E DIN 6801-1:2016-06 (D)

Erscheinungsdatum: 2016-05-20

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

Inhalt

Seite

Vorwort ... 6

Einleitung ... 7

1 Anwendungsbereich ... 9

2 Normative Verweisungen ... 9

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 Bragg-peak 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 ... 24
6.4 Referenzbedingungen für die Messung der Wasserenergiedosis von Protonen- und Ionenstrahlung ... 25
6.4.1 Allgemeines ... 25
6.4.2 Referenzbedingungen bei monoenergetischer Strahlung ... 25
6.4.3 Referenzbedingungen für energiemodulierte Protonen- und Ionenstrahlung ... 27
6.4.4 Zusätzliche spezifische Referenzbedingungen ... 27
6.4.5 Zusammenfassung der Referenzbedingungen ... 28
6.5 Nicht-Referenzbedingungen und zugehörige Korrektionsfaktoren ... 29

7 Ermittlung der strahlungsqualitätsunabhängigen Korrektionsfaktoren ... 29
7.1 Allgemeines ... 29
7.2 Korrektionsfaktor k_ρ für die Luftdichte ... 29
7.3 Korrektionsfaktor k_p für die Polarität der Kammerspannung ... 29
7.4 Korrektionsfaktor k_S für unvollständige Sättigung ... 30
7.5 Korrektionsfaktor k_r für den Einfluss der unterschiedlichen Positionierung von Kompaktkammern bei der Kalibrierung und bei der Messung ... 30
7.6 Korrektionsfaktor k_{PMMA} für den Einfluss der Fluenzänderung bei Verwendung eines PMMA-Phantoms statt eines Wasser-Phantoms ... 31

8 Messung der Wasser-Energiedosis ... 31
8.1 Kennzeichnung und Ermittlung der Strahlungsqualität ... 31
8.2 Messung der Wasser-Energiedosis unter Referenzbedingungen ... 31
8.2.1 Allgemeines ... 31
8.2.2 Bedeutung des Korrektionsfaktors $k_{\mathrm{Q,R}}$ ... 32
8.2.3 Experimentelle Werte des Korrektionsfaktors $k_{\mathrm{Q,R}}$ ... 32

8.2.4 Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Protonen 32
8.2.5 Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Alphateilchen 34
8.2.6 Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Ionenstrahlung mit $2 < Z \leq 10$ 35
8.3 Messung der Wasser-Energiedosis unter Nicht-Referenzbedingungen 35
8.3.1 Allgemeines 35
8.3.2 Tiefendosisverteilungen 36
8.3.3 Querverteilungen 37
8.3.4 Output-Faktoren 37
8.3.5 Verwendung anderer Materialien als das Referenzmaterial PMMA 37
9 Messunsicherheitsanalyse 38
Anhang A (normativ) Berechnung der strahlungsqualitätsabhängigen Korrektionsfaktoren 39
A.1 Trennung von $k_{Q,R}$ in zwei Teilfaktoren 39
A.2 Der Teilfaktor k'_Q 39
A.2.1 Allgemeines 39
A.2.2 Zahlenwerte für ^{60}Co-Gammastrahlung als Bezugsstrahlung für die Kalibrierung 40
A.2.3 Zahlenwerte für Protonen- und Ionenstrahlung 40
A.3 Der Teilfaktor k''_Q 42
A.3.1 Allgemeines 42
A.3.2 Zahlenwerte für k''_Q 42
A.3.3 Umrechnung von p_{Co} -Werten für Kompaktkammern aus dem internationalen Dosimetrieprotokoll TRS 398 44
Anhang B (informativ) Herleitung und Berechnung des Korrektionsfaktors k_r 46
Anhang C (normativ) Erforderliche Umrechnungen und Korrektion zur Bestimmung der Wasser-Energiedosis in einem PMMA-Phantom 47
C.1 Allgemeines 47
C.2 Grundsätzliches 47
C.3 Zahlenwerte 48
C.3.1 Massendichte ρ_{PMMA} 48
C.3.2 Tiefenskalierungsfaktoren c_{PMMA} und f_{PMMA} 48
C.3.3 Korrektionsfaktor k_{PMMA} zur Berücksichtigung des Einflusses der Fluenzänderung bei der Verwendung eines PMMA-Phantoms statt eines Wasserphantoms 49
C.3.4 Zusammenfassung 51
Anhang D (informativ) Zur Positionierung des Bezugspukts von Kompaktkammern bezüglich der Messtiefe bei Protonen- und Ionenstrahlung 52
D.1 Allgemeines 52
D.2 Analytische Berechnung des Verschiebungsparameter *p* bei Vernachlässigung der Streuung 52
D.3 Literaturwerte für den Verschiebungsparameters *p* 55
Anhang E (normativ) Korrektion der unvollständigen Sättigung 56
E.1 Einleitung 56
E.2 Anzuwendendes Verfahren 56
Anhang F (informativ) Massen-Stoßbremsvermögen von Protonen- und Ionenstrahlung und Verhältnis der Massen-Stoßbremsvermögen von Wasser zu Luft 57
F.1 Massen-Stoßbremsvermögen 57
F.2 Bedeutung des mittleren Ionisationspotenzials des Targetmaterials für das elektronische Massen-Stoßbremsvermögen 58
F.3 Inkonsistenz der Datenlage zum mittleren Ionisationspotenzial 59
F.4 Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft 60
F.5 Näherungsweise Berechnung des Verhältnisses des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft 61
Literaturhinweise 64

Stichwortverzeichnis **67**

Bilder

Bild 1 — Prozentuale Tiefendosisverteilung von Protonenstrahlung mit einer Anfangsenergie von 235 MeV und einer Energiemodulation mit Hilfe eines mechanischen Modulators **10**

Bild 2 — Berechnete Tiefendosiskurve von 12C 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] **19**

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 Protonen- und Ionenstrahlung **26**

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 **41**

Bild C.1 — Experimentell bestimmte Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors k_{PMMA} von der wasseräquivalenten Tiefe für 75 MeV Protonen (Palmans et al. [32]) **49**

Bild C.2 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{fl,PMMA}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Protonen (Lühr et al. [25]) **50**

Bild C.3 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{fl,PMMA}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Kohlenstoffionen (Lühr et al. [25]) **51**

Bild D.1 — Geometrische Verhältnisse zur analytischen Berechnung des Verschiebungsparameters p bei der Positionierungsvorschrift **52**

Bild D.2 — Beispiel der Abhängigkeit des analytisch berechneten Verschiebungsparameter p von dem Korrektionsfaktor f **55**

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]) **59**

Bild F.2 — Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft für Kohlenstoffionen nach Gleichung F.9 mit E0 = 430, Iw = 78, Ia = 82,8 und Rp = 30,9. Zusätzlich gezeigt sind die Werte einer Monte Carlo Berechnung für 430 MeV Kohlenstoffionen (Lühr) **62**

Bild F.3 — Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft für Protonen und unterschiedliche Ionensorten, entnommen aus TRS 398 [16] **63**

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 28

Tabelle 5 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Protonen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität R_{res} 33

Tabelle 6 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ für Alphateilchen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität R_{res} 34

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} 35

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 $2 \leq Z \leq$ 41

Tabelle A.2 — Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft 41

Tabelle A.3 — p_{Co} und k''_Q Werte für ausgewählte Flachkammern 43

Tabelle A.4 — Innenradius *r*, und Werte für k_r, $p_{Co}^{[DIN]}$ sowie k''_Q für ausgewählte Kompaktkammern 44

Tabelle C.1 — Zahlenwerte, die zur Dosisbestimmung in PMMA benötigt werden 51

Tabelle F.1 — Publizierte Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft 60