DIN 6809-8:2023-08 (D)

Klinische Dosimetrie - Teil 8: Dosimetrie kleiner Photonen-Bestrahlungsfelder

Inhalt

Seite

Vorwort 7

Einleitung 9

1 Anwendungsbereich 10

2 Normative Verweisungen 10

3 Begriffe 10

4 Symbole und Abkürzungen 16

5 Messverfahren 17

6 Messung der Wasser-Energiedosis im kleinen Kalibrierfeld mit Ionisationskammern als Bezugsnormale 19

6.1 Allgemeines 19

6.2 Das kleine Kalibrierfeld zur Durchführung einer Anschlussmessung 19

6.2.1 Allgemeines 19

6.2.2 Im kleinen Kalibrierfeld als Bezugsnormale geeignete Ionisationskammern 19

6.2.3 Positionierung von Ionisationskammern 20

6.3 Ermittlung der Wasser-Energiedosis im kleinen Kalibrierfeld mit Ionisationskammern 21

6.3.1 Allgemeines 21

6.3.2 Ermittlung des Strahlungsqualitätsindex Q der einfallenden Photonenstrahlung für die Dosimetrie im kleinen Kalibrierfeld 22

6.3.3 Ermittlung des Korrektionsfaktors $k_{Q,M}$ 24

6.3.4 Ermittlung des Korrektionsfaktors $k_{NR,Q}$ 25

6.4 Anschlussmessung hochauflösender Detektoren im kleinen Kalibrierfeld 25

6.4.1 Für die Dosismessung in kleinen Strahlungsfeldern geeignete räumlich hochauflösende Detektoren 25

6.4.2 Positionierung räumlich hochauflösender Detektoren bei der Messung im kleinen Kalibrierfeld 27

6.4.3 Bedingungen für die Kalibrierung (Anschlussmessung) von räumlich hochauflösenden Detektoren im kleinen Kalibrierfeld 27

6.4.4 Durchführung der Kalibrierung im kleinen Kalibrierfeld zur Ermittlung des Kalibrierfaktors N_{KK} 29

6.4.5 Rekalibrierung räumlich hochauflösender Detektoren im kleinen Kalibrierfeld 30

7 Messung der Wasser-Energiedosis mit räumlich hochauflösenden Detektoren in kleinen Strahlungsfeldern unter Nicht-Kalibrierbedingungen 30

7.1 Allgemeines 30

7.2 Gleichung zur Ermittlung der Wasser-Energiedosis im kleinen Strahlungsfeld mit räumlich hochauflösenden Detektoren 31

7.3 Werte des Korrektionsfaktors k_{NKK} 31

7.3.1 Allgemeines 31

7.3.2 Durch Monte-Carlo-Simulation und experimentell ermittelte feldgrößenabhängige Korrektionsfaktoren k_{NKK} bei der Messung der Wasser-Energiedosis auf der Zentralstrahlachse 32

7.3.3 Durch Messung ermittelte feldgrößenabhängige Korrektionsfaktoren k_{NKK} zur Anwendung bei Messungen der Wasser-Energiedosis auf der Zentralstrahlachse im Vergleich zu Monte-Carlo-Werten von k_{NKK} 36

7.3.4 Korrektionsfaktor k_{NKK} ohne Beschränkung des Messorts auf die Zentralstrahlachse, allgemeine Darstellung als Produkt aus Störungsfaktoren 41

8 Ermittlung der Wasser-Energiedosis auf der Achse des Nutzstrahlenbündels zur Bestimmung der Streubeiträge ... 42
8.1 Allgemeines ... 42
8.2 Die Komponenten der Streubeiträge: Totaler Streufaktor, Strahlerkopf-Streufaktor und Phantom-Streufaktor ... 42
8.3 Messung des totalen Streufaktors in Wasser S_{cp} ... 44
8.4 Messung des Strahlerkopf-Streufaktors in Luft S_c ... 44
8.5 Messung der Zentralstrahldosis aus dem Dosisflächenprodukt ... 46
8.6 Messung von Dosisprofilen ... 47
8.7 TPR-Messungen und Tiefendosismessungen ... 47

9 Messunsicherheit und Messabweichungen ... 48
9.1 Allgemeines ... 48
9.2 Messunsicherheit der im kleinen Kalibrierfeld gemessenen Wasser-Energiedosis ... 49
9.3 Messunsicherheit des Kalibrierfaktors eines räumlich hochauflösenden Detektors im kleinen Kalibrierfeld ... 49
9.4 Messunsicherheit der unter Nicht-Kalibrierbedingungen gemessenen Wasser-Energiedosis ... 49

Anhang A (informativ) Physikalische Eigenschaften kleiner Photonenfelder ... 51
A.1 Allgemeines ... 51
A.2 Einfluss der Feldgröße auf die Form der Tiefendosiskurve ... 51
A.3 Feldgrößenabhängiger Dosisanteil der niederenergetischen Streustrahlung ... 52
A.4 Feldgrößenabhängigkeit der mittleren Photonenenergie am Messort im Phantom ... 53
A.5 Lateraler Sekundärelektronentransport ... 55
A.6 Einfluss des lateralen Sekundärelektronentransports auf das Dosis-Querprofil ... 55

Anhang B (normativ) Festlegung des kleinen Kalibrierfelds und Messung mit Ionisationskammern als Bezugsnormalen ... 58
B.1 Allgemeines ... 58
B.2 Bedeutung des kleinen Kalibrierfeldes und der Korrektionsfaktoren im Rahmen der Dosimetrie kleiner Photonen-Strahlungsfelder ... 58
B.3 Auswahl der Feldgröße des kleinen Kalibrierfeldes ... 59

Anhang C (informativ) Dosismessungen in kleinen Feldern mit hochauflösenden Detektoren, der Korrektionsfaktor k_{NKK} unter beliebigen Messbedingungen ... 61
C.1 Allgemeines ... 61
C.2 Der Volumeneffekt und der Störungsfaktor p_v ... 61
C.3 Der Störungsfaktor p_v bei hochauflösenden Ionisationskammern ... 64
C.4 Rechnerische Korrektion eines gemessenen Dosisprofils ... 68
C.5 Der Störungsfaktor p_{sp} zur Berücksichtigung des energieabhängigen Ansprechvermögens räumlich hochauflösender Detektoren in kleinen Strahlungsfeldern ... 70

Anhang D (informativ) Parametrisierung von Streufaktoren und relativen Dosisverteilungen ... 72
D.1 Allgemeines ... 72
D.2 Totale Streufaktoren S_{cp} bei kleinen Feldern ... 72
D.3 Phantom-Streufaktoren S_p bei kleinen Feldern ... 73
D.4 Relative Tiefendosis und Gewebe-Phantom-Verhältnis (TPR) ... 76

Anhang E (informativ) Beispiele für Messunsicherheitsbudgets ... 77
E.1 Allgemeines ... 77
E.2 Messunsicherheitsbudget für die Messung der Wasser-Energiedosis im kleinen Kalibrierfeld mit einer kalibrierten Ionisationskammer nach DIN 6800-2 ... 77
E.3 Messunsicherheitsbudget für die Kalibrierung einer Silizium-Diode im kleinen Kalibrierfeld ... 78
E.4 Messunsicherheitsbudget für die Messung der Wasser-Energiedosis unter Nicht-Kalibrierbedingungen ... 79

Literaturhinweise ... 80

Stichwortverzeichnis ... 90

Bilder

Bild 1 — Schema des Verfahrens zur Dosimetrie kleiner Strahlungsfelder im Wasserphantom 18

Bild 2 — Werte des Korrektionsfaktors k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse als Funktion der Feldabmessung (siehe auch Tabelle 6) 33

Bild 3 — Beispiel des durch Messung ermittelten feldgrößenabhängigen Korrektionsfaktors k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse für FELDABMESSUNGEN a = 0,5 cm bis a = 4 cm im Vergleich zu Monte-Carlo berechneten Werten — Diode PTW 60017 (in paralleler Orientierung) 37

Bild 4 — Beispiel des durch Messung ermittelten feldgrößenabhängigen Korrektionsfaktors k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse für FELDABMESSUNGEN a = 0,5 cm bis a = 4 cm im Vergleich zu Monte-Carlo berechneten Werten — Diamant PTW 60019 (in paralleler Orientierung) 38

Bild 5 — Beispiel des durch Messung ermittelten feldgrößenabhängigen Korrektionsfaktors k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse für FELDABMESSUNGEN a = 0,5 cm bis a = 4 cm im Vergleich zu Monte-Carlo berechneten Werten — Ionisationskammer PTW 31014 [in paralleler (II) und senkrechter (T) Orientierung] 39

Bild 6 — Beispiel des durch Messung ermittelten feldgrößenabhängigen Korrektionsfaktors k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse für FELDABMESSUNGEN a = 0,5 cm bis a = 4 cm im Vergleich zu Monte-Carlo berechneten Werten — Szintillator Exradin W1 [in paralleler (II) und senkrechter (T) Orientierung] 40

Bild 7 — Werte des Quotienten $[M_{Ala}(a)/M_{Ala}(a_{KK})]/[M_{Det}(a)/M_{Det}(a_{KK})]$ 41

Bild 8 — Messung des Dosisflächenproduktes mit einer großflächigen Parallelplatten-Ionisationskammer 47

Bild A.1 — Relative Tiefendosiskurve einer 15-MV-Photonenstrahlung im Wasserphantom bei verschiedenen FELDABMESSUNGEN a quadratischer Felder 52

Bild A.2 — Feldgrößenabhängigkeit des relativen Dosisanteils von Photonen mit Energien < 200 keV auf der Strahlachse in verschiedenen Tiefen bei 6-MV-Photonenstrahlung 52

Bild A.3 — Mittlere Photonenenergie EF in Wasser für Beschleuniger mit Ausgleichsfilter (WFF) bei einer nominellen Beschleunigungsspannung von 6 MV (oben) bzw. 15 MV (unten) für verschiedene Tiefen und Achsenabstände (siehe Chofor [30]) 54

Bild A.4 — Mittlere Photonenenergie EF in Wasser für Beschleuniger ohne Ausgleichsfilter im Achsenabstand r = 0 cm in Abhängigkeit von der Tiefe unter verschiedenen Bedingungen 54

Bild A.5 — Nach Gleichung (A.7) berechnete relative Dosisquerverteilungen 57

Bild B.1 — Messwertverhältnis der PTW 60012 Silizium-Diode zur Ionisationskammer PTW 31010 SemiFlex bei 6 MV (oben) und 15 MV (unten) für 5 cm Wassertiefe und 10 cm Wassertiefe, normiert auf die Feldabmessung a = 4 cm 60

Bild C.1 — Dosisprofil, erzeugt durch einen 5 mm breiten Schlitzstrahl von 6-MV-Photonen in 5 cm Wassertiefe, gemessen mit hochauflösenden Detektoren nach Kalibrierung im kleinen Kalibrierfeld 62

Bild C.2 — Experimentell ermittelte rotationssymmetrische laterale Dosis-Ansprechfunktionen K(r) von vier hochauflösenden Detektoren bei 6 MV in 5 cm Wassertiefe [119] 64

Bild C.3 — Beispiele für die Werte von p_v in Längs- und Querrichtung, abzüglich des Summanden 1, zur Berücksichtigung des Volumeneffektes für vier Ionisationskammern als Funktion der Feldabmessung a quadratischer Felder bei nominellen Beschleunigungsspannungen 6 MV und 15 MV 67

Bild D.1 — Korrigierte Messwerte des totalen Streufaktors S_{cp} in Wasser für 6-MV-Photonenstrahlung in Abhängigkeit von der Feldabmessung s eines (streu-)äquivalenten Quadratfeldes und Anpassungskurve nach Gleichung (D.1) 73

Bild D.2 — Messwerte und Monte-Carlo-simulierte Werte des Phantom-Streufaktors S_p(a) für Photonenstrahlung mit der nominellen Beschleunigungsspannung 6 MV und Anpassungsfunktion nach Gleichung (D.2) 74

Tabellen

Tabelle 1 — Abmessungen von zylindrischen Ionisationskammern, die als Bezugsnormale geeignet sind sowie ihre Standardabweichungen σ der lateralen Dosis-Ansprechfunktion und Bezugspunktverschiebungen Δz 20

Tabelle 2 — Parameter zur Bestimmung des Strahlungsqualitätsindex Q, gültig für $0{,}62 < Q < 0{,}8$ 23

Tabelle 3 — Abmessungen von kleinen luftgefüllten zylindrischen Ionisationskammern sowie ihre Standardabweichungen σ der lateralen Dosis-Ansprechfunktion und Bezugspunktverschiebungen Δz 25

Tabelle 4 — Detektorabmessungen und Positionierung flüssigkeitsgefüllter Ionisationskammern, Silizium-Dioden und Diamant-Detektoren sowie deren Bezugspunktverschiebung Δz 26

Tabelle 5 — Einflussgrößen und Kalibrierbedingungen für Anschlussmessungen im kleinen Kalibrierfeld 27

Tabelle 6 — Korrektionsfaktor k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse bei verschiedenen Feldgrößen für einige Detektortypen bei 6 MV-Photonenstrahlung im Fokus-Oberflächenabstand 90 cm in 10 cm Tiefe im Wasserphantom, normiert auf ein Feld 4 cm × 4 cm 34

Tabelle 7 — Korrektionsfaktor k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse bei verschiedenen Feldgrößen für einige Detektortypen bei 10 MV-Photonenstrahlung im Fokus-Oberflächenabstand 90 cm in 10 cm Tiefe im Wasserphantom, normiert auf ein 4 cm × 4 cm Feld 35

Tabelle 8 — Korrektionsfaktor k_{NKK} auf der Zentralstrahlachse für verschiedene Detektortypen bei 6 MV-Photonenstrahlung ohne Ausgleichsfilter (CyberKnife[a]) bei einem Fokus-Oberflächenabstand 78,5 cm in 1,5 cm Tiefe im Wasserphantom für kreisförmige Felder, normiert auf ein Feld mit 6 cm Durchmesser 35

Tabelle C.1 — Beispiele für die bei Auswertungen von Gleichung (C.7) verwendeten Zahlenwerte der Anpassungskoeffizienten α_2, α_4 und α_6 für eine Diode PTW 60008 in 15 cm Tiefe. Die Anpassung erfolgte im Bereich $-6{,}5$ mm ≤ x ≤ +6,5 mm 66

Tabelle C.2 — Beispiele für die bei Auswertungen der Gleichung (C.8) verwendeten Zahlenwerte der Anpassungskoeffizienten β_2, β_4 und β_6 für eine PTW 31010 SemiFlex in 15 cm Tiefe. Die Anpassung erfolgte im Bereich $-6{,}5$ mm ≤ x ≤ +6,5 mm 66

Tabelle C.3 — Beispiele von Störungsfaktoren p_v von Ionisationskammern, berechnet für das Maximum des rotationssymmetrischen Dosisprofils eines roboter-geführten Beschleunigers bei 6 MV in 1,5 cm Wassertiefe bei verschiedenen Kollimator-Durchmessern [104] 68

Tabelle D.1 — Parameter für die analytische Darstellung des totalen Streufaktors S_{cp} in Wasser 72

Tabelle E.1 — Dosismessung im kleinen Kalibrierfeld 77

Tabelle E.2 — Kalibrierung einer Diode im kleinen Kalibrierfeld 78

Tabelle E.3 — Dosismessung mit einer Diode unter Nicht-Kalibrierbedingungen (NKK) 79