

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 Kammerspannung.....	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 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 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 (Palmans 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