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 energiemodulierte 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_{ρ} für die Luftdichte 30
7.3 Korrektionsfaktor k_{p} für die Polarität der Kammerspannung 30
7.4 Korrektionsfaktor k_{s} für unvollständige Sättigung 31
7.5 Korrektionsfaktor k_{r} 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 Verschiebungsparameters *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 Tiefendosiskurve 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 (Palmans et al. [32]) **51**

Bild C.2 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{fl,PMMA}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Protonen (Lühr et al. [25]) **52**

Bild C.3 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{fl,PMMA}$ 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 kQ" - Werte für ausgewählte Flachkammern 45

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

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

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