

	DIN ISO 4037-3 (VDE 0412-4037-3)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 17.240

**Strahlenschutz –
Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung von
Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung ihres
Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie –
Teil 3: Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern und Messung ihres
Ansprechvermögens als Funktion von Energie und Einfallswinkel
(ISO 4037-3:2019)**

Radiological protection –

X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy –

Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence
(ISO 4037-3:2019)

Radioprotection –

Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons –

Partie 3: Étalonnage des dosimètres de zone et individuels et mesurage de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence
(ISO 4037-3:2019)

Gesamtumfang 82 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für diese Norm ist 2019-11-01.

Inhalt		Seite
Nationales Vorwort.....		9
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten		10
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....		11
Vorwort.....		12
Einleitung		13
1 Anwendungsbereich		14
2 Normative Verweisungen		15
3 Begriffe		15
4 Verfahren, die für alle Orts- und Personendosimeter anwendbar sind		16
4.1 Allgemeine Grundsätze		16
4.1.1 Strahlungsqualitäten.....		16
4.1.2 Empfohlene Konversionskoeffizienten		16
4.1.3 Prüfort und Bezugsort		18
4.1.4 Drehachsen		18
4.1.5 Zustand des zu kalibrierenden Dosimeters.....		18
4.1.6 Mit der Elektronenreichweite zusammenhängende Effekte.....		18
4.2 Verfahren für die Bestimmung des Kalibrierfaktors und des Ansprechvermögens.....		20
4.2.1 Betrieb des Normalmessgeräts		20
4.2.2 Messungen ohne einen Monitor für die Ausgangsleistung der Quelle.....		20
5 Spezielle Verfahren für Ortsdosimeter		20
5.1 Allgemeine Grundsätze		20
5.2 Zu messende Größen.....		21
6 Konversionskoeffizienten für die Ortsdosimetrie		21
6.1 Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H'(0,07)$		21
6.1.1 Monoenergetische Strahlung		21
6.1.2 Serie mit niedriger Luftkermaleistung.....		21
6.1.3 Serie mit schmalem Spektrum		21
6.1.4 Serie mit breitem Spektrum.....		21
6.1.5 Serie mit hoher Luftkermaleistung.....		21
6.1.6 Radionuklide.....		21
6.2 Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H'(3)$		28
6.2.1 Monoenergetische Strahlung		28
6.2.2 Serie mit niedriger Luftkermaleistung.....		28
6.2.3 Serie mit schmalem Spektrum		28

6.2.4	Serie mit breitem Spektrum.....	28
6.2.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung	28
6.2.6	Radionuklide	28
6.2.7	Hochenergetische Photonen.....	28
6.3	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H^*(10)$	35
6.3.1	Monoenergetische Strahlung	35
6.3.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung	35
6.3.3	Serie mit schmalem Spektrum	35
6.3.4	Serie mit breitem Spektrum.....	35
6.3.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung	35
6.3.6	Radionuklide	35
6.3.7	Hochenergetische Photonen.....	35
7	Spezielle Verfahren für Personendosimeter	39
7.1	Allgemeine Grundsätze	39
7.2	Zu messende Größen	39
7.3	Experimentelle Bedingungen	40
7.3.1	Verwendung von Phantomen.....	40
7.3.2	Geometrische Betrachtungen in divergenten Strahlenbündeln	40
7.3.3	Gleichzeitige Bestrahlung von mehreren Dosimetern	41
7.3.4	Einfluss der Orientierung auf die Werte von $H_p(0,07)$	41
7.3.5	Länge des Stabphantoms	42
8	Konversionskoeffizienten für die Personendosimetrie	42
8.1	Allgemeines.....	42
8.2	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H_p(0,07)$ im Stabphantom	43
8.2.1	Monoenergetische Strahlung	43
8.2.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung	43
8.2.3	Serie mit schmalem Spektrum	43
8.2.4	Serie mit breitem Spektrum.....	43
8.2.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung	43
8.2.6	Radionuklide	43
8.3	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H_p(0,07)$ im Säulenphantom	47
8.3.1	Monoenergetische Strahlung	47
8.3.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung	47
8.3.3	Serie mit schmalem Spektrum	47
8.3.4	Serie mit breitem Spektrum.....	47
8.3.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung	47
8.3.6	Radionuklide	47
8.4	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H_p(0,07)$ im ICRU-Quaderphantom.....	51
8.4.1	Monoenergetische Strahlung	51

8.4.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung.....	51
8.4.3	Serie mit schmalen Spektrum	51
8.4.4	Serie mit breitem Spektrum.....	51
8.4.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung.....	51
8.4.6	Radionuklide.....	51
8.5	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H_p(3)$ im Zylinderphantom	54
8.5.1	Monoenergetische Strahlung	54
8.5.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung.....	55
8.5.3	Serie mit schmalen Spektrum	55
8.5.4	Serie mit breitem Spektrum.....	55
8.5.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung.....	55
8.5.6	Radionuklide.....	55
8.5.7	Hochenergetische Photonenstrahlung	55
8.6	Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H_p(10)$ im ICRU-Quaderphantom.....	59
8.6.1	Monoenergetische Strahlung	59
8.6.2	Serie mit niedriger Luftkermaleistung.....	59
8.6.3	Serie mit schmalen Spektrum	59
8.6.4	Serie mit breitem Spektrum.....	59
8.6.5	Serie mit hoher Luftkermaleistung.....	59
8.6.6	Radionuklide.....	59
8.6.7	Hochenergetische Photonenstrahlung	59
9	Unsicherheiten.....	66
9.1	Angabe der Unsicherheiten	66
Anhang A (informativ)	Geschätzte Konversionskoeffizienten für Röntgen-Fluoreszenzstrahlung.....	67
Anhang B (informativ)	Geschätzte Konversionskoeffizienten für Gammastrahlung, die vom Radionuklid ^{241}Am emittiert wird	72
Anhang C (informativ)	Geschätzte Konversionskoeffizienten für gefilterte, kontinuierliche Röntgenstrahlung, die auf dem Qualitätsindex basiert	74
Anhang D (informativ)	Zusätzliche Informationen	77
Literaturhinweise.....		81

Bilder

Bild 1 – Anordnung zur Kalibrierung von Personendosimetern unter einem Winkel α , links: großes Dosimeter, rechts: kleines Dosimeter.....	19
Bild 2 – Variation von $H_p(0,07; E; 60^\circ)/H_p(0,07; E; 0^\circ)$ für das Stabphantom (19 mm) und das Säulenphantom (73 mm) als Funktion der Photonenenergie im gleichen Strahlungsfeld	42
Bild D.1 – Beispiel einer Tiefendosiskurve im hochenergetischen R-F-Photonenfeld, siehe Literaturhinweis [25]	79

Tabellen

Tabelle 1 – Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; E, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld).....	22
Tabelle 2 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; L, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	23
Tabelle 3 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; N, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	24
Tabelle 4 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; W, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	25
Tabelle 5 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; H, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	26
Tabelle 6 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; S, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	27
Tabelle 7 – Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; E, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld)	29
Tabelle 8 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; L, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	30
Tabelle 9 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; N, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	31
Tabelle 10 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; W, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	32
Tabelle 11 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; H, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	33
Tabelle 12 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; S, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	34
Tabelle 13 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K}(3; R, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3)$	34
Tabelle 14 – Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; E)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld)	36
Tabelle 15 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; L)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	37
Tabelle 16 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; N)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	37
Tabelle 17 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; W)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	38
Tabelle 18 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; H)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	38
Tabelle 19 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; S)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	39
Tabelle 20 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; R)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	39
Tabelle 21 – Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; E)_{\text{rod}}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld) und das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0°	44

Tabelle 22 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; L)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	45
Tabelle 23 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; N)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	45
Tabelle 24 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; W)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	46
Tabelle 25 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; H)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	46
Tabelle 26 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	47
Tabelle 27 – Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; E)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld) und das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0°	48
Tabelle 28 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; L)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	49
Tabelle 29 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; N)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	49
Tabelle 30 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; W)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	50
Tabelle 31 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; H)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	50
Tabelle 32 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom für einen Strahleneinfallswinkel von 0° bis 60°	51
Tabelle 33 – Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; E; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld) und das ICRU-Quaderphantom	52
Tabelle 34 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; L; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom	52
Tabelle 35 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; N; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom	53
Tabelle 36 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; W; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom	53
Tabelle 37 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; H; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom	54
Tabelle 38 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom	54

Tabelle 39 – Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; E; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld) und das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	56
Tabelle 40 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; L; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	57
Tabelle 41 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; N; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	57
Tabelle 42 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; W; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	58
Tabelle 43 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; H; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	58
Tabelle 44 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; S; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	58
Tabelle 45 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(3; R; \alpha)_{cyl}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(3)$ für das Zylinderphantom aus ICRU-Gewebe	59
Tabelle 46 – Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; E; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld) und das ICRU-Quaderphantom	60
Tabelle 47 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; L; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	61
Tabelle 48 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; N; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	62
Tabelle 49 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; W; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	63
Tabelle 50 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; H; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	64
Tabelle 51 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; S; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	65
Tabelle 52 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; R; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	65
Tabelle A.1 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; F, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$	68
Tabelle A.2 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; F)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$	69
Tabelle A.3 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; F)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom, Bezugsabstand 2 m	69
Tabelle A.4 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; F)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom	70
Tabelle A.5 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; F; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom, Bezugsabstand 2 m	71
Tabelle A.6 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; F; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom, Bezugsabstand 2 m	71
Tabelle B.1 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; S, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$, Bezugsabstand 2 m	72
Tabelle B.2 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10; S)$ von Luftkerma, K_a , zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$, Bezugsabstand 2 m	72

Tabelle B.3 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S)_{rod}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Stabphantom, Bezugsabstand 2 m	73
Tabelle B.4 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S)_{pill}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das Säulenphantom, Bezugsabstand 2 m	73
Tabelle B.5 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(0,07; S; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(0,07)$ für das ICRU-Quaderphantom, Bezugsabstand 2 m	73
Tabelle B.6 – Geschätzte Konversionskoeffizienten $h_{pK}(10; S; \alpha)_{slab}$ von Luftkerma, K_a , zur Mess-Äquivalentdosis $H_p(10)$ für das ICRU-Quaderphantom	73
Tabelle C.1 – Geschätzte Konversionskoeffizienten zur Mess-Äquivalentdosis für die Q_1 -0,6-Serie	74
Tabelle C.2 – Geschätzte Konversionskoeffizienten zur Mess-Äquivalentdosis für die Q_1 -0,7-Serie	75
Tabelle C.3 – Geschätzte Konversionskoeffizienten zur Mess-Äquivalentdosis für die Q_1 -0,8-Serie	75
Tabelle C.4 – Geschätzte Konversionskoeffizienten zur Mess-Äquivalentdosis für die Q_1 -0,9-Serie	76
Tabelle D.1 – Bezugsbedingungen und Standardprüfbedingungen für radiologische Parameter	77
Tabelle D.2 – Bezugsbedingungen und Standardprüfbedingungen für andere Parameter	77

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN ISO 4037-3 (VDE 0412-4037-3):2017-08.

Die Internationale Norm ISO 4037-3:2019, *Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*, ist unverändert in diese Norm übernommen worden.

Diese Internationale Norm wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Für das vorliegende Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/GK 852 „Strahlenschutzdosimeter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), zuständig.

Die Reihe DIN ISO 4037 (VDE 0412-4037) besteht mit dem allgemeinen Titel *Strahlenschutz – Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung ihres Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: *Strahlungseigenschaften und Erzeugungsmethoden*
- Teil 2: *Strahlenschutz-Dosimetrie in den Energiebereichen 8 keV bis 1,3 MeV und 4 MeV bis 9 MeV*
- Teil 3: *Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern und Messung ihres Ansprechvermögens als Funktion von Energie und Einfallswinkel*
- Teil 4: *Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern in niederenergetischen Röntgen-Referenzstrahlungsfeldern*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	–	DIN 6818-1:2004-08	–
–	ISO 6980:1996 <i>ersetzt durch:</i>	–	–
–	ISO 6980-1:2006	–	–
–	ISO 6980-2:2004	–	–
–	ISO 6980-3:2006	–	–
–	ISO 4037-1:2019	DIN ISO 4037-1 (VDE 0412-4037-1):2019-11	VDE 0412-4037-1
–	ISO 4037-2:2019	DIN ISO 4037-2 (VDE 0412-4037-2):2019-11	VDE 0412-4037-2
–	ISO 4037-4:2019	DIN ISO 4037-4 (VDE 0412-4037-4):2019-11	VDE 0412-4037-4
EN ISO 29661:2017	ISO 29661:2012 + A1:2015	DIN EN ISO 29661 (VDE 0412-661):2018-01	VDE 0412-661
EN ISO 80000-10	ISO 80000-10	DIN EN ISO 80000-10	–
–	ISO/IEC-Guide 98-3:2008	–	–
–	Siehe jedoch IEC/TR 62461:2015	DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000):2015-07	VDE 0493-1000
–	ISO/IEC-Guide 99	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN 6818-1:2004-08, *Strahlenschutzdosimeter – Teil 1: Allgemeine Regeln*

DIN ISO 4037-1 (VDE 0412-4037-1):2019-11, *Strahlenschutz – Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung ihres Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie – Teil 1: Eigenschaften und Erzeugung der Strahlung (ISO 4037-1:2019)*

DIN ISO 4037-2 (VDE 0412-4037-2):2019-11, *Strahlenschutz – Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung ihres Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie – Teil 2: Strahlenschutz-Dosimetrie in den Energiebereichen 8 keV bis 1,3 MeV und 4 MeV bis 9 MeV (ISO 4037-2:2019)*

DIN ISO 4037-4 (VDE 0412-4037-4):2019-11, *Strahlenschutz – Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung ihres Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie – Teil 4: Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern in niedrigenergetischen Röntgen-Referenzstrahlungsfeldern (ISO 4037-4:2019)*

DIN EN ISO 29661 (VDE 0412-661):2018-01, *Referenzstrahlungsfelder für den Strahlenschutz – Definitionen und grundlegende Konzepte (ISO 29661:2012, einschließlich Amd 1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 29661:2017*

DIN EN ISO 80000-10, *Größen und Einheiten – Teil 10: Atom- und Kernphysik*

DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000):2015-07, *Strahlenschutz-Messgeräte – Bestimmung der Unsicherheit beim Messen (IEC/TR 62461:2015)*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, zur Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitees ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“, Unterkomitee SC 2 „Radiological protection“ erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 4037-3:1999), gegenüber der sie eine technische Überarbeitung darstellt.

Eine Liste aller Teile der Normenreihe ISO 4037 ist auf der ISO-Internetseite zu finden.

Einleitung

Die Überarbeitung dieses Dokuments berücksichtigt die Verbesserungen von Hochspannungsgeneratoren von 1996 bis 2017 (z. B. die Verwendung von Hochfrequenz-Schaltnetzteilen, die eine nahezu konstante Spannung erzeugen) und die Spektrumsmessungen an Bestrahlungseinrichtungen, die mit solchen Generatoren ausgerüstet sind (z. B. den Spektrenkatalog von Ankerhold [1]). Sie berücksichtigt auch alle veröffentlichten Informationen, die das Ziel haben, die Anforderungen an die technischen Parameter der Referenzstrahlungsfelder an die angestrebte Gesamt-Messunsicherheit von etwa 6 % bis 10 % für die phantombezogenen Messgrößen der Internationalen Kommission für Einheiten und Messungen [en: International Commission on Radiation Units and Measurements] (ICRU) [2] anzupassen. Sie ändert das generelle Konzept der vorhandenen ISO 4037 nicht.

ISO 4037 konzentriert sich auf Referenzstrahlungsfelder und ist in vier Teile unterteilt. ISO 4037-1 beschreibt die Methoden zur Erzeugung und Charakterisierung der Referenzstrahlungsfelder in Bezug auf die Größen spektrale Photonenfluenz und Luftkerma frei in Luft. ISO 4037-2 beschreibt die Dosimetrie der Referenzstrahlungsqualitäten in Bezug auf Luftkerma und in Bezug auf die phantombezogenen Messgrößen der Internationalen Kommission für Einheiten und Messungen [en: International Commission on Radiation Units and Measurements] (ICRU) [2]. ISO 4037-3 beschreibt die Verfahren zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten in Bezug auf die phantombezogenen Messgrößen der ICRU [2]. ISO 4037-4 beschreibt spezielle Gesichtspunkte und zusätzliche Anforderungen für die Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten in niederenergetischen Röntgen-Referenzstrahlungsfeldern, dies sind Referenzstrahlungsfelder mit einer Erzeugungsspannung von 30 kV oder weniger.

Die Bestimmung des Ansprechvermögens von Dosimetern und Dosisleistungs-Messgeräten ist im Wesentlichen ein dreistufiger oder zweistufiger Prozess. Zunächst wird eine Basisgröße, z. B. Luftkerma frei in Luft, am Prüfort gemessen. Dann wird die entsprechende Mess-Äquivalentdosisgröße durch die Anwendung desjenigen Konversionskoeffizienten bestimmt, der die gemessene Größe auf die gewählte Mess-Äquivalentdosisgröße umrechnet. Diese beiden Schritte können zu einem Schritt zusammengefasst sein, wenn ein Normal für die phantombezogenen Messgrößen verwendet wird. Schließlich wird der Prüfling zur Bestimmung seines Ansprechvermögens am Prüfort platziert. Je nach Art des zu prüfenden Dosimeters erfolgt die Bestrahlung entweder für Personendosimeter auf einem Phantom oder für Ortsdosimeter frei in der Luft. Für die Orts- und Personendosimetrie beschreibt dieses Dokument Details der Methoden und stellt für Photonen, falls anwendbar, die empfohlenen Konversionskoeffizienten für die Bestimmung des Ansprechvermögens von Dosimetern und Dosisleistungs-Messgeräten in Bezug auf die phantombezogenen Mess-Äquivalentdosisgrößen der ICRU zur Verfügung. Die Verwendung dieser empfohlenen Konversionskoeffizienten erfordert, dass die entsprechende Strahlungsqualität des Referenzfelds, das für die Bestrahlung verwendet wird, validiert ist. Für alle nicht validierten Strahlungsqualitäten können die empfohlenen Konversionskoeffizienten nicht verwendet werden. Für diese Strahlungsqualitäten sollte entweder die Dosimetrie in Bezug auf die phantombezogenen Mess-Äquivalentdosisgrößen der ICRU – siehe ISO 4037-2:2019, Abschnitt 6 – oder die Spektrometrie – siehe ISO 4037-2:2019, Anhang B – durchgeführt werden. Für Röhrenspannungen von 30 kV oder weniger sind in ISO 4037-4 besondere Anforderungen angegeben.

Die in ISO 29661 beschriebenen allgemeinen Verfahren werden in diesem Dokument so weit wie möglich verwendet. Auch sind die verwendeten Symbole in Übereinstimmung mit ISO 29661.

**Strahlenschutz –
Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder zur Kalibrierung
von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten und zur Bestimmung
ihres Ansprechvermögens als Funktion der Photonenenergie –
Teil 3: Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern und Messung
ihres Ansprechvermögens als Funktion von Energie und Einfallswinkel**

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gibt zusätzliche Verfahren und Daten zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten an, die im Strahlenschutz für die Orts- und Personendosis-Überwachung verwendet werden. Das allgemeine Verfahren für die Kalibrierung und die Bestimmung des Ansprechvermögens von Strahlenschutz-Dosimetern und -Dosisleistungsmessgeräten ist in [ISO 29661](#) beschrieben, und ihm wird soweit wie möglich gefolgt. Zu diesem Zweck werden die in [ISO 4037-1](#) spezifizierten Photonen-Referenzstrahlungsfelder mit mittleren Energien zwischen 8 keV und 9 MeV verwendet. In [Anhang D](#) werden einige zusätzliche Informationen über Bezugsbedingungen, geforderte Standardprüfbedingungen und Effekte im Zusammenhang mit Elektronenreichweiten angegeben. Für die Personendosimetrie werden sowohl Ganzkörper- als auch Teilkörper-Dosimeter und für die Ortsdosimetrie sowohl tragbare als auch fest installierte Dosis(leistungs)messgeräte abgedeckt.

Im Referenzstrahlungsfeld ist Sekundärteilchengleichgewicht geladener Teilchen notwendig, obwohl dieses nicht immer im Arbeitsplatzfeld, für das das Dosimeter kalibriert werden soll, vorhanden ist. Dies gilt insbesondere bei Photonenenergien ohne inhärentes Sekundärteilchengleichgewicht in der Bezugstiefe d , diese Eigenschaft hängt von der aktuellen Kombination von Energie und Bezugstiefe d ab. Elektronen mit Energien oberhalb von 65 keV, 0,75 MeV und 2,1 MeV können jeweils gerade 0,07 mm, 3 mm und 10 mm von ICRU-Gewebe durchdringen, und die Strahlungsqualitäten mit Photonenenergien oberhalb dieser Werte werden als Strahlungsqualitäten ohne inhärentes Sekundärteilchengleichgewicht für die in diesen Tiefen definierten Größen angesehen. Dieses Dokument behandelt auch die Bestimmung des Ansprechvermögens als Funktion von Photonenenergie und Strahleneinfallswinkel. Derartige Messungen können einen Teil einer Bauartprüfung darstellen, in deren Verlauf die Auswirkung weiterer Einflussgrößen auf das Ansprechvermögen untersucht wird.

Dieses Dokument gilt nur für Luftkermaleistungen größer als 1 $\mu\text{Gy/h}$.

Dieses Dokument deckt nicht die Vor-Ort-Kalibrierung von fest installierten Ortsdosimetern ab.

Es werden die Verfahren beschrieben, die für die verschiedenen Arten von Dosimetern anzuwenden sind. Es werden Empfehlungen angegeben, welche Phantome zu verwenden und welche Konversionskoeffizienten anzuwenden sind. Empfohlene Konversionskoeffizienten werden nur für übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder angegeben, die in [ISO 4037-1:2019](#), [Abschnitte 4 bis 6](#), angegeben sind. [ISO 4037-1:2019](#), [Anhänge A](#) und [B](#), beide informativ, beinhalten Fluoreszenzstrahlungen und die Gammastrahlung des Radionuklids ^{241}Am , S-Am, für die detaillierte veröffentlichte Informationen nicht verfügbar sind. [ISO 4037-1:2019](#), [Anhang C](#), enthält zusätzliche Röntgenstrahlungsfelder, die mittels des Qualitätsindex spezifiziert sind. Für alle diese Strahlungsqualitäten werden in den informativen [Anhängen A bis C](#) Konversionskoeffizienten angegeben, aber nur als grobe Schätzwerte, da die Gesamtmessunsicherheit dieser Konversionskoeffizienten in praktischen Referenzstrahlungsfeldern nicht bekannt ist.

ANMERKUNG Der Begriff Dosimeter dient als Oberbegriff für jedes Dosis- oder Dosisleistungs-Messgerät für die Personen- oder Ortsdosimetrie.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4037-1, *Radiological protection – X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1: Radiation characteristics and production methods*

ISO 4037-2:2019, *Radiological protection – X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and from 4 MeV to 9 MeV*

ISO 4037-4:2019, *Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 4: Calibration of area and personal dosimeters in low energy X reference radiation fields*

ISO 29661, *Reference radiation fields for radiation protection – Definitions and fundamental concepts*

ISO 80000-10, *Quantities and units – Part 10: Atomic and nuclear physics¹*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach **ISO 4037-1**, **ISO 4037-2**, **ISO 29661**, **ISO 80000-10**, **ISO/IEC Guide 99** und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Rückstreufaktor

(en: back-scatter factor)

Quotient aus Luftkerma vor dem Phantom durch Luftkerma am gleichen Ort frei in Luft ohne Phantom. Das Feld wird als ausgerichtet (en: unidirektional) mit einer Einfallrichtung senkrecht zur Phantomoberfläche angenommen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert des Rückstreufaktors hängt vom Prüfort (Abstand von der Oberfläche und von der Strahlachse), vom Strahldurchmesser, von Größe und Material des Phantoms und von der Strahlungsenergie ab.

¹ In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: ISO/Guide 80000-10:2019.

4 Verfahren, die für alle Orts- und Personendosimeter anwendbar sind

4.1 Allgemeine Grundsätze

4.1.1 Strahlungsqualitäten

Alle Strahlungsqualitäten müssen aus denjenigen in [ISO 4037-1](#) ausgewählt und nach [ISO 4037-1](#) erzeugt werden. Im Allgemeinen ist es sinnvoll, eine geeignete, validierte Strahlungsqualität unter Berücksichtigung der für das zu prüfende Dosimeter angegebenen Bereiche für Energie und Dosis oder Dosisleistung auszuwählen.

4.1.2 Empfohlene Konversionskoeffizienten

Wenn für die dosimetrischen Messungen nur ein Normalmessgerät für die Luftkerma, K_a , frei in Luft verwendet wird, müssen für alle anderen phantombezogenen Mess-Äquivalentdosisgrößen $H^*(10)$, $H_p(10)$, $H^*(3)$, $H_p(3)$, $H^*(0,07)$ und $H_p(0,07)$ entsprechende Konversionskoeffizienten auf die gemessenen Luftkerma-Werte angewendet werden. Diese Konversionskoeffizienten müssen im Prinzip durch Spektrometrie für jedes Referenzfeld, jede Messgröße und, falls zutreffend, für jedes Phantom und jeden Strahleneinfallswinkel bestimmt werden.

Die Luftkerma ist durch die Summe von Luft-Stoßkerma, $K_{a, \text{coll}}$, und Luft-Strahlungskerma, $K_{a, \text{rad}}$, gegeben: $K_a = K_{a, \text{coll}} + K_{a, \text{rad}}$. Die Luft-Stoßkerma, $K_{a, \text{coll}}$, ergibt sich aus der Luftkerma mittels der Gleichung $K_{a, \text{coll}} = K_a \cdot (1 - g_a)$, dabei ist g_a der Energieanteil an den durch Photonen freigesetzten Elektronen, der durch Strahlungsprozesse (Bremsstrahlung, Fluoreszenzstrahlung oder Vernichtungsstrahlung von Positronen) abgegeben wird. Werte für $(1 - g_a)$ sind in [ISO 4037-2](#), oberer Teil von [Tabelle 2](#), aufgelistet. Im unteren Teil jener [Tabelle 2](#) sind Werte für die Referenz-Strahlungsqualitäten S-Cs, S-Co, R-C und R-F angegeben. Diese Werte sind entweder interpoliert oder für S-Co aus Roos und Grosswendt [8]^{N1} und für R-C und R-F aus PTB-Dos-32^{N2} entnommen. Für Wasser oder Luft und für Energien kleiner als 1,3 MeV ist g_a kleiner als 0,003 und für Energien kleiner als 1,5 MeV kann der Wert von $(1 - g_a)$ als Eins angenommen werden, siehe ICRU-Report 47 [9], A.2.1.

Die Luft-Stoßkerma ist der Anteil, der zur Produktion von Elektronen führt, die ihre Energie durch Ionisation in dem Material in oder nahe bei den Elektronenspuren abgeben – und ergibt sich bei einigen Monte-Carlo-Berechnungen als die abgegebene Energie. In [ISO 29661](#) wird dies so interpretiert, dass die originalen Konversionskoeffizienten, die aus dem ICRU-Report 57 abgeleitet wurden, sich tatsächlich auf die Luft-Stoßkerma beziehen. Diese Herangehensweise wurde in ISO 4037 folgenderweise übernommen: Für Energien bis einschließlich derjenigen des Referenzstrahlungsfelds S-Co wurden die originalen Werte übernommen, da die Anwendung des $(1 - g_a)$ -Faktors die Zahlenwerte nicht ändert, sofern sie mit drei signifikanten Ziffern angegeben werden. Die in ISO 4037-3 für R-C und R-F angegebenen Konversionskoeffizienten unterscheiden sich daher von denjenigen, die in ICRU und der vorherigen Version von ISO 4037-3 angegeben sind, um den Faktor $(1 - g_a) = 0,987$ bzw. $(1 - g_a) = 0,978$.

Für die Tabellen in den [Abschnitten 6](#) und [8](#) wird der Bestrahlungsabstand vom Brennfleck der Röntgenröhre (oder von der geometrischen Mitte der Radionuklidquelle) bis zum Prüfort gemessen, an dem der Bezugspunkt des Dosimeters platziert werden muss. Für die R-C- und R-F-Strahlungsqualitäten muss der Bestrahlungsabstand von der Mitte des Targets, von dem die Strahlung ausgeht, bis zum Prüfort gemessen werden. Für die Röntgenstrahlungsqualitäten sind empfohlene Konversionskoeffizienten, sofern vorhanden, für zwei Abstände von 1,0 m und 2,5 m in separaten Spalten angegeben, auch wenn sie sich nur in der letzten Stelle unterscheiden. Dies soll die Einführung von zusätzlichen Unsicherheiten verhindern. Wenn diese empfohle-

^{N1} Nationale Fußnote: Der Literaturhinweis bezieht sich irrtümlicherweise auf [8] in [ISO 4037-2:2019](#), der lautet: Roos, M. und Grosswendt, B., 1984, *Bremsstrahlungs corrections for the dosimetry of gamma radiation from a Co-60 source for teletherapy*, 15. scientific conference of the Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik e.V., ISBN 3-925218-01-7, (Ed. Th. Schmidt) p 371-374.

^{N2} Nationale Fußnote: Dieser Literaturhinweis fehlt in der Aufstellung im Anhang. Er lautet: PTB-Dos-32, 1999, L. Büermann, S. Guldbakke und H.-M. Kramer, *Calibration of personal and area dosimeters in high-energy photon fields*, ISBN 3-89701-285-5.

nen Konversionskoeffizienten für beide Abstände identisch sind, sind die zwei Tabellenzellen zusammengeführt und es wird ein einziger empfohlener Konversionskoeffizient angegeben. Dies bedeutet, dass der empfohlene Konversionskoeffizient zumindest für Entfernungen von 1 m bis 2,5 m verwendet werden kann. Wenn die empfohlenen Konversionskoeffizienten für die Abstände von 1 m und 2,5 m verschieden sind und ein empfohlener Konversionskoeffizient für andere Abstände benötigt wird, müssen die gegebenen Werte für die empfohlenen Konversionskoeffizienten entsprechend interpoliert oder extrapoliert werden. Sind beide Werte sehr ähnlich, z. B. nur um 2 % oder weniger unterschiedlich, so kann eine lineare Interpolation verwendet werden. Wenn ein Bereich für den Abstand angegeben ist, können die Werte für die empfohlenen Konversionskoeffizienten unverändert über diesen Bereich der Abstände verwendet werden. Aus den vorliegenden Daten in den Tabellen kann gefolgert werden, dass es für kollimierte Strahlungen mit mittleren Energien oberhalb von etwa 40 keV keinen Unterschied in den empfohlenen Konversionskoeffizienten für beide Abstände gibt. Die Differenz steigt mit abnehmender Photonenenergie, zunehmender Definitionstiefe, zunehmender Breite der Spektren und zunehmendem Strahleneinfallswinkel.

In den Abschnitten 6 und 8 und in den Anhängen A bis C wird für die Darstellung der empfohlenen Konversionskoeffizienten eine Notation verwendet, die im Folgenden erläutert wird: das Beispiel $h'_{K}(0,07; E, \alpha)$ bezieht sich auf den Konversionskoeffizienten von Luftkerma K_a zur Richtungs-Äquivalentdosis in einer Tiefe von 0,07 mm für monoenergetische und unidirektionale Photonenstrahlung mit der Energie E und dem Winkel α zwischen der Bezugsrichtung des Dosimeters und der Richtung der einfallenden Strahlung. Der Strich wird für die Umgebungs-Äquivalentdosis durch einen Stern ersetzt oder für die Personen-Äquivalentdosis durch den Buchstaben p als Index. Für die Personen-Äquivalentdosis wird die Art des Phantoms durch einen Index am Ende angezeigt. Die Indizes rod, pill, cyl und slab stehen entsprechend für das Stabphantom (en: rod phantom), das Säulenphantom (en: pillar phantom), das Zylinderphantom (en: cylinder phantom) und das Quaderphantom (en: slab phantom). Entsprechend dem obigen Beispiel wäre dies für das Stabphantom $h_{pK}(0,07; E, \alpha)_{rod}$. Für Strahlungsqualitäten, U, mit endlicher spektraler Breite wird das Symbol E durch den Buchstaben U ersetzt, um alle Strahlungsqualitäten zu bezeichnen, oder durch den spezifischen Buchstaben nach ISO 4037-1:2019, Tabelle 1, um eine bestimmte Serie der Referenzstrahlungen zu bezeichnen, z. B. L, N, W, H, S oder R.

Die in den Tabellen 1, 7, 14, 21, 27, 33, 39 und 46 angegebenen Zahlenwerte der Konversionskoeffizienten für monoenergetische und unidirektionale Strahlung müssen als frei von Unsicherheit angesehen werden. Sofern nicht anders angegeben, muss für die empfohlenen Konversionskoeffizienten in den verbleibenden Tabellen der Abschnitte 6 und 8 angenommen werden, dass ihnen eine Standardunsicherheit von 2 % ($k = 1$) zugeordnet werden muss. Diese Unsicherheit berücksichtigt Unterschiede zwischen dem für die Berechnung der Konversionskoeffizienten verwendeten Spektrum und dem am Prüfort vorhandenen Spektrum, siehe Literaturhinweise [1] und [3].

Für Röhrenspannungen von 30 kV oder weniger, und vor allem für die Serien mit breitem Spektrum und mit hoher Luftkermaleistung, hängen die Zahlenwerte der empfohlenen Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10, U)$ und $h_{pK}(10, U, \alpha)$ stark von der Luftdichte ab, das heißt von der Lufttemperatur, dem Luftdruck und der Luftfeuchte. Die angegebenen Werte der empfohlenen Konversionskoeffizienten gelten nur für Referenzbedingungen. Jede Abweichung muss nach ISO 4037-4:2019, Anhang A korrigiert werden. Für diese Strahlungsqualitäten sind detaillierte Informationen und zusätzliche Anforderungen in ISO 4037-4 gegeben. Wenn eine der in ISO 4037-1:2019, Tabelle 1, angegebenen Strahlungsqualitäten nicht in einer der Tabellen für die empfohlenen Konversionskoeffizienten $h^*_{K}(10, U)$ und $h_{pK}(10, U, \alpha)$ angegeben ist, so bedeutet dies, dass keine zuverlässigen Werte angegeben werden können.

ANMERKUNG Bei niedrigen Photonenenergien können kleine Unterschiede in der Energieverteilung zu signifikanten Unterschieden in den numerischen Werten dieser Konversionskoeffizienten führen, da der Hauptbeitrag zur Luftkerma aus dem niederenergetischen Teil des Spektrums stammt, während der Hauptbeitrag zu $H^*(10)$ und $H_p(10)$ aus dem hochenergetischen Teil des Spektrums stammt, siehe Literaturhinweis [4]. Unterschiede in der Energieverteilung von einer Versuchsanordnung zu einer anderen können aufgrund einer Vielzahl von Faktoren entstehen, z. B. durch Anodenwinkel, Rauheit der Anode, auf dem Röhrenfenster aufgedampftes Wolfram, Vorhandensein einer Monitorkammer im Strahl, Abweichung der Dicke der Filter von den Sollwerten, Länge des Luftwegs zwischen Brennfleck und Prüfort und Luftdruck zum Zeitpunkt der Messung. Alle diese Punkte sind in ISO 4037-4 berücksichtigt.

4.1.3 Prüfort und Bezugsort

Messungen müssen durchgeführt werden, indem der Bezugspunkt des Dosimeters am Prüfort platziert wird. Der Bezugspunkt und die Bezugsrichtung des zu prüfenden Dosimeters sollten vom Hersteller in Übereinstimmung mit **ISO 29661** oder durch Vereinbarung zwischen Hersteller und Prüflabor festgelegt werden. Der Referenzpunkt sollte auf der Außenseite des Dosimeters markiert sein. Wenn sich dies als unmöglich erweist, sollte der Bezugspunkt in den mit dem Messgerät gelieferten Begleitpapieren angegeben werden. Alle angegebenen Abstände zwischen Strahlungsquelle und Dosimeter sind als Abstand zwischen Strahlungsquelle und Bezugspunkt des Dosimeters anzusehen.

Sind keine Informationen über den Referenzpunkt oder die Referenzrichtung des zu prüfenden Dosimeters vorhanden, müssen diese Parameter durch das Prüflabor festgelegt werden. Sie sind eindeutig in der Prüfbescheinigung anzugeben.

ANMERKUNG Für den Fall einer Punktquelle und bei Abwesenheit von Streustrahlung und Photonenabsorption ändert sich die Dosisleistung mit dem Kehrwert des Quadrats des Abstands R . Eine fehlerhafte Platzierung des Bezugspunkts des Dosimeters im Strahl um den Betrag ΔR in Strahlrichtung führt in der Entfernung R zu einem relativen Fehler des Kalibrierfaktors von $2\Delta R/R$. Ein Versatz senkrecht zur Strahlachse um Δr führt zu einem relativen Fehler von $(\Delta r/R)^2$. In Anwesenheit von Streustrahlung sowie für Quellen mit endlichen Abmessungen sind die oben genannten Näherungen auf Werte von ΔR oder Δr begrenzt, die klein sind im Vergleich zu R .

4.1.4 Drehachsen

Für die Prüfung des Einflusses der Strahleneinfallrichtung ist eine Drehung des Ortsdosimeters oder der Kombination von Personendosimeter und Phantom erforderlich. Die Änderung des Ansprechvermögens mit der Strahleneinfallrichtung muss durch eine Drehung um mindestens zwei Achsen des Dosimeters geprüft werden. Wenn zwei Achsen verwendet werden, müssen die Drehachsen zueinander senkrecht sein. Die Drehachsen müssen durch den Bezugspunkt des Dosimeters gehen. Zur Veranschaulichung der Geometrie siehe **Bild 1**.

4.1.5 Zustand des zu kalibrierenden Dosimeters

Vor der Durchführung einer Kalibrierung muss das Dosimeter untersucht werden, um sicherzustellen, dass es in einem guten gebrauchsfähigen Zustand und frei von radioaktiver Kontamination ist. Die Setup-Prozedur und die Betriebsart des Dosimeters müssen in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung sein.

4.1.6 Mit der Elektronenreichweite zusammenhängende Effekte

Elektronen mit Energien oberhalb von 65 keV, 0,75 MeV und 2,1 MeV können jeweils genau 0,07 mm, 3 mm und 10 mm ICRU-Gewebe durchdringen, siehe ICRU-Report 56 [5]. In Photonen-Referenzstrahlungsfeldern, die Sekundärelektronen mit diesen oder höheren Energien erzeugen können, hängen der Größenwert und die Anzeige von Effekten ab, die mit der Elektronenreichweite zusammenhängen, und dies muss berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist auch der Strahldurchmesser für den Aufbau des Elektronengleichgewichts von Bedeutung. Siehe Abschnitt **D.2** für eine ausführlichere Diskussion dieses Themas. Die in solchen Fällen anzuwendende Prozedur wird im Folgenden beschrieben.

Für die mit Röntgenstrahlung erzeugten Referenzstrahlungsfelder und für alle phantombezogenen Messgrößen, $H'(0,07)$ und $H_p(0,07)$, $H'(3)$ und $H_p(3)$ als auch für $H^*(10)$ und $H_p(10)$, sind keine besonderen Vorkehrungen erforderlich. Auf Grund der Anwesenheit von Luft und von anderen Materialien, z. B. der Monitor-kammer, ist der Dosisaufbau in der Bezugstiefe in praktisch allen Situationen abgeschlossen, sofern die Photonenenergie kleiner als etwa 250 keV ist, siehe Literaturhinweis [4].

Bei Photonenfeldern mit Energien im Bereich von derjenigen von S-Cs bis zu 9 MeV und für alle phantombezogenen Messgrößen muss zuerst der Größenwert am Prüfort bestimmt werden, wie in **ISO 4037-2** für übereinstimmende oder charakterisierte Referenzstrahlungsfelder beschrieben. Für übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder müssen die in diesem Dokument empfohlenen Konversionskoeffizienten verwendet werden. Dann muss der Referenzpunkt des Dosimeters an den Prüfort gebracht werden, und es muss eine Platte aus Polymethylmethacrylat (PMMA), deren Dicke einen vollständigen Dosisaufbau sicherstellt, vor dem Dosimeter (für Ortsdosimeter) oder vor der Kombination aus Dosimeter und Phantom (für Personendosimeter) posi-

tioniert werden. Die erforderliche Dicke ist in den Tabellen der Konversionskoeffizienten in den Abschnitten 6 und 8 angegeben. Die Änderung des Strahlungsfelds durch das Einbringen der PMMA-Platte sollte berücksichtigt werden, indem der Konversionskoeffizient mit dem Korrekturfaktor k_{PMMA} multipliziert wird, der in den Tabellen in den Abschnitten 6 und 8 angegeben ist. Die Querschnittsfläche der Platte muss mindestens $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ betragen und bei Ortsdosimetern das zu prüfende Dosimeter um mindestens den einfachen Abstand zwischen der Platte und dem Mittelpunkt des Dosimeters (dem Bezugspunkt des Dosimeters) überragen. Die Dicke der Platte muss den Angaben in den Tabellen entsprechen. Die Platte muss so nahe wie möglich am Dosimeter und senkrecht zur Strahleneinfallsrichtung positioniert werden, siehe das Beispiel in Bild 1.

ANMERKUNG 1 Für die S-Cs- und S-Co-Referenzstrahlungsfelder ist eine PMMA-Platte von 3 mm Dicke ausreichend, um Sekundärelektronengleichgewicht zu erzeugen [6].

ANMERKUNG 2 Zum Beispiel muss bei einem kugelförmigen Ortsdosimeter mit 30 cm Durchmesser und dem Bezugspunkt des Dosimeters in seiner Mitte die Größe der Aufbauplatte mindestens $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ betragen, wenn sie so nah wie möglich am Dosimeter positioniert wird.

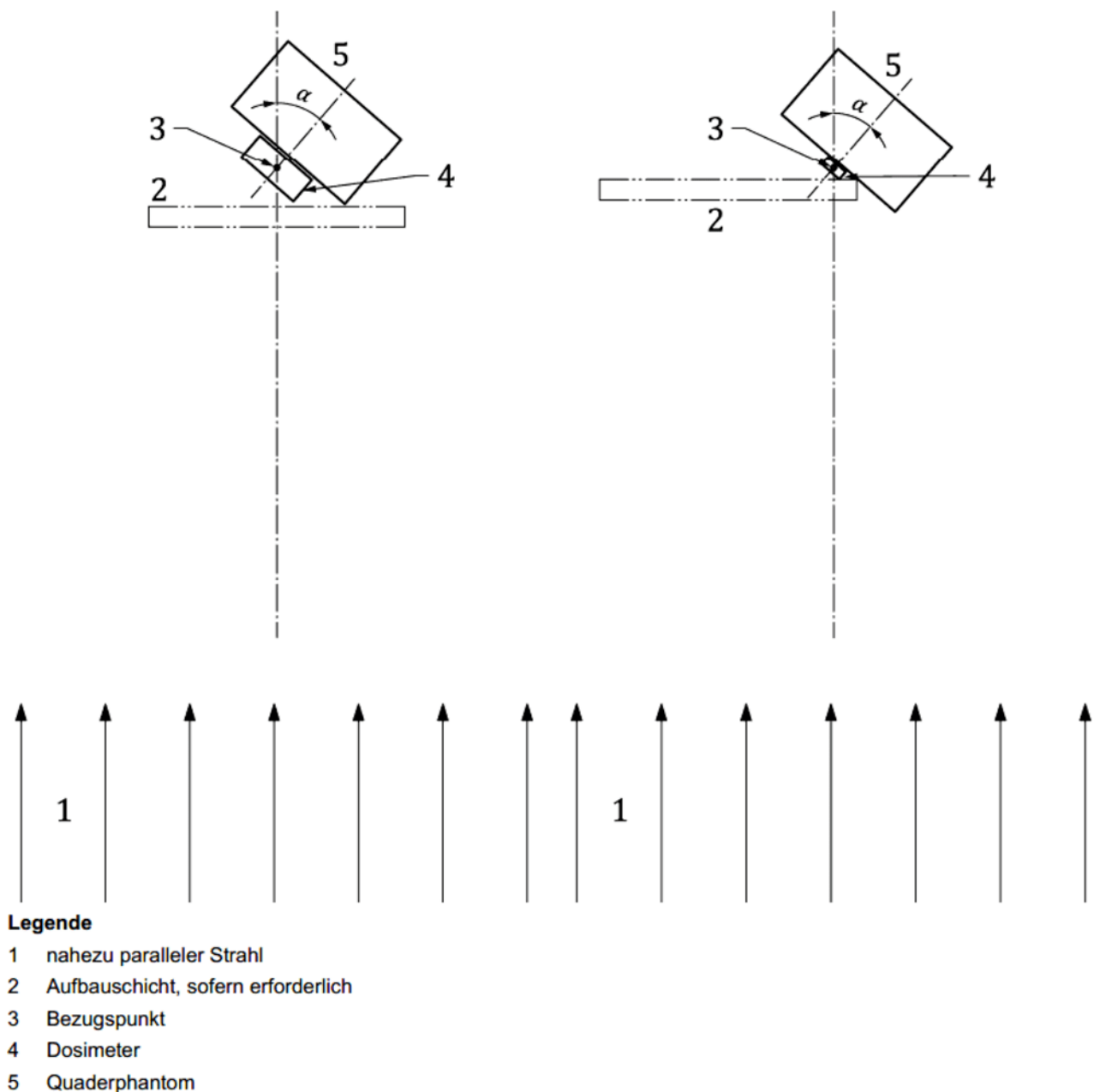


Bild 1 – Anordnung zur Kalibrierung von Personendosimetern unter einem Winkel α , links: großes Dosimeter, rechts: kleines Dosimeter

4.2 Verfahren für die Bestimmung des Kalibrierfaktors und des Ansprechvermögens

4.2.1 Betrieb des Normalmessgeräts

Die Betriebsart des Normalmessgeräts muss im Einklang mit seinem Kalibrierzertifikat, der Gebrauchsanweisung für das Messgerät und [ISO 4037-2:2019, Anhang A](#), sein, z. B. Nullpunkteinstellung, Anlaufzeit, Anwendung eines Korrekturfaktors für Messbereich oder Skala. Das Zeitintervall zwischen periodischen Kalibrierungen des Normalmessgeräts muss innerhalb der durch nationale Vorschriften festgelegten Frist liegen. Sofern es keine solchen Vorschriften gibt, sollte der zeitliche Abstand zwei Jahre nicht überschreiten.

Messungen müssen regelmäßig erfolgen, entweder mit einer radioaktiven Prüfquelle oder in einem kalibrierten Strahlungsfeld, um festzustellen, dass die Reproduzierbarkeit des Normalmessgeräts innerhalb von $\pm 1\%$ des Zertifikatswerts ist. Korrekturen für den radioaktiven Zerfall der Quelle und Abweichungen der Luftdichte von ihrem Referenzwert sind bei Bedarf anzuwenden.

Bei einer sequenziellen Bestrahlung von Normalmessgerät und zu prüfendem Dosimeter, siehe [ISO 29661:2012, 6.4.2](#), muss eine Entscheidung getroffen werden, ob ein Monitor verwendet werden muss oder nicht (siehe 4.2.2). Diese Entscheidung muss auf der Stabilität der Ausgangsleistung der Strahlungsquelle beruhen.

Es gibt zwei Arten von Normalmessgeräten: Solche, die mehr eine Basisgröße messen, wie z. B. Luftkerma, und andere, die direkt die phantombezogenen Messgrößen messen, in denen die Kalibrierung durchgeführt werden soll. Für die erste Art von Messgeräten müssen geeignete Konversionskoeffizienten, h , verwendet werden, während für die zweite Art von Messgeräten keine Konversionskoeffizienten erforderlich sind. Der empfohlene, geeignete Konversionskoeffizient, h , der in den folgenden Tabellen für alle Strahlungsqualitäten aufgeführt ist, darf nur verwendet werden, wenn das übereinstimmende Referenzstrahlungsfeld für die entsprechende Strahlungsqualität validiert ist. Andernfalls muss das in [ISO 4037-2:2019, 5.2](#) oder [Abschnitt 6](#), angegebene Verfahren verwendet werden.

4.2.2 Messungen ohne einen Monitor für die Ausgangsleistung der Quelle

Im Allgemeinen wird für Referenzstrahlungsfelder, die mittels radioaktiver Quellen erzeugt werden, kein Monitor benötigt, siehe [ISO 4037-1:2019, 3.5](#). Für Röntgen-Referenzstrahlungsfelder empfiehlt sich in der Regel die Verwendung eines Monitors.

5 Spezielle Verfahren für Ortsdosimeter

5.1 Allgemeine Grundsätze

Diese Grundsätze gelten für die Kalibrierung von tragbaren und fest installierten Ortsdosimetern in Referenzstrahlungsfeldern, dabei umfasst der Begriff Ortsdosimeter sowohl aktive als auch passive Geräte. Sie gelten nicht für *In-situ*-Kalibrierungen von installierten Ortsdosimetern. Dosimeter zur Ortsdosimetrie müssen frei in Luft (ohne jedes Phantom) bestrahlt werden. Messungen des Ansprechvermögens können im Bereich der Photonenenergie von 8 keV bis 9 MeV und, abhängig von der Bestrahlungseinrichtung, in verschiedenen Bestrahlungsabständen erforderlich sein. [Abschnitt 6](#) enthält für übereinstimmende ISO-Referenzstrahlungsfelder Konversionskoeffizienten, h , um die Luftkerma, K_a , in die Mess-Äquivalentdosisgrößen $H^*(0,07)$, $H^*(3)$ und $H^*(10)$ zu konvertieren. Konversionskoeffizienten für einen breiten parallelen Strahl monoenergetischer Photonen bei Abwesenheit von Streustrahlung sind ebenfalls angegeben.

In der Praxis werden Kalibrierungen immer in divergenten Strahlungsfeldern durchgeführt. Dieser Tatsache wird Rechnung getragen, indem die empfohlenen Konversionskoeffizienten für einen Bezugsabstand zwischen Strahlungsquelle und Prüfort gelten. Bei divergenten Feldern wird die Strahlachse als Strahlungsrichtung betrachtet. In Fällen, in denen ein Bezugsabstand zusammen mit einem Strahleneinfallswinkel α angegeben ist, ist α der Winkel zwischen der Bezugsrichtung des Dosimeters und der tatsächlichen Richtung des Strahlungsfelds. Alle Konversionskoeffizienten werden für unidirektionalen Strahlungseinfall bestimmt.

5.2 Zu messende Größen

Für Ortsdosimeter sind die Mess-Äquivalentdosisgrößen Richtungs-Äquivalentdosis, $H'(0,07)$ und $H'(3)$, sowie Umgebungs-Äquivalentdosis, $H^*(10)$, zu messen. Für Ortsdosimeter sind Kalibrierverfahren für alle Winkel bis zu 180° sinnvoll, da die Kalibrierung ohne ein Phantom erfolgt.

6 Konversionskoeffizienten für die Ortsdosimetrie

6.1 Konversionskoeffizienten von Luftkerma, K_a , zu $H'(0,07)$

6.1.1 Monoenergetische Strahlung

Siehe [Tabelle 1](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus ICRU 57 [7] (fett) und interpolierte Werte entweder aus Ankerhold [1] oder aus Ankerhold [8] entnommen.^{N3}

6.1.2 Serie mit niedriger Luftkermaleistung

Siehe [Tabelle 2](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus Ankerhold [1] entnommen.^{N3}

6.1.3 Serie mit schmalen Spektrum

Siehe [Tabelle 3](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus Ankerhold [1] und für N-350 und N-400 aus Ankerhold [8] entnommen.^{N3}

6.1.4 Serie mit breitem Spektrum

Siehe [Tabelle 4](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus Ankerhold [1] entnommen.^{N3}

6.1.5 Serie mit hoher Luftkermaleistung

Siehe [Tabelle 5](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus Ankerhold [1] und für H-350 und H-400 aus Ankerhold [8] entnommen.^{N3}

6.1.6 Radionuklide

Siehe [Tabelle 6](#).

ANMERKUNG Die Daten wurden aus DIN 6818-1:2004 [10] entnommen.^{N3}

^{N3} Nationale Fußnote: Die monoenergetischen Daten in [Tabelle 1](#) unterscheiden sich teilweise von denjenigen in Ankerhold [1] und Ankerhold [8]. Dies führt konsequenterweise auch zu Änderungen in den [Tabellen 2 bis 6](#) für die verschiedenen Strahlungsqualitäten. Die Gründe für diese Änderungen liegen in einem geänderten Interpolationsverfahren, siehe die geplante Veröffentlichung „Katharina Bairlein, Rolf Behrens, Oliver Hupe und Christian Hranitzky: *Conversion coefficients from air kerma to directional dose equivalent $H'(0.07)$ for photons*. Radiation Protection Dosimetry, ncz060, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz060>“.

Tabelle 1 – Konversionskoeffizienten $h'_{K}(0,07; E, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ für monoenergetische und parallele Photonenstrahlung (erweitertes Feld)

Photonen- energie, E keV	$h'_{K}(0,07; E, \alpha)$ in Sv/Gy für Strahleneinfallswinkel, α , von							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	180°
3	0,287	0,266	0,214	0,151	0,044	0,000	0,000	0,000
4	0,586	0,557	0,490	0,416	0,185	0,000	0,000	0,000
5	0,76	0,73	0,66	0,60	0,31	0,00	0,00	0,00
6	0,798	0,772	0,715	0,667	0,432	0,169	0,036	0,000
8	0,874	0,856	0,823	0,799	0,672	0,507	0,108	0,000
10	0,95	0,94	0,93	0,93	0,91	0,85	0,18	0,00
12	0,966	0,958	0,949	0,951	0,935	0,878	0,253	0,000
14	0,982	0,976	0,966	0,970	0,959	0,910	0,325	0,000
15	0,99	0,985	0,975	0,980	0,970	0,926	0,361	0,000
20	1,05	1,05	1,04	1,05	1,05	1,03	0,57	0,00
30	1,22	1,21	1,21	1,21	1,20	1,15	0,76	0,00
40	1,41	1,40	1,39	1,39	1,37	1,31	0,924	0,014
50	1,53	1,51	1,50	1,50	1,48	1,41	1,06	0,03
60	1,59	1,57	1,56	1,56	1,55	1,47	1,12	0,041
70	1,61	1,60	1,59	1,59	1,57	1,50	1,16	0,051
80	1,61	1,59	1,59	1,59	1,57	1,50	1,19	0,061
100	1,55	1,53	1,53	1,53	1,52	1,46	1,19	0,08
125	1,49	1,47	1,47	1,47	1,46	1,42	1,21	0,09
150	1,42	1,41	1,41	1,41	1,41	1,38	1,24	0,10
200	1,34	1,33	1,33	1,33	1,34	1,31	1,17	0,11
300	1,31	1,31	1,31	1,31	1,34	1,31	1,17	0,13
662	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,18	1,07	0,22
1 250	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,14	1,04	0,35

Tabelle 2 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_K(0,07; L, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$

Strahlungs- qualität	$h'_K(0,07; L, \alpha)$ in Sv/Gy für Strahleneinfallswinkel, α und Abstand von															
	0°		15°		30°		45°		60°		75°		90°		180°	
			1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m
L-10	0,908	0,915	0,893	0,902	0,871	0,882	0,857	0,871	0,778	0,802	0,656	0,691	0,140	0,148	0,000	
L-20	1,01		1,01		1,00		1,01		1,00		0,965	0,962	0,441		0,000	
L-30	1,16		1,15		1,15		1,15		1,14		1,10		0,686		0,000	
L-35	1,22		1,21		1,21		1,21		1,20		1,15		0,752		0,002	
L-55	1,49		1,48		1,47		1,47		1,45		1,38		1,02		0,026	
L-70	1,59		1,57		1,56		1,56		1,54		1,47		1,12		0,042	
L-100	1,59		1,57		1,57		1,57		1,55		1,48		1,19		0,067	
L-125	1,52		1,51		1,51		1,51		1,50		1,44		1,20		0,082	
L-170	1,42		1,41		1,41		1,41		1,41		1,38		1,23		0,098	
L-210	1,36		1,35		1,35		1,35		1,36		1,33		1,19		0,105	
L-240	1,34		1,33		1,33		1,33		1,34		1,32		1,18		0,110	

Tabelle 3 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K(0,07; N, \alpha)}$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$

Strahlungs- qualität	$h'_{K(0,07; N, \alpha)}$ in Sv/Gy für Strahleneinfallswinkel, α und Abstand von															
	0°		15°		30°		45°		60°		75°		90°		180°	
	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m
N-10	0,885	0,902	0,868	0,887	0,839	0,863	0,818	0,847	0,706	0,760	0,556	0,632	0,119	0,135	0,000	
N-15	0,963	0,967	0,955	0,959	0,944	0,949	0,945	0,951	0,924	0,933	0,862	0,875	0,250	0,264	0,000	
N-20	0,999	1,00	0,995	0,998	0,984	0,987	0,990	0,993	0,980	0,983	0,937	0,942	0,389	0,399	0,000	
N-25	1,05		1,05		1,04		1,05		1,04		1,01		0,529	0,534	0,000	
N-30	1,12		1,11		1,10	1,11	1,11		1,11		1,07		0,635	0,636	0,000	
N-40	1,27		1,26		1,25		1,25		1,24		1,19		0,795	0,796	0,004	
N-60	1,48		1,47		1,45	1,46	1,45	1,46	1,44		1,37		1,00		0,025	
N-80	1,60		1,58		1,57		1,57		1,55		1,48		1,13		0,046	
N-100	1,59		1,58		1,57		1,57		1,56		1,49		1,18		0,064	
N-120	1,55		1,53		1,53		1,53		1,52		1,46		1,20		0,077	
N-150	1,50		1,48		1,48		1,48		1,47		1,42		1,21		0,086	
N-200	1,39		1,38		1,38		1,38		1,38		1,36		1,21		0,102	0,101
N-250	1,34		1,34		1,34		1,34		1,35		1,32		1,18		0,110	
N-300	1,33		1,32		1,32		1,32		1,34		1,31		1,17		0,120	
N-350	1,31		1,31		1,31		1,31		1,33		1,31		1,16		0,129	
N-400	1,29		1,29		1,29		1,29		1,32		1,29		1,15		0,138	

Tabelle 4 – Empfohlene Konversionskoeffizienten $h'_{K'}(0,07; W, \alpha)$ von Luftkerma, K_a , zur Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$

Strahlungs- qualität	$h'_{K'}(0,07; W, \alpha)$ in Sv/Gy für Strahleneinfallswinkel, α und Abstand von															
	0°		15°		30°		45°		60°		75°		90°		180°	
	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m
W-30	1,08	1,09	1,08		1,07		1,08		1,07	1,08	1,04		0,581	0,585	0,000	
W-40	1,19		1,18		1,18		1,18		1,17		1,13		0,713	0,717	0,002	
W-60	1,43		1,41	1,42	1,41		1,41		1,39		1,32	1,33	0,951	0,952	0,019	
W-80	1,54		1,52		1,51		1,51		1,49		1,42		1,06		0,035	
W-110	1,59		1,57		1,57		1,57		1,55		1,48		1,17		0,060	
W-150	1,53		1,51		1,51		1,51		1,50		1,44		1,20		0,079	
W-200	1,44		1,43		1,43		1,43		1,43		1,39		1,21		0,094	
W-250	1,38		1,37		1,37		1,37		1,38		1,35		1,20		0,104	
W-300	1,35		1,34		1,34		1,34		1,35		1,33		1,18		0,111	