Neutronen- und Photonendosimeter-Kombinationspackung zwingend vorgeschrieben sein.

ANMERKUNG Für die Prüfungen zur Feststellung der „Stabilität im Bereich der realistischen Gebrauchsbedingungen der Dosimeter“ kann die Kombinationspackung vom Dosimetrielabor als zwingend notwendig angesehen werden.

7.3.2 Prüfverfahren

Es sind vier Chargen mit den Nummern $j = 1$ bis 4 mit je $i = 1$ bis mindestens 6 Dosimetern vorzubereiten. Die beiden ersten Chargen bestehen aus dem gesamten Dosimetriesystem, wie es vom Anwender eingesetzt wird, und die letzten beiden Chargen bestehen lediglich aus den Neutronendosimetern. Zu bestrahlen sind die vier Chargen mit einem richtigen Größenwert der Personendosis $H_j^0 = 1$ mSv, wovon die Chargen 1 und 3 mit einer $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Neutronenquelle und die Chargen 2 und 4 mit einer monoenergetischen Neutronenstrahlung von 144 keV bestrahlt werden.

7.3.3 Interpretation der Ergebnisse

Jedes Dosimeter ist auszulesen, und der Messwert der Mess-Äquivalentdosis H_{ij} ist zu ermitteln. Der arithmetische Mittelwert H_j und die experimentelle Standardabweichung s_j sind für die vier Chargen zu bestimmen. Nachzuweisen ist, dass die durch die Gleichungen (1) und (2) gegebenen Kriterien erfüllt sind:

Für Bestrahlungen mit einer $^{241}\text{Am-Be}$ - oder ^{252}Cf -Neutronenquelle

$$0,9 \leq \left[\left(\frac{H_1}{H_2} \right) \pm U_{1,3} \right] \cdot \frac{H_3^0}{H_2^0} \leq 1,11 \quad \text{N4} \quad (1)$$

und für Bestrahlungen mit einer monoenergetischen Neutronenstrahlung von 144 keV

$$0,9 \leq \left[\left(\frac{H_2}{H_4} \right) \pm U_{2,4} \right] \cdot \frac{H_4^0}{H_2^0} \leq 1,11 \quad (2)$$

wobei $U_{m,n}$ die Unsicherheit für den Quotienten der experimentellen arithmetischen Mittelwerte H_m und H_n ist, errechnet nach Gleichung (E.5).

Wird das Kriterium dieser Prüfung erfüllt, wird der Einfluss des Photonendosimeters und der Dosimeter-Kombinationspackung auf das Neutronenansprechvermögen als vernachlässigbar angesehen. Die Leistungsprüfungen dürfen dann alleine mit den Neutronendosimetern durchgeführt werden. Ist die Prüfung fehlgeschlagen, müssen alle Leistungsprüfungen mit der Kombinationspackung aus Photonen- und Neutronendosimetern durchgeführt werden.

Diese Prüfung kann durch eine Untersuchung auf der Grundlage einer Monte-Carlo-Berechnung ersetzt werden, wenn eine solche Methode durch Messungen validiert ist.

^{N4} Nationale Fußnote: Diese Gleichung scheint nicht richtig zu sein. Gemeint ist vermutlich

$$0,9 \leq \left[\left(\frac{H_1}{H_3} \right) \pm U_{1,3} \right] \cdot \frac{H_3^0}{H_1^0} \leq 1,11.$$

7.4 Leistungsprüfungen

7.4.1 Allgemeines

Die in 7.4 beschriebenen Prüfungen (Variationskoeffizient/Linearität, Energie- und Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens) sind für alle Dosimetriesysteme zwingend vorgeschrieben.

7.4.2 Variationskoeffizient/Linearität

7.4.2.1 Allgemeines

Diese Prüfung wird verwendet, um festzustellen, ob sowohl die statistischen Fluktuationen der Anzeige als auch des Dosis-Ansprechvermögens von niedrigen bis zu hohen Strahlungsexpositionen akzeptabel sind. Die Prüfung muss mit 12 Dosimetern bei Dosiswerten unter 0,5 mSv und mit 6 Dosimetern bei Dosiswerten $\geq 0,5$ mSv vorgenommen werden.

7.4.2.2 Prüfverfahren

Die $i = 12$ Dosimeter mit Dosiswerten unter 0,5 mSv und die 6 Dosimeter mit Dosiswerten $\geq 0,5$ mSv der Chargen, die den mit „A“ und „J“ in [Tabelle 4](#) bezeichneten Bestrahlungen der k -Reihen entsprechen, sind auslesen.

Für jede richtige Dosis $H_{k,j}^0$ ist die gemessene Mess-Äquivalentdosis $H_{k,j,i}$ zu ermitteln. Für jede Charge j jeder k -Reihe sind der arithmetische Mittelwert $H_{k,j}$ und die zugehörige experimentelle Standardabweichung $s_{k,j}$ zu berechnen. Das Ansprechvermögen errechnet sich aus $R_{k,j} = H_{k,j} / H_{k,j}^0$. Danach ist das mittlere Ansprechverhalten R_k aller berechneten Werte des Ansprechvermögens jeder Reihe zu ermitteln.

7.4.2.3 Interpretation der Ergebnisse

Es ist nachzuweisen, dass der Variationskoeffizient $C_{k,j} = \frac{s_{k,j}}{H_{k,j}}$ der 12 Dosimeter für Dosiswerte unter 0,5 mSv oder der 6 Dosimeter für Dosiswerte über 0,5 mSv für jede Reihe den in [Tabelle 2](#) angegebenen Wert nicht übersteigt, dies geschieht nach Gleichung (3):

$$\frac{s_{k,j}}{H_{k,j}} \leq r \quad \text{N5} \quad (3)$$

Dabei ist $r = 0,4 - 0,3 \cdot H_{k,j}^0$ für Dosiswerte unter 1 mSv und $r = 0,1$ für Dosiswerte gleich oder größer als 1 mSv.

Für die Prüfung der Linearität wird ein Bezugsansprechvermögen festgelegt, das als das Ansprechvermögen innerhalb des Bereichs [0,8 mSv, 2 mSv] erhalten wird:

$$R_k^{\text{reference}} = \frac{H_{k,[0,9:2]\text{mSv}}}{H_{k,[0,9:2]\text{mSv}}^0} \quad \text{N6} \quad (4)$$

^{N5} Nationale Fußnote: Dies scheint falsch zu sein, da r nicht vorkommt. Gemeint ist vermutlich: $\frac{s_{k,j}}{H_{k,j}} \leq r$.

^{N6} Nationale Fußnote: Der Bereich in der Gleichung stimmt nicht mit dem Bereich im vorhergehenden Satz überein, 0,8 mSv gegenüber 0,9 mSv.