

DIN 6801-1:2019-09 (D)

Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Protonen- und Ionenstrahlung - Teil 1: Ionisationskammern

| Inhalt | Seite |
|--|-------|
| Vorwort | 6 |
| Einleitung | 7 |
| 1 Anwendungsbereich..... | 9 |
| 2 Normative Verweisungen | 10 |
| 3 Begriffe | 10 |
| 4 Messprinzip und Messverfahren | 19 |
| 5 Ionisationskammern für die Dosismessung und für die Ermittlung von Dosisverteilungen | 19 |
| 5.1 Allgemeines zur Auswahl der Bauart von Ionisationskammern | 19 |
| 5.2 Einsatz von Kompaktkammern | 20 |
| 5.3 Einsatz von Flachkammern | 21 |
| 5.4 Großflächige Kammern | 21 |
| 5.5 Übersicht zur Auswahl der Bauart von Ionisationskammern | 22 |
| 5.6 Positionierung von Ionisationskammern..... | 22 |
| 6 Allgemeines zur Messung der Wasser-Energiedosis | 23 |
| 6.1 Gleichung zur Ermittlung der Wasser-Energiedosis..... | 23 |
| 6.2 Der Kalibrierfaktor und zugehörige Bezugsbedingungen..... | 23 |
| 6.3 Einflussgrößen und Korrektionsfaktoren..... | 25 |
| 6.4 Referenzbedingungen für die Messung der Wasserenergiedosis von Protonen- und Ionenstrahlung..... | 25 |
| 6.4.1 Allgemeines..... | 25 |
| 6.4.2 Referenzbedingungen für energiemodierte Protonen- und Ionenstrahlung | 26 |
| 6.4.3 Referenzbedingungen bei monoenergetischer Strahlung | 27 |
| 6.4.4 Zusätzliche spezifische Referenzbedingungen | 28 |
| 6.4.5 Zusammenfassung der Referenzbedingungen..... | 29 |
| 6.5 Nicht-Referenzbedingungen und zugehörige KORREKTIONSFAKTOREN..... | 29 |
| 7 Ermittlung der strahlungsqualitätsunabhängigen KORREKTIONSFAKTOREN..... | 30 |
| 7.1 Allgemeines..... | 30 |
| 7.2 Korrektionsfaktor k_p für die Luftdichte | 30 |
| 7.3 Korrektionsfaktor k_p für die Polarität der Kammeranspannung..... | 30 |
| 7.4 Korrektionsfaktor k_s für unvollständige Sättigung | 31 |
| 7.5 Korrektionsfaktor k_T für den Einfluss der unterschiedlichen Positionierung von Kompaktkammern bei der Kalibrierung und bei der Messung | 31 |
| 7.6 Korrektionsfaktor k_{PMMA} für den Einfluss der Fluenzänderung bei Verwendung eines PMMA-Phantoms statt eines Wasser-Phantoms | 32 |
| 8 Messung der Wasser-Energiedosis..... | 32 |
| 8.1 Kennzeichnung und Ermittlung der Strahlungsqualität | 32 |
| 8.2 Messung der Wasser-Energiedosis unter Referenzbedingungen..... | 32 |
| 8.2.1 Allgemeines..... | 32 |
| 8.2.2 Bedeutung des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ | 33 |
| 8.2.3 Experimentelle Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ | 33 |

| | | |
|---|--|----|
| 8.2.4 | Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Protonen | 33 |
| 8.2.5 | Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Alphateilchen | 35 |
| 8.2.6 | Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Ionenstrahlung mit $2 < Z \leq 10$ | 37 |
| 8.3 | Messung der Wasser-Energiedosis unter Nicht-Referenzbedingungen | 38 |
| 8.3.1 | Allgemeines..... | 38 |
| 8.3.2 | Tiefendosisverteilungen | 38 |
| 8.3.3 | Querverteilungen..... | 39 |
| 8.3.4 | Output-Faktoren..... | 39 |
| 8.3.5 | Verwendung anderer Materialien als das Referenzmaterial PMMA | 40 |
| 9 | Messunsicherheitsanalyse | 40 |
| Anhang A (normativ) Berechnung der strahlungsqualitätsabhängigen Korrektionsfaktoren..... | | 41 |
| A.1 | Trennung von $k_{Q,R}$ in zwei Teilfaktoren..... | 41 |
| A.2 | Der Teilfaktor k'_Q | 41 |
| A.2.1 | Allgemeines..... | 41 |
| A.2.2 | Zahlenwerte für ^{60}Co -Gammastrahlung als Bezugsstrahlung für die Kalibrierung..... | 42 |
| A.2.3 | Zahlenwerte für Protonen- und Ionenstrahlung..... | 42 |
| A.3 | Der Teilfaktor k''_Q | 44 |
| A.3.1 | Allgemeines..... | 44 |
| A.3.2 | Zahlenwerte für k'_Q | 44 |
| A.3.3 | Umrechnung von p_{Co} -Werten für Kompaktkammern aus dem internationalen Dosimetrieprotokoll TRS 398 | 46 |
| Anhang B (informativ) Herleitung und Berechnung des Korrektionsfaktors k_r | | 48 |
| Anhang C (normativ) Erforderliche Umrechnungen und Korrektion zur Bestimmung der Wasser-Energiedosis in einem PMMA-Phantom..... | | 49 |
| C.1 | Allgemeines..... | 49 |
| C.2 | Grundsätzliches | 49 |
| C.3 | Zahlenwerte..... | 50 |
| C.3.1 | Massendichte ρ_{PMMA} | 50 |
| C.3.2 | Tiefenskalierungsfaktoren c_{PMMA} und f_{PMMA} | 50 |
| C.3.3 | Korrektionsfaktor k_{PMMA} zur Berücksichtigung des Einflusses der Fluenzänderung bei der Verwendung eines PMMA-Phantoms statt eines Wasserphantoms..... | 51 |
| C.3.4 | Zusammenfassung | 53 |
| Anhang D (informativ) Zur Positionierung des Bezugspukts von Kompaktkammern bezüglich der Messtiefe bei Protonen- und Ionenstrahlung..... | | 54 |
| D.1 | Allgemeines..... | 54 |
| D.2 | Analytische Berechnung des Verschiebungsparameter p bei Vernachlässigung der Streuung | 54 |
| D.3 | Literaturwerte für den Verschiebungsparameter p | 57 |
| Anhang E (normativ) Korrektion der unvollständigen Sättigung..... | | 58 |
| E.1 | Einführung..... | 58 |
| E.2 | Anzuwendendes Verfahren..... | 58 |
| Anhang F (informativ) Massen-Stoßbremsvermögen von Protonen- und Ionenstrahlung und Verhältnis der Massen-Stoßbremsvermögen von Wasser zu Luft | | 60 |
| F.1 | Massen-Stoßbremsvermögen | 60 |
| F.2 | Bedeutung des mittleren Ionisationspotenzials des Targetmaterials für das elektronische MASSEN-STOßBREMSVERMÖGEN | 61 |
| F.3 | Inkonsistenz der Datenlage zum mittleren Ionisationspotenzial..... | 62 |
| F.4 | Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft | 63 |
| F.5 | Näherungsweise Berechnung des Verhältnisses des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft..... | 64 |
| Literaturhinweise..... | | 67 |

| | |
|---|----|
| Stichwortverzeichnis | 70 |
| | |
| Bilder | |
| Bild 1 — Prozentuale Tiefendosisverteilung von Protonenstrahlung mit einer Anfangsenergie von 235 MeV und einer Energiemodulation mit Hilfe eines mechanischen Modulators | 11 |
| Bild 2 — Berechnete Tiefendosisverteilung von ^{12}C Ionen in Wasser mit einer Eingangsenergie je Nukleon von 270 MeV..... | 14 |
| Bild 3 — Prozentuale Tiefendosisverteilungen, Bragg-Peak und praktische Reichweite R_p von 200 MeV Protonen (a) und 270 MeV Kohlenstoffionen (b) für eine quasi-unendliche Feldgröße | 16 |
| Bild 4 — Tiefenverteilungen der Wasser-Energiedosis in Wasser einer Kohlenstoffstrahlung mit einer maximalen Energie pro Nukleon von 290 MeV bei unterschiedlicher Energiemodulation | 18 |
| Bild 5 — Mit Hilfe der biologischen Modellierung errechnete Tiefenverteilungen der RBW-gewichteten Dosis in Wasser bei gleicher Energiemodulation wie in Bild 3 [17] | 18 |
| Bild 6 — Prozentuale Tiefendosisverteilung von monoenergetischen Protonen- und Kohlenstoff-Ionenstrahlung in Wasser bei einer quasi-unendlichen Feldgröße, jeweils mit einer praktischen Reichweite von 1,5 cm (Berechnung der Protonenkurve nach Bortfeld 1997 [8], Berechnung der Ionenkurve analog zu Bild 1) | 21 |
| Bild 7 — Beispiel der Abmessungen eines PMMA-Phantoms zur Aufnahme einer Farmerkammer mit einem Durchmesser des Messvolumens von 6,1 mm für die Dosisbestimmung unter Referenzbedingungen für monoenergetische Ionenstrahlung und monoenergetische Protonenstrahlung mit einer Energie < 100 MeV bei seitlicher Einstrahlung..... | 28 |
| Bild A.1 — Nach Gleichung (A.3) berechnetes Verhältnis der Massenbremsvermögen von Wasser zu Luft für Protonen, Alphateilchen und Ionenstrahlung mit $2 \leq Z \leq 10$. Die Werte für Protonen sind identisch mit den in TRS 398 [16] angegebenen Werten..... | 43 |
| Bild C.1 — Experimentell bestimmte Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors k_{PMMA} von der wasseräquivalenten Tiefe für 75 MeV Protonen (Palman et al. [32])..... | 51 |
| Bild C.2 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{\text{fl,PMMA}}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Protonen (Lühr et al. [25]) | 52 |
| Bild C.3 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{\text{fl,PMMA}}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Kohlenstoffionen (Lühr et al. [25])..... | 53 |
| Bild D.1 — Geometrische Verhältnisse zur analytischen Berechnung des Verschiebungsparameters p bei der Positionierungsvorschrift..... | 54 |
| Bild D.2 — Beispiel der Abhängigkeit des analytisch berechneten Verschiebungsparameter p von dem Korrektionsfaktor f | 57 |
| Bild F.1 — Einfluss des verwendeten Wertes des Ionisationspotenzials auf die berechnete Tiefe des Bragg-Peaks in Wasser bei einer quasi-unendlichen Feldgröße von Kohlenstoffionen mit einer Anfangsenergie von 270 MeV/n, berechnet mit Shield-Hit (Henkner, 2010 [14]) | 62 |

Bild F.2 — Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft für Kohlenstoffionen nach Gleichung (F.9) mit $E_0 = 430$, $I_w = 78$, $I_a = 82,8$ und $R_p = 30,9$. Zusätzlich gezeigt sind die Werte einer Monte Carlo Berechnung für 430 MeV Kohlenstoffionen (Lühr) 65

Bild F.3 — Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft für Protonen und unterschiedliche Ionensorten, entnommen aus TRS 398 [16] 66

Tabellen

Tabelle 1 — Anwendungsbereich der Norm in Bezug auf die praktische Reichweite und in Bezug auf die Eintrittsenergien pro Nukleon (in MeV) 9

Tabelle 2 — Zusammenstellung der Auswahl der Bauart von Ionisationskammern 22

Tabelle 3 — Zusammenstellung der EINFLUSSGRÖßEN und der Bezugsbedingungen bei der Kalibrierung..... 24

Tabelle 4 — Zusammenfassung der Referenzbedingungen zur Ermittlung der Energiedosis von Protonen- und Ionenstrahlung..... 29

Tabelle 5 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Protonen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität R_{res} 34

Tabelle 6 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Alphateilchen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität R_{res} 36

Tabelle 7 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Ionenstrahlung mit $2 < Z \leq 10$ für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität R_{res} 37

Tabelle A.1 — Werte der Koeffizienten a, b und c zur Berechnung des Verhältnisses des Massen-Stoßbremsvermögens nach Gleichung (A.3) für Protonen, Alphateilchen und Ionenstrahlung mit $2 \leq Z \leq 10$ 43

Tabelle A.2 — Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft..... 43

Tabelle A.3 — p_{Co} - und k_Q - Werte für ausgewählte Flachkammern 45

Tabelle A.4 — Innenradius r , und Werte für k_r , $p_{Co}^{[DIN]}$ sowie k_Q für ausgewählte Kompaktkammern 46

Tabelle C.1 — Zahlenwerte, die zur Dosisbestimmung in PMMA benötigt werden 53

Tabelle F.1 — Publierte Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft 63