

DIN 6809-1**DIN**

ICS 17.240

Einsprüche bis 2008-09-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 6809-1:1976-09**Entwurf****Klinische Dosimetrie –
Teil 1: Strahlungsqualität von Photonen- und Elektronenstrahlung –
Nutzstrahlung**Clinical dosimetry –
Part 1: Radiation quality of photon and electron radiation –
Useful radiationDosimétrie clinique –
Partie 1: Qualité du rayonnement de photons et d'électrons –
Rayonnement utile**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-05-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nar@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann
im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN, 91020 Erlangen, Postfach 32 60
(Hausanschrift: Henkestr. 127, 91052 Erlangen).

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

Gesamtumfang 49 Seiten

Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Grundlagen zur Ermittlung und Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT	12
5 RÖNTGENSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN bis 400 keV	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Messung der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG	13
5.2.1 Allgemeines	13
5.2.2 Invasive Messung der Röhrenspannung	13
5.2.3 Nicht-invasive Messung der Röhrenspannung	14
5.3 Gesamtfilterung	14
5.4 Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE	14
5.4.1 Allgemeines	14
5.4.2 Absorber-Materialien	14
5.4.3 Messanordnung	15
5.5 Homogenitätskoeffizient	16
6 Co-60-Gammastrahlung	17
7 Hochenergetische PHOTONENSTRAHLUNG	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 EFFEKTIVE BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG	17
7.3 DOSISGEWICHTETE MITTLERE ENERGIE	18
7.4 STRAHLUNGSQUALITÄTSINDEX Q	18
8 ELEKTRONENSTRAHLUNG	20
8.1 Allgemeines	20
8.2 Messung und Berechnung von Elektronenspektren und -energien	22
8.3 Kenngrößen des Elektronenspektrums und der Strahlungsqualität	23
8.4 Messung der HALBWERTTIEFE R_{50} und der PRAKTISCHEN REICHWEITE R_p	23
8.5 ENERGIE-REICHWEITE-BEZIEHUNGEN	24
8.5.1 Allgemeines	24
8.5.2 Mittlere Energie an der Oberfläche als Funktion von R_{50}	24
8.5.3 Wahrscheinlichste Energie an der Oberfläche als Funktion von R_p	24
8.5.4 Mittlere Energie in der Tiefe z	24
Anhang A (informativ) Messung und Berechnung von Röntgenspektren	25
Anhang B (informativ) PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG nach E DIN EN 61267:2004-02	27
B.1 Einleitung	27
B.2 Verfahren zur Bestimmung der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG	27
Anhang C (informativ) Kennzeichnung von STRAHLUNGSQUALITÄTEN	29
Anhang D (informativ) Beeinflussung des Energiespektrums von Co-60-Nutzstrahlung durch Streuprozesse	30
Anhang E (informativ) Messung und Berechnung hochenergetischer Photonenspektren	33
Anhang F (informativ) Rekonstruktion des Bremsstrahlungsspektrums durch inverse Laplace-Transformation der gemessenen Transmissionsfunktion	34
F.1 Herleitung	34
F.2 Anpassungsfunktion zur Darstellung der Transmissionskurve	37
F.3 Ergebnisbeispiele	37
Anhang G (informativ) Beispiele für SPEKTREN hochenergetischer PHOTONENSTRAHLUNG	39

Anhang H (informativ) Methoden zur Messung und Berechnung von Elektronenspektren und -energien	41
H.1 Methoden zur Messung von Elektronenspektren	41
H.2 Methoden zur Messung von ELEKTRONENENERGIEN	41
H.3 Berechnung von Elektronenspektren mit Hilfe des MONTE-CARLO-VERFAHRENS (MC)	41
Anhang I (normativ) Messung von R_{50} in Festkörperphantomen	43
Literaturhinweise	44
Stichwortverzeichnis	48

Bilder

Bild 1 — HALBWERTSCHICHTDICKEN	15
Bild 2 — Empfohlener Aufbau zur Messung von HALBWERTSCHICHTDICKEN	16
Bild 3 — Ermittlung von Q	19
Bild 4 — Abhängigkeit der Größe $TPR_{20,10}$ von der Seitenlänge quadratischer Felder	19
Bild 5 — Mit dem MONTE-CARLO-VERFAHREN berechnete Elektronenspektren in den verschiedenen Stadien der Degradation	22
Bild A.1 — Relative spektrale Photonenfluenz $\phi_E(E)$	26
Bild B.1 — Wichtungsfunktion $w(U)$ in Abhängigkeit von der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG U	28
Bild D.1 — Spektrale Photonenfluenz in Luft im ZENTRALSTRAHL	31
Bild F.1 — Beispiel für einen Messaufbau zur Bestimmung der Transmissionskurve	34
Bild F.2 — SPEKTRALE ENERGIEFLUENZ der PHOTONENSTRAHLUNG eines Linearbeschleunigers	38

Tabellen

Tabelle 1 — Umrechnungsfaktor zur Berechnung der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG aus dem Scheitelwert der Röhrenspannung. Die Prozentangaben bei „Sinus“ kennzeichnen die Differenz zwischen Minimum und Maximum im Verhältnis zum zeitlichen Mittelwert	13
Tabelle 2 — Materialien zur Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE	15
Tabelle 3 — Messbedingungen für die Ermittlung von R_{50} und R_p	23
Tabelle C.1 — Therapie-Strahlungsqualitäten der PTB [48]	29
Tabelle D.1 — Durch Monte-Carlo-Rechnung ermittelte Werte des Streustrahlungsanteil $P_{Sc}^{1,17MeV}$ nach Gleichung D.1 [10]	32
Tabelle G.1 — SPEKTREN bei NOMINELLEN BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNGEN von 5 MV, 8 MV und 16 MV	39
Tabelle G.2 — SPEKTREN bei NOMINELLEN BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNGEN von 6 MV und 15 MV	40
Tabelle I.1 — Nominelle Dichte ρ_m sowie effektiver Materialparameter $(Z/A_r)_{eff}$ und Halbwertttiefen-Skalierungsfaktoren b_m und c_m für einige Phantommaterialien (kompiliert nach DIN 6800-2 [14] und [3], [20], [24])	43

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft e.V. sowie in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie e.V. erarbeitet.

Die Normung bestimmter Verfahren im Rahmen der klinischen Dosimetrie dient der optimalen Durchführung bildgebender radiologischer Verfahren und der zuverlässigen Anwendung strahlentherapeutischer Mittel. Die vorliegende Norm erfasst die Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT der NUTZSTRAHLUNG für die Röntgendiagnostik sowie für therapeutische Bestrahlungen mit RÖNTGEN-, Gamma- und ELEKTRONENSTRAHLUNG. Alle Begriffsbestimmungen entsprechen DIN 6814 „Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik“. Definierte Begriffe werden in Übereinstimmung mit dem Verfahren bei IEC in Kapitälchen geschrieben. Ein Stichwortverzeichnis am Ende der Norm enthält alle definierten Begriffe einschließlich Quellenangabe und englischer Übersetzung. Als Anmerkung gekennzeichnete Informationen dienen als Anleitung zum Verständnis oder zur Erläuterung der zugehörigen Anforderung.

Diese Norm besteht aus einem Hauptteil, der die Festlegungen für Messung und Angabe der STRAHLUNGSQUALITÄT in der Praxis der Röntgendiagnostik und der STRAHLENTHERAPIE enthält, und aus Anhängen, die über physikalische Zusammenhänge und weitere Verfahren zur Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT informieren.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Reihe DIN 6809 „Klinische Dosimetrie“ besteht aus:

- Teil 1: Strahlungsqualität von Photonen- und Elektronenstrahlung – Nutzstrahlung
- Teil 2: Brachytherapie mit umschlossenen gammastrahlenden radioaktiven Stoffen
- Teil 3: Röntgendiagnostik
- Teil 4: Anwendung von Röntgenstrahlen mit Röhrenspannungen von 10 bis 100 kV in der Strahlentherapie und in der Weichteildiagnostik
- Teil 5: Anwendung von Röntgenstrahlen mit Röhrenspannungen von 100 bis 400 kV in der Strahlentherapie
- Teil 6: Anwendung hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung in der perkutanen Strahlentherapie
- Teil 7: Verfahren zur Ermittlung der Patientendosis in der Röntgendiagnostik

Änderungen

Gegenüber DIN 6809-1:1976-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Erweiterung der Festlegungen zur STRAHLUNGSQUALITÄT auf alle in der Röntgendiagnostik und in der perkutanen STRAHLENTHERAPIE verwendeten Strahlungen;
- b) Wegfall der Festlegungen zur klinischen Dosimetrie (jetzt in DIN 6809-6).

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm werden Verfahren und Kenngrößen zur Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT der NUTZSTRAHLUNG im Bereich der Röntgendiagnostik und der STRAHLENTHERAPIE für Photonen- und ELEKTRONENSTRAHLUNG festgelegt und an Beispielen erläutert. Die festgelegten Kenngrößen haben bei bildgebenden Verfahren Bedeutung als Parameter bei der Beschreibung der Bildgüte und des Detektoransprechvermögens. In der Dosimetrie dienen sie zur Beschreibung der STRAHLUNGSQUALITÄT unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung als Einflussgrößen für das ANSPRECHVERMÖGEN von DOSIMETERN und für die räumliche Dosisverteilung. Die STRAHLUNGSQUALITÄT hat auch Einfluss auf die biologische Wirksamkeit einer ionisierenden Strahlung. Die Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT der im Körper des Patienten entstehenden STREUSTRAHLUNG ist nicht Zweck dieser Norm und wird in einer weiteren Norm festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

DIN 6800-1, *Dosismessverfahren in der radiologischen Technik – Allgemeines zur Dosimetrie von Photonen- und Elektronenstrahlung nach der Sondenmethode*

E DIN 6800-2, *Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung – Teil 2: Dosimetrie hochenergetischer Photonen- und Elektronenstrahlung mit Ionisationskammern*

DIN 6800-4, *Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung – Teil 4: Filmdosimetrie*

DIN 6800-5, *Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung – Teil 5: Thermolumineszenzdosimetrie*

DIN 6809-3, *Klinische Dosimetrie – Röntgendiagnostik*

DIN 6814-2:2000-07, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 2: Strahlungsphysik*

DIN 6814-3, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 3: Dosisgrößen und Dosiseinheiten*

DIN 6814-6:1989-09, *Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik – Technische Mittel zur Erzeugung von Röntgenstrahlen mit Spannungen bis 400 kV*

DIN 6814-8:2000-12, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 8: Strahlentherapie*

E DIN EN 61267:2004-02, *Medizinische diagnostische Röntgeneinrichtung – Bestrahlungsbedingungen zur Bestimmung von Kennmerkmalen* (IEC 62C/358/CDV:2003); Deutsche Fassung prEN 61267:2003

DIN EN 61676:2005-03, *Medizinische elektrische Geräte – Geräte für die nicht-invasive Messung der Röntgenröhrenspannung in der diagnostischen Radiologie* (IEC 61676:2002); Deutsche Fassung EN 61676:2002

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 6814-2:2000-07, DIN 6814-3:2001-01 und DIN 6814-8:2000-12 sowie die folgenden Begriffe. Zur besseren Lesbarkeit der Norm werden die wichtigsten hier zitiert und weitere zusätzlich neu definiert.

3.1

Bremsstrahlung

RÖNTGENSTRAHLUNG, die durch Ablenkung und Abbremsung geladener Teilchen im Coulombschen Feld von Atomkernen oder Hüllenelektronen entsteht

ANMERKUNG 1 Das SPEKTRUM der BREMSSTRAHLUNG ist kontinuierlich und reicht bis zu einem von der Teilchenenergie abhängigen Maximalwert, der GRENZENERGIE.

ANMERKUNG 2 Technisch wird RÖNTGENSTRAHLUNG vorzugsweise durch Abbremsung von Elektronen in der Anode von RÖNTGENRÖHREN oder im Target von ELEKTRONENBESCHLEUNIGERN erzeugt.

[DIN 6814-2:2000-07]

3.2

Bremsstrahlungs-Ausläufer

Teil der TIEFENDOSISKURVE eines Elektronenfeldes, in dem die Dosis nur von der PHOTONENKONTAMINATION und von im Phantom entstandener BREMSSTRAHLUNG erzeugt wird

3.3

dosisgewichtete mittlere Energie

$\bar{E}_d$
<hochenergetische PHOTONENSTRAHLUNG> arithmetischer Mittelwert der Photonenenergie E , berechnet unter Verwendung der spektralen Verteilung der Wasser-Energiedosis $D_E(E)$ bei standardisierten Bestrahlungsbedingungen als Wichtungsfunktion

$$\bar{E}_d = \frac{\int_0^{E_{\max}} E D_E(E) dE}{D}$$

ANMERKUNG Die DOSISGEWICHTETE MITTLERE ENERGIE, angegeben in MeV, wird zur Kennzeichnung des Photonenpektrums eines ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS verwendet (siehe 7.3) [39].

3.4

effektive Beschleunigungsspannung

U_{eff}
an einer fiktiven Gleichspannungs-Beschleunigungsstrecke anliegende Spannung, mit welcher die gleiche ELEKTRONENENERGIE erreicht wird wie mit dem tatsächlich vorhandenen ELEKTRONENBESCHLEUNIGER

ANMERKUNG Die EFFEKTIVE BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG eines ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS, angegeben in MV, wird zur Kennzeichnung des Photonenpektrums eines ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS verwendet (siehe 7.2).

3.5

Elektronenenergie

kinetische Energie eines Elektrons, d. h. seine Gesamtenergie, vermindert um die Ruheenergie

3.6

Elektronenkontamination

durch Wechselwirkungen der Photonen im Strahlerzeugungssystem und im Luftraum vor dem Patienten bedingte, dem Photonenstrahl eines Beschleunigers beigemischte ELEKTRONENSTRAHLUNG

3.7**Energie-Reichweite-Beziehung**

analytische Beziehung zwischen einer für den Elektronenstrahl charakteristischen Energie und einer durch eine Messvorschrift ermittelten, für das Eindringvermögen der ELEKTRONENSTRAHLUNG typischen Tiefe in einem Material

3.8**Filterung**

Änderung der SPEKTRALEN TEILCHENFLUSSDICHTEN, der Richtungsverteilung der Teilchen oder der Verteilung der TEILCHENFLUSSDICHTEN über den Querschnitt eines STRAHLENFELDES durch Teilchenabsorption und -streuung in einer Materieschicht

ANMERKUNG Je nachdem, ob der überwiegende Einfluss der FILTERUNG in der HÄRTUNG, STREUUNG oder SCHWÄCHUNG der Strahlung besteht, spricht man von Härtingsfiltern, Streufiltern und Schwächungsfiltern.

[DIN 6814-2:2000-07]

3.9**Flachkammer**

IONISATIONSKAMMER mit einem Messvolumen von typischerweise 0,01 cm³ bis 0,5 cm³, deren Elektroden planparallel zueinander angeordnet sind, wobei die Schichtdicke des Messvolumens in der Einfallsrichtung der Strahlung wesentlich kleiner ist als in der dazu senkrechten Richtung und kleiner ist als die Breite der Schutzelektrode

[E DIN 6800-2:2006-12]

3.10**Grenzenergie**

Maximalenergie einer BREMSSTRAHLUNG

[DIN 6814-2:2000-07]

ANMERKUNG Der Zahlenwert der maximalen Photonenenergie in MeV ist gleich dem Zahlenwert der EFFEKTIVEN BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG in MV.

3.11**Halbwertschichtdicke**

s

Schichtdicke eines in ein eng ausgeblendetes Strahlenbündel einheitlicher Richtung gebrachten Materials, durch welche die LUFTKERMALEISTUNG hinter der Schicht unter Messbedingungen, die den Ausschluss der STREUSTRAHLUNG gewährleisten, auf die Hälfte herabgesetzt wird

3.12**Homogenitätskoeffizient**

H

Verhältnis der ersten HALBWERTSCHICHTDICKE (HWS) *s*₁ zur zweiten HWS *s*₂

$$H = \frac{s_1}{s_2}$$

ANMERKUNG Die zweite HWS ist die zusätzliche Dicke, die nötig ist, um die LUFTKERMALEISTUNG auf ein Viertel zu schwächen. Hierbei gelten Messbedingungen, die den Ausschluss der STREUSTRAHLUNG sicherstellen.

3.13**Halbwerttiefe**

*R*₅₀

<ELEKTRONENSTRAHLUNG> Tiefe in Wasser, in der unter gegebenen Messbedingungen die WASSER-ENERGIE-DOSIS 50 % des Maximalwertes der TIEFENDOSISVERTEILUNG beträgt

[DIN 6814-2:2000-07]

ANMERKUNG 1 In der Dosimetrie hochenergetischer ELEKTRONENSTRAHLUNG wird R_{50} als Kenngröße zur Charakterisierung der STRAHLUNGSQUALITÄT verwendet; zur Messung von R_{50} vergleiche 8.4.

ANMERKUNG 2 In IAEA TRS-398 [27] wird R_{50} als Radiation Quality Index for Electron Beams bezeichnet.

3.14

Kalibrierfaktor

 N

Verhältnis des richtigen Wertes der Messgröße zu der Differenz aus Anzeige M und Nullanzeige M_0 des DOSIMETERS unter Bezugsbedingungen

3.15

Luftkerma

 K_a

Quotient aus dE_{tr} und dm_a , wobei dE_{tr} die Summe der Anfangswerte der kinetischen Energien aller geladenen Teilchen ist, die von indirekt ionisierender Strahlung in einem Luft-Volumenelement dV_a mit der Masse dm_a freigesetzt werden

$$K_a = \frac{dE_{tr}}{dm_a} = \frac{1}{\rho_a} \frac{dE_{tr}}{dV_a}$$

ρ_a ist die Dichte der Luft im Volumenelement dV_a

[DIN 6814-3:2001-01]

3.16

Luftkermaleistung

 $\dot{K}_a$

Differentialquotient der LUFTKERMA nach der Zeit

$$\dot{K}_a = \frac{dK_a}{dt}$$

[DIN 6814-3:2001-01]

3.17

Maximumstiefe

 z_{max}

Tiefe in Wasser, in der die WASSER-ENERGIEDOSIS ihren Maximalwert hat

ANMERKUNG Die MAXIMUMSTIEFE ist von den Feldparametern abhängig. Insbesondere sind die Feldgröße und der Quelle-Oberflächenabstand (SSD) anzugeben.

3.18

Monte-Carlo-Verfahren

Monte-Carlo-Rechnung

<Strahlungsphysik> numerische Simulation von Teilchenschicksalen beim Durchgang durch Raum und Materie zur Berechnung von Energie- und Richtungsverteilungen der Primär- und Sekundärstrahlungen, sowie von Dosisverteilungen unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen sowie zufallsbedingter Schwankungen der Wechselwirkungen mit Materie

ANMERKUNG 1 Diese Verteilungen ergeben sich aus der Summation einer großen Anzahl von Teilchenschicksalen.

[DIN 6814-2:2000-07]

3.19**nominelle Beschleunigungsspannung**

<hochenergetische PHOTONENSTRAHLUNG> vom Hersteller eines ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS angegebener Spannungswert in MV zur Kennzeichnung der mit dem Beschleuniger erzeugten NUTZSTRAHLUNG hochenergetischer Photonen

ANMERKUNG Als NOMINELLE BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG dient ein angenäherter Wert der GRENZENERGIE des Photonenpektrums, dividiert durch die Elementarladung, oder ein angenäherter Wert der EFFEKTIVEN BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG, siehe 7.2.

3.20**Nutzstrahlung**

ionisierende Strahlung der zur Anwendung bestimmten Art innerhalb des STRAHLENFELDES vor Eintritt in den Patienten, nach Modifikation durch das BLENDENSYSTEM und durch andere Komponenten, die die Fluenzverteilung in der Feldebene beeinflussen; bei AFTERLOADING-EINRICHTUNGEN: ionisierende Strahlung der zur Anwendung bestimmten Art außerhalb des APPLIKATORS

[DIN 6814-2:2000-07]

3.21**Photonenkontamination**

beigemischte PHOTONENSTRAHLUNG im Elektronenstrahl eines Beschleunigers

ANMERKUNG Hauptquelle der PHOTONENKONTAMINATION ist die BREMSSTRAHLUNG aus den Streufohlen. Weitere Quellen sind die kollimierenden Teile des STRAHLERKOPFES und des APPLIKATORS sowie die Luft zwischen STRAHLERKOPF und Phantom.

3.22**praktische Reichweite**

R_p

<ELEKTRONENSTRAHLUNG> Tiefe in Wasser, in der unter gegebenen Messbedingungen die Tangente an den Punkt des steilsten Abfalls der TIEFENDOSISKURVE den zu kleineren Tiefen extrapolierten BREMSSTRAHLUNGSAUSLÄUFER schneidet

[DIN 6814-2:2000-07]

ANMERKUNG 1 Aus der PRAKTISCHEN REICHWEITE lässt sich die wahrscheinlichste Energie der Elektronen an der Phantomoberfläche ermitteln.

ANMERKUNG 2 Die PRAKTISCHE REICHWEITE lässt sich außer aus der TIEFENDOSISKURVE auch aus der Tiefen-Abhängigkeit des Integrals der TEILCHENSTROMDICHTe über die Strahlenfeld-Fläche oder aus der Abhängigkeit des Wertes dieses Integrals von der Dicke vorgeschalteter Materieschichten bestimmen.

ANMERKUNG 3 Zu den Messbedingungen siehe 8.4.

3.23**praktische Spitzenspannung**

$\hat{U}$

nach der Gleichung

$$\hat{U} = \frac{\int_{U_{\min}}^{U_{\max}} p(U) \cdot w(U) \cdot U \, dU}{\int_{U_{\min}}^{U_{\max}} p(U) \cdot w(U) \, dU}$$

gemittelte Spannung an einer RÖNTGENRÖHRE, wobei $p(U)$ die Verteilungsfunktion der Spannung U darstellt und $w(U)$ eine Wichtungsfunktion bezeichnet. Sie ist gegeben durch

$$w(U) = \exp \left\{ -8,646855 \cdot 10^{-3} U^2 + 0,8170361 U - 23,27793 \right\} \quad \text{für } 20 \text{ kV} \leq U < 36 \text{ kV} ,$$

$$w(U) = 4,310644 \cdot 10^{-10} U^4 - 1,662009 \cdot 10^{-7} U^3 + 2,30819 \cdot 10^{-5} U^2 + 1,03082 \cdot 10^{-5} U - 1,747153 \cdot 10^{-2} \quad \text{für } 36 \text{ kV} \leq U \leq 150 \text{ kV} \text{ und}$$

$$w(U_i) = 5,57282 \cdot 10^{-6} U^2 + 0,00251 U - 0,34209 \quad \text{für } 150 \text{ kV} < U \leq 300 \text{ kV} ,$$

U in Einheiten von kV.

$U_{\max}$ ist der höchste, und $U_{\min}$ der niedrigste im Intervall vorkommende Spannungswert. Die Einheit der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG ist das Kilovolt (kV)

ANMERKUNG Die Verteilungsfunktion $p(U)$ ist so definiert, dass $p(U)dU$ bei gegebener Zeitabhängigkeit der Röhrenspannung den Bruchteil der Gesamtzeit angibt, in dem sich die Röhrenspannung zwischen den Werten U und $U + dU$ befindet. Für den Spannungsbereich bis einschließlich 150 kV wurde die Wichtungsfunktion $w(U)$ so gewählt, dass die PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG diejenige Gleichspannung angibt, die denselben Luftkernkontrast hinter einem 10 cm dicken Polymethylmetacrylat-(PMMA)-Phantom mit 1 mm Al als Kontrastmaterial erzeugt wie die zugrunde liegende Wechselspannung. Für den Spannungsbereich oberhalb von 150 kV besteht die Kontrastgeometrie aus 0,05 mm Cu auf 0,5 mm Cu. Weitere Informationen zur PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG, zur Wichtungsfunktion $w(U)$ und zur Verteilungsfunktion $p(U)$ werden in Anhang A gegeben.

[E DIN EN 61676:2005-03]

3.24

Radionuklid

instabiles (radioaktives) NUKLID im Grundzustand oder in einem metastabilen Energiezustand

[DIN 6814-4:2006-10]

3.25

relative Tiefendosis

Relativwert der WASSER-ENERGIEDOSIS auf dem ZENTRALSTRAHL in Wasser in einer anzugebenden Tiefe bei senkrechtem Einfall der Strahlung auf die Oberfläche des Phantoms

ANMERKUNG TIEFENDOSISKURVE und Tiefendosistabelle sind eindimensionale Darstellungen der Dosisverteilung auf dem ZENTRALSTRAHL eines Einzelfeldes in Abhängigkeit von der Tiefe in Phantom oder Körper. In der Regel gibt man der maximalen Tiefendosis oder der Gewebe-Oberflächendosis den Relativwert 1 bzw. 100 %.

[DIN 6809-6:2004-06]

3.26

Röntgenröhrenspannung

Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode einer RÖNTGENRÖHRE. Die Einheit dieser Größe ist Kilovolt (kV)

[DIN EN 61676:2005-03]

3.27

spektrale Energiefluenz

ψ_E
Verteilung der ENERGIEFLUENZ ψ in Bezug auf die Energie E der Teilchen

$$\psi_E = \frac{d\Psi(E)}{dE}$$

dabei ist $d\Psi(E)$ die ENERGIEFLUENZ aller Teilchen, deren Energie in dem Energieintervall zwischen E und $E + dE$ liegt

[DIN 6814-2:2000-07]

3.28

spektrale Teilchenfluenz

Φ_E

Verteilung der TEILCHENFLUENZ Φ in Bezug auf die Energie E der Teilchen

$$\Phi_E = \frac{d\Phi(E)}{dE}$$

dabei ist $d\Phi(E)$ die Fluenz aller Teilchen, deren Energie in dem Energieintervall zwischen E und $E + dE$ liegt

[DIN 6814-2:2000-07]

3.29

Spektrum

Verteilung der Werte einer Strahlungsfeldgröße in Bezug auf die Energie E der Teilchen

[DIN 6814-2:2000-07]

3.30

Strahlungsqualität

Größen und Begriffe zur Klassifizierung der relativen SPEKTRALEN TEILCHENFLUSSDICHTEN einer Strahlungsart für einen betrachteten Ort

[DIN 6814-2:2000-07]

ANMERKUNG Beispiele für geeignete Größen sind STRAHLUNGSQUALITÄTSINDEX, HALBWERTTIEFE, HALBWERTSCHICHTDICKE, EFFEKTIVE BESCHLEUNIGUNGSSPANNUNG, RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG und mittlere Energie.

3.31

Strahlungsqualitätsindex

Q

<hochenergetische PHOTONENSTRAHLUNG> Parameter, durch den die relative SPEKTRALE TEILCHENFLUSSDICHTEN einer hochenergetischen PHOTONENSTRAHLUNG charakterisiert wird

[DIN 6814-2:2000-07]

3.32

Tiefendosisverteilung

tiefenabhängige Verteilung der Relativwerte der WASSER-ENERGIEDOSIS auf dem ZENTRALSTRAHL in einem Wasserphantom bei senkrechtem Einfall der Strahlung auf die Oberfläche des Phantoms

3.33

Wasser-Energiedosis

D_W

Quotient aus der in einem Massenelement dm_W durch ionisierende Strahlung in Wasser deponierten Energie dE und dem Massenelement dm_W

$$D_W = \frac{dE}{dm_W}$$

[DIN 6814-3:2001-01]

4 Grundlagen zur Ermittlung und Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT

Die Kenntnis der STRAHLUNGSQUALITÄT der NUTZSTRAHLUNG ist unentbehrlich bei der Auswahl geeigneter Dosimetertypen und bei der Festlegung energieabhängiger Korrekturfaktoren für die Dosimetrie (siehe DIN 6800-1 bis DIN 6800-5). Die STRAHLUNGSQUALITÄT ist eine Determinante der räumlichen Dosisverteilung im bestrahlten Patientenkörper oder Phantommateriale. In der Strahlungsphysik wird die STRAHLUNGSQUALITÄT durch das Energiespektrum der Photonen oder Teilchen gekennzeichnet (siehe DIN 6814-2:2000-07). In der klinischen Dosimetrie dienen vorwiegend aus Schwächungs- und Reichweitenmessungen gewonnene Parameter zur Ermittlung der STRAHLUNGSQUALITÄT.

Die verschiedenen Methoden zur Ermittlung der STRAHLUNGSQUALITÄT unterscheiden sich hinsichtlich der Vollständigkeit der Beschreibung des Strahlungsfeldes sowie ihres experimentellen oder rechnerischen Aufwands. Die umfassendste Beschreibung bietet die Ermittlung der SPEKTRALEN ENERGIEFLUENZ des Photonen- oder Elektronenfeldes. Allerdings ist die Spektrometrie mit erheblichem Messaufwand verbunden und in vielen Fällen wegen besonderer Gegebenheiten – insbesondere im klinischen Betrieb – kaum möglich. In diesen Fällen kommen Ersatzverfahren zum Einsatz, bei denen Parameter ermittelt werden, die möglichst eng mit der zugrunde liegenden spektralen Verteilung gekoppelt sind, und so indirekt Aussagen über das SPEKTRUM der Strahlung erlauben. In den folgenden Abschnitten werden für die unterschiedlichen Strahlungsarten und Energiebereiche vom SPEKTRUM abhängige Parameter beschrieben, die in der Praxis bewährten Ersatzverfahren zur Bestimmung der Parameter festgelegt und Informationen über die Verfahren zur Spektrums-ermittlung gegeben.

5 RÖNTGENSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN bis 400 keV

5.1 Allgemeines

Bei RÖNTGENSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN bis 400 keV hängt das SPEKTRUM der NUTZSTRAHLUNG von der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG und damit von der Energie der in der RÖNTGENRÖHRE beschleunigten Elektronen, vom Anodenmaterial, vom Einfallswinkel der Elektronen, von Material und Dicke der als Filter wirkenden Materieschichten und von der Blendenkonstruktion ab. Deshalb reicht es nicht aus, die STRAHLUNGSQUALITÄT der NUTZSTRAHLUNG allein durch die RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG zu charakterisieren. Methoden zur Messung und Berechnung von Röntgenspektren sind in Anhang A beschrieben. Da diese Methoden in der Praxis nicht generell verfügbar sind, dienen die Kenngrößen RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG, Gesamtfilterung, 1. HALBWERTSCHICHTDICKE und HOMOGENITÄTSKOEFFIZIENT zur Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT. Für RÖNTGENSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN bis 400 keV müssen zur Kennzeichnung der STRAHLUNGSQUALITÄT die Röhrenspannung (siehe 5.2), die Gesamtfilterung und die erste HALBWERTSCHICHTDICKE (siehe 5.4) angegeben werden. Bei Anwendung von RÖNTGENSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN zwischen 8 keV und 100 keV genügt die Angabe der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG, der Gesamtfilterung und des Anodenmaterials. Die RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG ist als PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG anzugeben (siehe Anhang B). Durch Angabe der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG erübrigt sich die Unterscheidung in Gleichspannung und zeitlich nicht konstante (z. B. Zwölf-Puls-)Spannung.

ANMERKUNG Als Beispiel für die Kennzeichnung typischer STRAHLUNGSQUALITÄTEN sind in Anhang C die Therapie-Strahlungsqualitäten, wie sie in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für die Kalibrierung von Therapie-dosimetern verwendet werden, angegeben.

Die an diagnostischen Röntgenanlagen verwendeten STRAHLUNGSQUALITÄTEN sind in der gleichen Weise wie in 5.4 zu charakterisieren. Für die Untersuchung von speziellen Eigenschaften von Komponenten, die in der diagnostischen Radiologie eingesetzt werden, z. B. Röntgenfilm, DIAGNOSTIKDOSIMETER usw., sind STRAHLUNGSQUALITÄTEN in E DIN EN 61267:2004-02 festgelegt worden. Diese Norm enthält STRAHLUNGSQUALITÄT-

TEN, die das Röntgenstrahlungsfeld sowohl im NUTZSTRAHLENBÜNDEL, als auch hinter dem Patienten beschreiben. Es sind dort STRAHLUNGSQUALITÄTEN für alle Bereiche der diagnostischen Radiologie definiert.

5.2 Messung der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG

5.2.1 Allgemeines

Bei ausreichender Kenntnis über die Röntgenanlage (Gesamtfilterung, Anodenmaterial und -winkel) reicht häufig auch die Angabe der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG zur Charakterisierung der STRAHLUNGSQUALITÄT aus (siehe auch 5.1). An der Bedienungseinrichtung einer Röntgentherapieanlage für Spannungen oberhalb 60 kV kann die eingestellte Röhrenspannung in der Regel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2\%$, bei Therapieanlagen unter 60 kV mit einer Standardunsicherheit von $\pm 4\%$ abgelesen werden. Angezeigt wird die Röhrengleichspannung bzw. Röhrenspitzenspannung (bei pulsierender Spannung) für die Belastung mit Nennstrom (siehe DIN 6814-6:1989-09).

ANMERKUNG Die Röhrenspannung kann auch durch Messung der maximalen Photonenenergie mit einem Szintillations- oder Halbleiterspektrometer oder durch Messung der Fluoreszenzstrahlung geeigneter Elemente ermittelt werden (siehe Anhang A).

Diese Methoden bieten aber nur bei Vorliegen einer konstanten Röhrengleichspannung genügend genaue Ergebnisse für die Röhrenspannung. Bei nicht zeitlich konstanter Röhrenspannung sollte zur Charakterisierung die PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG nach E DIN EN 61267:2004-02 verwendet werden (siehe Anhang B). Diese kann mit unterschiedlicher Gesamtunsicherheit nach den in Anhang E beschriebenen Verfahren bestimmt werden. Bei reinen ZWEI-, SECHS- und ZWÖLPULSGENERATOREN sowie bei überlagerter Sinusspannung bekannter Größe kann aus der folgenden Tabelle ein Umrechnungsfaktor vom mittleren Scheitelwert der Röhrenspannung auf den Wert der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG entnommen werden.

Tabelle 1 — Umrechnungsfaktor zur Berechnung der PRAKTISCHEN SPITZENSPANNUNG aus dem Scheitelwert der Röhrenspannung. Die Prozentangaben bei „Sinus“ kennzeichnen die Differenz zwischen Minimum und Maximum im Verhältnis zum zeitlichen Mittelwert

Scheitelwert kV	2-Puls	6-Puls	12-Puls	Sinus 20 %	Sinus 15 %	Sinus 10 %	Sinus 5 %
30	0,95	0,97	0,99	0,95	0,95	0,95	0,96
50	0,92	0,96	0,99	0,90	0,90	0,92	0,95
70	0,89	0,96	0,99	0,86	0,88	0,91	0,95
100	0,86	0,96	0,99	0,84	0,87	0,91	0,95
120	0,85	0,96	0,99	0,84	0,87	0,91	0,95
150	0,84	0,96	0,99	0,83	0,87	0,91	0,95
200	0,85	0,96	0,99	0,83	0,87	0,91	0,95
250	0,85	0,96	0,99	0,85	0,88	0,91	0,95
280	0,85	0,96	0,99	0,86	0,88	0,91	0,95
300	0,85	0,96	0,99	0,85	0,87	0,91	0,95

5.2.2 Invasive Messung der Röhrenspannung

Die invasive (direkte) Messung der an der RÖNTGENRÖHRE anliegenden Spannung wird vom Hersteller des RÖNTGENGENERATORS in der Regel an einem internen Hochspannungsteiler durchgeführt. Ist vom Hersteller ein Zugang zu diesem Spannungsteiler vorgesehen, kann dieser zur Messung der RÖNTGENRÖHRENSPANNUNG genutzt werden. Üblicherweise ist der Hochspannungskreis des RÖNTGENGENERATORS aus Sicherheitsgründen jedoch nicht zugänglich. In diesem Fall kann ein externer kommerziell erhältlicher Hochspannungsteiler, der parallel zur RÖNTGENRÖHRE betrieben wird, benutzt werden. Bei RÖNTGENGENERATOREN mit nicht konstanter Hochspannung ist darauf zu achten, dass der Spannungsteiler für die in der Wellenform der Hoch-

spannung vorkommenden Frequenzen kompensiert ist. Für Gleichspannungsgeneratoren reicht zur Bestimmung der Hochspannung ein Gleichspannungsmessgerät, für nicht konstante Hochspannung muss die Wellenform mit einem genügend schnellen AD-Wandler digitalisiert werden. Aus der digitalisierten Wellenform kann dann die PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG nach 3.23 bzw. Anhang B ermittelt werden.

5.2.3 Nicht-invasive Messung der Röhrenspannung

Neben den in Anhang A erwähnten Messverfahren zur nicht-invasiven Bestimmung der Röhrenspannung mittels Spektrometrie oder der Resonanzfluoreszenzmethode ist das Zwei- oder Mehr-Filter-Verfahren von besonderer Bedeutung. Während die ersteren einen für die Praxis zu aufwändigen Messaufbau verlangen, stehen für die Filtermethode eine Reihe von kommerziell erhältlichen Messgeräten zur Verfügung. Neuere Geräte müssen den Anforderungen nach DIN EN 61676 entsprechen und zeigen dementsprechend direkt die PRAKTISCHE SPITZENSPANNUNG für beliebige Wellenformen an.

ANMERKUNG 1 Näheres zur Resonanzfluoreszenzmethode und zum Zwei- oder Mehrfilterverfahren siehe [17].

ANMERKUNG 2 Da DIN EN 61676 in erster Linie für den Bereich der diagnostischen Radiologie erarbeitet wurde, sind Spannungsmessungen mit den zurzeit erhältlichen nicht-invasiven Hochspannungsmessgeräten (kVp-Meter) auf den Spannungsbereich bis 150 kV begrenzt.

5.3 Gesamtfiltrierung

Bei vorgegebener Anodenkonfiguration (Anodenmaterial, -winkel und -rauigkeit) und Röhrenspannung legt die Gesamtfiltrierung die STRAHLUNGSQUALITÄT fest. Mit zunehmender Härte der Filtrierung verschiebt sich das Maximum des Bremsstrahlungsspektrums zu höheren Werten bei gleichzeitiger Verringerung der Spektrumsbreite und der Dosisleistung. Bei der Angabe der Gesamtfiltrierung ist neben der in den Strahlengang gebrachten Zusatzfiltrierung auch die Al-äquivalente HÄRTUNG des Röhrenfensters und insbesondere bei diagnostischen Röntgenanlagen die des Lichtvisiers zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Für spezielle Anwendungen, wie z. B. für Mammographieanlagen in der Diagnostik, sind so genannte Kantenfilter gebräuchlich, bei denen die starke Diskontinuität des Absorptionsvermögens an den Absorptionskanten eines Filtermaterials ausgenutzt wird. Die Kantenfilter dienen dazu, neben dem niederenergetischen Anteil den oberhalb einer Spektrallinie oder Liniengruppe der charakteristischen Röntgenstrahlung liegenden Teil des Photonenspektrums deutlich stärker als die Spektrallinien zu schwächen. Ziel ist die Gewinnung eines möglichst schmalbandigen Spektrums, das einen besseren Bildkontrast liefert als das ungefilterte Spektrum. Hierzu wird ein Material verwendet, dessen K-Kante oder L-Kante nur wenig oberhalb der zu selektierenden Linie oder Liniengruppe liegt (Beispiel: Mo-Filter bei Mo-Anode in Mammographieanlagen).

5.4 Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE

5.4.1 Allgemeines

In vielen Fällen genügt die Charakterisierung der STRAHLUNGSQUALITÄT durch die Angabe der ersten HALBWERTSCHICHTDICKE. Es ist jedoch zu beachten, dass die Übereinstimmung der ersten HALBWERTSCHICHTDICKEN zweier miteinander verglichener RÖNTGENSTRAHLUNGEN nicht gleichbedeutend mit Gleichheit der SPEKTREN ist.

5.4.2 Absorber-Materialien

Für die Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE sind folgende Materialien nach Tabelle 1 zu verwenden:

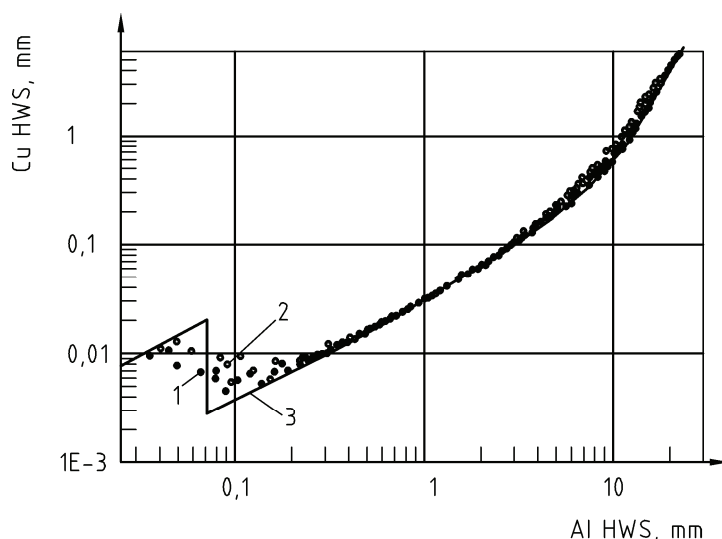
Tabelle 2 — Materialien zur Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE

Grenzenergiebereich	Absorber-Material
10 keV bis 60 keV	Aluminium
60 keV bis 150 keV	Aluminium oder Kupfer
150 keV bis 400 keV	Kupfer

Der Massenanteil an Fremdstoffen aus Elementen merklich abweichender Ordnungszahl darf bei Aluminium für HALBWERTSCHICHTDICKEN unter 0,2 mm Al nicht mehr als 0,01 % und darüber nicht mehr als 0,2 % betragen. Bei Kupfer dürfen die Verunreinigungen nicht mehr als 0,8 % betragen. Angaben zur Umrechnung von Kupfer- in Aluminiumhalbworthschichtdicken können Bild 1 entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Siehe auch [49].

ANMERKUNG 2 Die HALBWERTSCHICHTDICKEN (Bild 1) wurden für die SPEKTREN aus dem GSF-Bericht S 560 [55], für die Standard-Strahlungsqualitäten (RQR) aus E DIN EN 61267:2004-02 und die Mammographie-Strahlungsqualitäten (30 μ m Mo und 30 μ m Mo +2 mm Al, 25 kV bis 50 kV) [48] bestimmt.



Legende

- 1 1. HWS, SPEKTREN
- 2 2. HWS, SPEKTREN
- 3 monoenergetisch

Bild 1 — HALBWERTSCHICHTDICKEN

5.4.3 Messanordnung

Zur Messung der HALBWERTSCHICHTDICKE wird ein Messaufbau nach Bild 2 empfohlen. Dabei werden Absorberschichten verschiedener Dicke im Abstand B vom Monitor/BLENDSYSTEM der RÖNTGENRÖHRE senkrecht zum ZENTRALSTRAHL unmittelbar vor oder hinter einer weiteren BLENDE aufgestellt. Die BLENDE ist so zu bemessen, dass das NUTZSTRAHLENBÜNDEL am Detektorort einen Durchmesser von $D = 4$ cm nicht überschreitet. Im Abstand C hinter dem Absorber wird die LUFTKERMA, bezogen auf eine Monitoranzeige, im ZENTRALSTRAHL in Luft als Funktion der Absorberdicke gemessen. Dabei muss die Messsonde vollständig im Bereich des NUTZSTRAHLENBÜNDELS liegen. Dieser Messaufbau stellt sicher, dass die Anzeige der Sonde keinen merklichen Anteil enthält, welcher der im Absorber entstehenden STREUSTRAHLUNG zuzurechnen ist („Geometrie des schmalen Strahlenbündels“). Diejenige Absorberdicke, bei welcher der Quotient aus der