

# 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 energiemodierte 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 $k_p$ für die Luftdichte.....	29
7.3 Korrektionsfaktor $k_p$ für die Polarität der Kammer <span>spannung</span> .....	29
7.4 Korrektionsfaktor $k_s$ für unvollständige Sättigung .....	30
7.5 Korrektionsfaktor $k_T$ 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 $k_{Q,R}$ .....	32
8.2.3 Experimentelle Werte des Korrektionsfaktors $k_{Q,R}$ .....	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 $^{60}\text{Co}$ -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 $p_{\text{Co}}$ -Werten für Kompaktkammern aus dem internationalen Dosimetrieprotokoll TRS 398 .....	44
Anhang B (informativ) Herleitung und Berechnung des Korrektionsfaktors $k_T$ .....		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 $\rho_{\text{PMMA}}$ .....	48
C.3.2	Tiefenskalierungsfaktoren $c_{\text{PMMA}}$ und $f_{\text{PMMA}}$ .....	48
C.3.3	Korrektionsfaktor $k_{\text{PMMA}}$ 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 Verschiebungparameter $p$ bei Vernachlässigung der Streuung .....	52
D.3	Literaturwerte für den Verschiebungparameter $p$ .....	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
<b>Bilder</b>	
Bild 1 — Prozentuale Tiefendosisverteilung von Protonenstrahlung mit einer Anfangsenergie von 235 MeV und einer Energiemodulation mit Hilfe eines mechanischen Modulators .....	10
Bild 2 — Berechnete Tiefendosisverteilung von $^{12}\text{C}$ 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] .....	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 $k_{\text{PMMA}}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für 75 MeV Protonen (Palman et al. [32]).....	49
Bild C.2 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{\text{fl,PMMA}}$ von der wasseräquivalenten Tiefe für Protonen (Lühr et al. [25]) .....	50
Bild C.3 — Berechnete Abhängigkeit des Fluenz-Korrektionsfaktors $k_{\text{fl,PMMA}}$ 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 $E_0 = 430$ , $I_w = 78$ , $I_a = 82,8$ und $R_p = 30,9$ . Zusätzlich gezeigt sind die Werte einer Monte Carlo Berechnung für 430 MeV Kohlenstoffionen (Lühr) .....	62
Bild F.3 — Verhältnis des Massen-Stoßbremsvermögens Wasser zu Luft für Protonen und unterschiedliche Ionensorten, entnommen aus TRS 398 [16] .....	63

## Tabellen

<b>Tabelle 1 — Anwendungsbereich der Norm in Bezug auf die praktische Reichweite und in Bezug auf die Eintrittsenergien pro Nukleon (in MeV) .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabelle 2 — Zusammenstellung der Auswahl der Bauart von Ionisationskammern .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle 3 — Zusammenstellung der EINFLUSSGRÖßEN und der Bezugsbedingungen bei der Kalibrierung .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabelle 4 — Zusammenfassung der Referenzbedingungen zur Ermittlung der Energiedosis von Protonen- und Ionenstrahlung .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabelle 5 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors <math>k_{Q,R}</math> für Protonen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität <math>R_{res}</math> .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabelle 6 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors <math>k_{Q,R}</math> für Alphateilchen für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität <math>R_{res}</math> .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabelle 7 — Berechnete Werte des Korrektionsfaktors <math>k_{Q,R}</math> für Ionenstrahlung mit <math>2 &lt; Z \leq 10</math> für unterschiedliche Bauarten von Ionisationskammern als Funktion der Strahlungsqualität <math>R_{res}</math> .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle A.1 — Werte der Koeffizienten a, b und c zur Berechnung des Verhältnisses des Massenstoßbremsvermögens nach Gleichung A.3 für Protonen, Alphateilchen und Ionenstrahlung mit <math>2 \leq Z \leq</math> .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabelle A.2 — Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabelle A.3 — <math>p_{Co}</math> und <math>k'_Q</math> Werte für ausgewählte Flachkammern .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabelle A.4 — Innenradius <math>r</math>, und Werte für <math>k_r</math>, <math>p_{Co}^{[DIN]}</math> sowie <math>k'_Q</math> für ausgewählte Kompaktkammern .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabelle C.1 — Zahlenwerte, die zur Dosisbestimmung in PMMA benötigt werden .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabelle F.1 — Publierte Werte des mittleren Ionisationspotenzials von Wasser und Luft .....</b>	<b>60</b>