

**DIN ISO 4037-1
(VDE 0412-4037-1)****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 1: Strahlungseigenschaften und Erzeugungsmethoden
(ISO 4037-1:2019)**

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 1: Radiation characteristics and production methods

(ISO 4037-1:2019)

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 1: Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production

(ISO 4037-1:2019)

Gesamtumfang 60 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.....		6
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten		7
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....		7
Vorwort.....		9
Einleitung		10
1 Anwendungsbereich		11
2 Normative Verweisungen		13
3 Begriffe		13
4 Kontinuierliche gefilterte Röntgen-Referenzstrahlung.....		17
4.1 Allgemeines		17
4.1.1 Realisation des Referenzstrahlungsfeldes.....		17
4.1.2 Basis der Konversionskoeffizienten		17
4.1.3 Strahlungsqualität.....		18
4.1.4 Auswahl der Referenzstrahlung		18
4.2 Bedingungen und Methoden für die Erzeugung von Röntgen-Referenzstrahlung		23
4.2.1 Eigenschaften des Hochspannungserzeugers.....		23
4.2.2 Röhrenspannung und Schutzwiderstand		24
4.2.3 Filterung.....		25
4.2.4 Beschränkungen für übereinstimmende Felder		29
4.2.5 Röntgenstrahlungs-Verschluss		30
4.2.6 Strahlblende		30
4.3 Feldhomogenität und Streustrahlung		30
4.3.1 Felddurchmesser.....		30
4.3.2 Feldhomogenität.....		31
4.3.3 Streustrahlung		31
4.4 Zusammenfassung der Anforderungen an Röntgen-Referenzstrahlungsfelder		32
4.5 Validierung der Röntgen-Referenzstrahlung		33
4.5.1 Allgemeines		33
4.5.2 Kriterien für die Validierung mittels HVL-Bestimmung		33
4.5.3 Apparatur für die HVL-Messung.....		35
4.5.4 Verfahren für die HVL-Messung.....		36
4.5.5 Kriterien für die Validierung mittels Dosimetrie		36
4.5.6 Kriterien für die Validierung mittels Spektrometrie		36
5 Von Radionukliden emittiert Gammastrahlung.....		36

5.1	Allgemeines.....	36
5.2	Für die Erzeugung von Gammastrahlung verwendete Radionuklide	37
5.3	Spezifikationen der Strahlungsquellen.....	37
5.3.1	Quellen	37
5.3.2	Umschließung	37
5.4	Bestrahlungseinrichtung und der Einfluss von Streustrahlung	38
5.4.1	Allgemeine Anforderungen.....	38
5.4.2	Geometrischer Aufbau des Kollimators	38
5.4.3	Variation der Luftkermaleistung mittels Blei-Absorbern.....	39
5.5	Prüfung der Konformität der Installation	39
6	Photonenstrahlung mit Energien mit Energien zwischen 4 MeV und 9 MeV	40
6.1	Allgemeines.....	40
6.2	Erzeugung der Referenzstrahlung	40
6.2.1	Allgemeines.....	40
6.2.2	Photonen-Referenzstrahlung durch die Abregung von ^{16}O aus der $^{19}\text{F}(p, \alpha)^{16}\text{O}$ Reaktion	40
6.2.3	Photonen-Referenzstrahlung durch die Abregung von ^{12}C	43
6.3	Strahldurchmesser und Homogenität des Strahlungsfeldes.....	43
6.4	Kontamination der Photonen-Referenzstrahlung.....	43
6.4.1	Allgemeines.....	43
6.4.2	Kontamination der Referenzstrahlung, die bei allen Methoden zur Erzeugung von Referenzstrahlung vorkommt	44
6.4.3	Zusätzliche Kontamination bei mittels Beschleuniger produzierter Referenzstrahlung, die durch die Abregung von ^{16}O erzeugt wird	44
Anhang A (informativ)	Fluoreszenzstrahlung ohne ausreichende Informationen für übereinstimmende oder charakterisierte Felder	45
A.1	Kurzbeschreibung	45
A.2	Allgemeines.....	45
A.3	Fluoreszenz-Röntgenanlage	46
A.3.1	Allgemeines.....	46
A.3.2	Röntgeneinrichtung	46
A.3.3	Fluoreszenz-Einrichtung (siehe Bild A.2).....	49
A.3.3.1	Strahler.....	49
A.3.3.2	Filter	49
A.3.3.3	Primäre Blende	49
A.3.3.4	Sekundäre Blende.....	49
A.3.3.5	Falle.....	49
A.3.3.6	Abschirmung der Röntgenstrahlung	49
A.4	Betriebsbedingungen	49
A.4.1	Geometrie.....	49
A.4.2	Charakteristika der Referenzstrahlung	50

A.5	Messung der Streustrahlung	50
A.6	Hinweise für die Verwendung der Referenzstrahlung	51
Anhang B (informativ) Vom Radionuklid ^{241}Am emittierte Gammastrahlung ohne ausreichende Informationen für übereinstimmende oder charakterisierte Felder		52
B.1	Allgemeines	52
B.2	Von Radionukliden emittiert Gammastrahlung	52
B.2.1	Allgemeines	52
B.2.2	Für die Erzeugung von Gammastrahlung verwendetes Radionuklid	52
B.3	Spezifikationen der Strahlungsquellen	52
B.3.1	Quellen	52
B.3.2	Umschließung	53
B.4	Bestrahlungseinrichtung und der Einfluss von Streustrahlung	53
B.4.1	Allgemeine Anforderungen	53
B.4.2	Geometrischer Aufbau des Kollimators	53
B.4.3	Prüfung der Konformität der Installation	54
Anhang C (informativ) Auf dem Qualitätsindex basierende, gefilterte kontinuierliche Röntgenstrahlung		55
C.1	Allgemeines	55
C.2	Qualitätsindex	55
Literaturhinweise		56
Bilder		
Bild 1 – Fluenzspektren für eine Erzeugungsspannung von 30 kV mit zunehmender Filterung		19
Bild 2 – Normierte Fluenzspektren der N-Serie		20
Bild 3 – Beispiel für einen Kollimator		38
Bild 4 – Energieniveaus und Emissionswahrscheinlichkeiten für Photonenstrahlung aus dem Zerfall von ^{16}N (links) und aus der Abregung von ^{16}O für eine einfallende Protonenenergie von 340,5 keV auf ^{19}F (rechts) [33]		41
Bild 5 – Relative Photonen-Emissionsrate für ein dünnes Target als Funktion der Protonenenergie für die $^{19}\text{F}(\text{p}, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$ Reaktion (R-F Feld)		42
Bild A.1 – Uranspektrum		46
Bild A.2 – Schematische Darstellung einer K-Fluoreszenz-Röntgenanlage		44
Tabellen		
Tabelle 1 – Liste der Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder, ihrer mittleren Energien, $\bar{E}(\Phi)$, für einen Abstand von 1 m und ihre Kurzbezeichnungen		12
Tabelle 2 – Spezifikation von gefilterter Röntgenstrahlung		21
Tabelle 3 – Charakteristika der Serie mit niedriger Luftkermaleistung (L-Serie)		21
Tabelle 4 – Charakteristika der Serie mit schmalen Spektrum (N-Serie)		22
Tabelle 5 – Charakteristika der Serie mit breitem Spektrum (W-Serie)		22
Tabelle 6 – Charakteristika der Serie mit hoher Luftkermaleistung (H-Serie)		23
Tabelle 7 – Anforderungen an die Röhrenspannung		24

Tabelle 8 – Anforderungen an die totale Eigenfilterung für übereinstimmende Referenzfelder für Strahlungsqualitäten mit einer nominellen Eigenfilterung von 1 mm Be	26
Tabelle 9 – Eigenfilterung	28
Tabelle 10 – Eigenschaften der Metallfilter für übereinstimmende und charakterisierte Referenzfelder	29
Tabelle 11 – Anforderungen an die Filterdicke für übereinstimmende Referenzfelder	29
Tabelle 12 – Strahlungsqualitäten und Phantom-Definitionstiefen, d , für die im Jahre 2017 übereinstimmende Felder als unmöglich angesehen werden	30
Tabelle 13 – Zusammenfassung der Anforderungen an Röntgen-Referenzstrahlungsfelder	32
Tabelle 14 – Anforderungen an die Bestimmung der HVL für übereinstimmende Referenzfelder	35
Tabelle 15 – Eigenschaften von Radionukliden	37
Tabelle 16 – Spezifische Aktivität und empfohlene chemische Form von Radionukliden	37
Tabelle 17 – Beispiel für die Zusammensetzung der Blendenlegierung, die für den Kollimator in Bild 3 verwendet wurde	39
Tabelle 18 – Typische Photonen-Emissionsraten und Luftkermaleistungen für die angegebenen Protonenenergien und 1 μ A Protonenstrom	42
Tabelle A.1 – Für K-Fluoreszenz-Referenzstrahlung verwendete Strahler und Filter	48
Tabelle A.2 – Beispiele von Luftkermaleistungen und Fremdstrahlung, gemessen 30 cm von der Mitte des Strahlers bei einem Röhrenstrom von 30 mA	50
Tabelle B.1 – Eigenschaften des Radionuklids	53
Tabelle B.2 – Spezifische Aktivität und empfohlene chemische Form des Radionuklids	53
Tabelle C.1 – Charakteristika der Q_1 -0,6-Serie	55
Tabelle C.2 – Charakteristika der Q_1 -0,7-Serie	56
Tabelle C.3 – Charakteristika der Q_1 -0,8-Serie	56
Tabelle C.4 – Charakteristika der Q_1 -0,9-Serie	57

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN ISO 4037-1 (VDE 0412-4037-1):2017-07.

Die Internationale Norm ISO 4037-1:2019, *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 1: Radiation characteristics and production methods*, 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.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

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
EN ISO 2919	ISO 2919	DIN EN ISO 2919 (VDE 0412-2919)	VDE 0412-2919
–	ISO 4037-2:2019	DIN ISO 4037-2 (VDE 0412-4037-2):2019-11	VDE 0412-4037-2
–	ISO 4037-3:2019	DIN ISO 4037-3 (VDE 0412-4037-3):2019-11	VDE 0412-4037-3
–	ISO 4037-4:2019	DIN ISO 4037-4 (VDE 0412-4037-4):2019-11	VDE 0412-4037-4
–	ISO 16526-1	–	–
EN ISO 29661	ISO 29661	DIN EN ISO 29661 (VDE 0412-661)	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

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 2919 (VDE 0412-2919), *Strahlenschutz – Umschlossene radioaktive Stoffe – Allgemeine Anforderungen und Klassifikation*

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 4037-1 (VDE 0412-4037-1):2019-11

DIN ISO 4037-3 (VDE 0412-4037-3):2019-11, *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)*

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 niedrigerenergetischen Röntgen-Referenzstrahlungsfeldern (ISO 4037-4:2019)*

DIN EN ISO 29661 (VDE 0412-661), *Referenzstrahlungsfelder für den Strahlenschutz – Definitionen und grundlegende Konzepte*

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 Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“, Unterkomitee SC 2 „Radiological protection“ erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe von ISO 4037-1 ersetzt die erste Ausgabe (ISO 4037-1:1996), gegenüber der sie eine technische Überarbeitung darstellt. Die wesentlichen Änderungen sind:

- Einführung zweier Arten von Referenzfeldern: übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder (en: matched reference fields) und charakterisierte Referenzstrahlungsfelder (en: characterized reference fields);
- Aufnahme der Validierung von übereinstimmenden Referenzstrahlungsfeldern;
- Aufnahme der Grenzen erlaubter Abweichungen von Parametern wie Hochspannung, Filterbeladung und Filterdicke von ihren Nennwerten. Diese Grenzen hängen nun von der festgelegten Tiefe der phantombezogenen Größe ab. Dies erfolgt, um eine Gesamtunsicherheit ($k = 2$) von 6 % bis 10 % für die phantombezogenen betrieblichen Größen zu erreichen.

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

Alle Rückmeldungen und Fragen zu diesem Dokument sind erbeten an die nationale Normungsorganisation des Lesers. Eine vollständige Liste dieser Organisationen ist auf www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Diese Überarbeitung dieses Dokuments berücksichtigt die Verbesserungen von Hochspannungsgeneratoren von 1996 bis 2017 (zum Beispiel die Verwendung von Hochfrequenz-Schaltnetzteilen, die eine nahezu konstante Spannung erzeugen) und die Spektrumsmessungen an Bestrahlungseinrichtungen, die mit solchen Generatoren ausgerüstet sind (zum Beispiel den Spektrenkatalog von Ankerhold [4]). 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) [5] 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) [5]. ISO 4037-3 beschreibt die Methoden zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten in Bezug auf die phantombezogenen Messgrößen der ICRU [5]. 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 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 1: Strahlungseigenschaften und Erzeugungsmethoden

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Methoden für Erzeugung und Charakterisierung von Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfeldern zur Kalibrierung von Dosimetern und Dosisleistungsmessgeräten für den Strahlenschutz in Bezug auf die phantombezogenen Messgrößen der Internationalen Kommission für Einheiten und Messungen (ICRU) [5] fest. Die kleinste Luftkermaleistung, für die diese Norm anwendbar ist, ist $1 \mu\text{Gy h}^{-1}$. Unterhalb dieser Luftkermaleistung erfordert die (natürliche) Untergrundstrahlung die Berücksichtigung besonderer Gesichtspunkte und dieses ist in diesem Dokument nicht enthalten.

Für die Strahlungsqualitäten, die in den [Abschnitten 4 bis 6](#) spezifiziert sind, sind ausreichend veröffentlichte Informationen verfügbar, um die Anforderungen an alle relevanten Parameter der übereinstimmenden oder charakterisierten Referenzstrahlungsfelder derart fest zu legen, dass für die phantombezogenen Messgrößen die angestrebte Gesamt-Messunsicherheit ($k = 2$) von etwa 6 % bis 10 % erreicht wird. Die Röntgenstrahlungsfelder, die in den informativen [Anhängen A bis C](#) beschrieben sind, gelten nicht als Röntgen-Referenzstrahlungsqualitäten.

ANMERKUNG Die erste, 1996 herausgegebene, Ausgabe von ISO 4037-1 beinhaltete einige weitere Strahlungsqualitäten, für die derartige veröffentlichte Informationen nicht verfügbar sind. Diese sind Fluoreszenzstrahlungen, die Gammastrahlung des Radionuklids ^{241}Am , S-Am, und die hochenergetischen Photonenstrahlungen R-Ti und R-Ni, die aus dem Hauptteil dieses Dokumentes entfernt wurden. Die am häufigsten verwendeten Strahlungsqualitäten, die Fluoreszenzstrahlungen und die Gammastrahlung des Radionuklids ^{241}Am , S-Am, sind nahezu unverändert in die informativen [Anhänge A und B](#) eingefügt. Der informative [Anhang C](#) beschreibt zusätzliche Röntgen-Strahlungsfelder, die mittels des Qualitätsindex spezifiziert sind.

Die Verfahren, um eine Gruppe von Referenzstrahlungsfeldern für einen bestimmten Bereich der Photonenenergie zu erzeugen, sind in den drei [Abschnitten 4 bis 6](#) angegeben, die die Merkmale dieser Strahlungen beschreiben. Die drei Gruppen von Referenzstrahlungsfeldern sind:

- a) Kontinuierliche gefilterte Röntgenstrahlung im Energiebereich von etwa 8 keV bis 330 keV;
- b) Von Radionukliden emittiert Gammastrahlung im Energiebereich von 600 keV bis 1,3 MeV;
- c) Mittels Beschleunigern erzeugt Photonenstrahlung im Energiebereich von 4 MeV bis 9 MeV.

Das Referenzstrahlungsfeld, das für die beabsichtigte Anwendung am besten geeignet ist, kann aus [Tabelle 1](#) ausgewählt werden. Diese Tabelle gibt einen Überblick über alle Referenzstrahlungen, die in den [Abschnitten 4 bis 6](#) spezifiziert sind. Sie beinhaltet nicht die in den [Anhängen A, B und C](#) angegebenen Strahlungsqualitäten.

Die Anforderungen und Methoden, die in den [Abschnitten 4 bis 6](#) angegeben sind, sind darauf ausgerichtet, für die Werte der Dosis oder Dosisleistung der phantombezogenen Messgrößen eine Gesamt-Messunsicherheit ($k = 2$) von etwa 6 % bis 10 % zu erzielen. Um dies zu erreichen, werden zwei Erzeugungsmethoden vorgeschlagen.

Die erste besteht darin, „*übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder*“ zu erzeugen, deren Eigenschaften ausreichend detailliert beschrieben sind, um die Verwendung der in [ISO 4037-3](#) empfohlenen Konversionskoeffizienten zu erlauben. Das Vorliegen einer nur geringfügigen Abweichung der spektralen Verteilung des „übereinstimmenden Referenzstrahlungsfeldes“ im Vergleich zum nominellen Referenzstrahlungsfeld wird mit Methoden validiert, die in [ISO 4037-2](#) angegeben und im Detail beschrieben sind. Für übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder sind in [ISO 4037-3](#) empfohlene Konversionskoeffizienten angegeben, aber nur für spezifizierte Abstände zwischen Quelle und Dosimeter, zum Beispiel von 1,0 m und 2,5 m. Für andere Abstände muss der Anwender entscheiden, ob diese Konversionskoeffizienten verwendet werden können. Wenn beide Werte sehr ähnlich sind, sich zum Beispiel nur um 2 % oder weniger unterscheiden, dann kann eine lineare Interpolation verwendet werden.

Die zweite Methode besteht darin, „charakterisierte Referenzstrahlungsfelder“ zu erzeugen. Dies wird entweder durch Bestimmung der Konversionskoeffizienten mittels Spektrometrie erreicht, oder der benötigte Wert wird direkt unter Verwendung von Sekundärnormal-Dosimetern gemessen. Diese Methode ist für jede Strahlungsqualität, jede Messgröße und, sofern zutreffend, für jedes Phantom und jeden Strahleneinfallswinkel anwendbar. Zusätzlich hängen die Anforderungen an die Parameter, die die Referenzstrahlung spezifizieren, von der Definitionstiefe im Phantom ab, das heißt 0,07 mm, 3 mm und 10 mm. Deshalb sind die Anforderungen für die unterschiedlichen Tiefen verschieden. Daher kann ein vorhandenes Referenzstrahlungsfeld ein „übereinstimmendes Referenzstrahlungsfeld“ für die Tiefe 0,07 mm sein aber nicht für die Tiefe von 10 mm, für die es dann ein „charakterisiertes Referenzstrahlungsfeld“ sein kann. Der Konversionskoeffizient kann für jeden Abstand bestimmt werden, vorausgesetzt die Luftkerma-Leistung ist nicht unterhalb von 1 µGy/h.

Beide Methoden erfordern Sekundärteilchengleichgewicht geladener Teilchen im Referenzstrahlungsfeld. Dies ist jedoch nicht immer im Arbeitsplatzfeld vorhanden, für das das Dosimeter kalibriert 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.

Um den Wert der Dosis oder Dosisleistung und ihre zugehörige Gesamtmessunsicherheit zu bestimmen, ist eine auf nationale Normale rückführbare Kalibrierung aller Messgeräte erforderlich, die für die Bestimmung der Größenwerte verwendet werden.

Dieses Dokument spezifiziert keine gepulsten Referenzstrahlungsfelder.

Tabelle 1 – Liste der Röntgen- und Gamma-Referenzstrahlungsfelder, ihrer mittleren Energien, $\bar{E}(\phi)$, für einen Abstand von 1 m und ihre Kurzbezeichnungen

Strahlungs- qualität	$\bar{E}(\phi)$ keV	Strahlungs- qualität	$\bar{E}(\phi)$ keV	Strahlungs- qualität	$\bar{E}(\phi)$ keV	Strahlungs- qualität	$\bar{E}(\phi)$ keV
L-10	9,0	N-10	8,5	W-30	22,9	H-10	8,0
L-20	17,3	N-15	12,4	W-40	29,8	H-20	13,1
L-30	26,7	N-20	16,3	W-60	44,8	H-30	19,7
L-35	30,4	N-25	20,3	W-80	56,5	H-40	25,4
L-55	47,8	N-30	24,6	W-110	79,1	H-60	38,0
L-70	60,6	N-40	33,3	W-150	104	H-80	48,8
L-100	86,8	N-60	47,9	W-200	138	H-100	57,3
L-125	109	N-80	65,2	W-250	172	H-150	78,0
L-170	149	N-100	83,3	W-300	205	H-200	99,3
L-210	185	N-120	100			H-250	122
L-240	211	N-150	118			H-280	145
		N-200	165			H-300	143
		N-250	207			H-350	167
		N-300	248			H-400	190
		N-350	288				
		N-400	328				
Radionuklide			Hochenergetische Photonenstrahlungsfelder				
Strahlungs- qualität	Radionuklid	$\bar{E}(\phi)$ keV	Strahlungs- qualität	Reaktion	$\bar{E}(\phi); \bar{E}[H^*(10)]^a$ MeV		
S-Cs	^{137}Cs	662	R-C	$^{12}\text{C}(\text{p,p}'\gamma)^{12}\text{C}$	4,2; 4,4		
S-Co	^{60}Co	1250	R-F	$^{19}\text{F}(\text{p}, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$	4,4; 6,5		
ANMERKUNG In den informativen Anhängen A bis C sind weitere Strahlungsqualitäten angegeben. Diese überdecken den Photonen-Energiebereich von 8 keV bis hinauf zu 270 keV.							
^a Mittlere Photonenenergie, gewichtet entsprechend der Verteilung der Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ in Bezug auf die Photonenenergie E .							

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 2919, *Radiological protection – Sealed radioactive sources – General requirements and classification*

ISO 4037-2:2018^{N1}, *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 2: Dosimetry for radiological protection over the energy ranges 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV*

ISO 4037-3, *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dose-meters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach **ISO 29661** 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

Konversionskoeffizient von Luftkerma zur Mess-Äquivalentdosis

h_K

(en: air kerma-to-dose-equivalent conversion coefficient)

Quotient Mess-Äquivalentdosis, H , durch Luftkerma frei in Luft, K_a , an einem Punkt im Photonen-Strahlungsfeld

$$h_K = \frac{H}{K_a}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit des Konversionskoeffizienten von Luftkerma zur Mess-Äquivalentdosis ist Sievert durch Gray ($\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Definition unterscheidet sich von derjenigen, die in 3.2.4 in **ISO 29661:2012** angegeben ist, da sie die Luftkerma anstatt der Luft-Stoßkerma verwendet. Siehe auch 4.1.2.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die vollständige Angabe eines Konversionskoeffizienten von Luftkerma zur Mess-Äquivalentdosis beinhaltet die Angabe der Art der Mess-Äquivalentdosis, zum Beispiel Umgebungs-, Richtungs-, oder Personen-Äquivalentdosis. Der Konversionskoeffizient h_K hängt von der Energie und für $H_p(10)$, $H_p(3)$, $H_p(0,07)$, $H'(3; \vec{\Omega})$ und $H'(0,07; \vec{\Omega})$ auch von der Richtungsverteilung der einfallenden Strahlung ab. Deshalb ist es sinnvoll, den Konversionskoeffizienten als eine Funktion, $h_K(E, \alpha)$, der Energie, E , von monoenergetischen Photonen bei verschiedenen Einfallswinkeln, α , zu betrachten.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Konversionskoeffizienten von Luftkerma frei in Luft, K_a , zu $H'(0,07)$, zu $H'(3)$, zu $H^*(10)$, zu $H_p(10)$, zu $H_p(3)$ oder zu $H_p(0,07)$ für die Strahlungsqualität U und den Strahleneinfallswinkel α , werden jeweils als $h'_K(0,07; U, \alpha)$, $h'_K(3; U, \alpha)$, $h^*_K(10; U)$, $h_{pK}(10; U, \alpha)$, $h_{pK}(3; U, \alpha)$, und $h_{pK}(0,07; U, \alpha)$ bezeichnet.

^{N1} Nationale Fußnote: Diese, im ISO-Original angegebene Jahresangabe ist falsch, richtig ist 2019. Diese gilt für alle Teile der Reihe ISO 4037, auf die mit der Jahreszahl 2018 Bezug genommen wird. Um die Lesbarkeit zu erleichtern und keine Unklarheiten aufkommen zu lassen, sind in dieser Übersetzung alle entsprechenden Jahreszahlen korrigiert, ohne jedes mal mit einer Nationalen Fußnote darauf hinzuweisen.

3.2

charakterisiertes Referenzstrahlungsfeld

(en: characterized reference radiation field)

Referenzstrahlungsfeld, dessen Eigenschaften nicht ausreichen gut charakterisiert sind, um die Anwendung der empfohlenen Konversionskoeffizienten zu erlauben, aber dessen mittlere Energie ausreichen nahe zur nominellen Energie ist, um als Referenzstrahlungsfeld mit der gegebenen Bezeichnung verwendet werden zu können

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies wird entweder durch eine Bestimmung der Konversionskoeffizienten mittels Spektrometrie erreicht oder der benötigte Wert wird direkt mittels Sekundärstandard-Dosimetern gemessen.

3.3

effektive Energie (von Strahlung, die aus Röntgenstrahlung mit einem Energiespektrum besteht)

E_{eff}

(en: effective energy (of radiation comprised of X-rays with a range of energies))

Energie von derjenigen monoenergetischen Photonenstrahlung, die die gleich erste HVL hat

3.4

Generatorspannung

U_{gen}

(en: generating potential)

Spannungsdifferenz zwischen dem positiven und negativen Ausgang des Hochspannungsgenerators

3.5

Halbwertschichtdicke

Halbwertschicht

HVL

(en: half-value layer thickness, half-value layer, HVL)

Dicke der Schwächungsschicht, die die interessierende Größe eines gerichteten Strahls infinitesimaler Breite auf die Hälfte ihres Ausgangswertes reduziert

[QUELLE: ISO 80000-10:–, 10.53]

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument ist die interessierende Größe die Luftkerma.

Anmerkung 2 zum Begriff: In dieser Definition wird angenommen, dass der gesamte Beitrag von gestreuter Strahlung, außer derjenigen, die bereits in der ursprünglichen Strahlung vorhanden ist, ausgeschlossen ist.

3.6

Homogenitätskoeffizient

h

(en: homogeneity coefficient)

Quotient erste *Halbwertschicht* (3.5) durch zweite Halbwertschicht (Luftkerma)

$$h = \frac{1. \text{ HVL}}{2. \text{ HVL}}$$

3.7

übereinstimmendes Referenzstrahlungsfeld

(en: matched reference radiation field)

Referenzstrahlungsfeld, dessen Eigenschaften ausreichend gut charakterisiert sind, um die Anwendung der empfohlenen Konversionskoeffizienten zu erlauben

3.8

mittlere Photonenenergie

mittlere Energie

$\bar{E} (\varnothing)$

(en: mean photon energy, mean energy)

durch die folgende Gleichung gegebener Quotient

$$\bar{E}(\Phi) = \frac{\int_0^{E_{\max}} \Phi_E E \, dE}{\int_0^{E_{\max}} \Phi_E \, dE}$$

Dabei ist Φ_E die spektrale Fluenz (3.14)

3.9

Monitor

(en: monitor)

Gerät, das verwendet wird, um die Stabilität der Luftkermaleistung während einer Bestrahlung zu überwachen, oder, um die Werte der Luftkerma nach aufeinanderfolgenden Bestrahlungen zu vergleichen

3.10

Primärstrahlung

Primärstrahl

(en: primary radiation, primary beam)

Strahlung oder Strahl, die oder der von der Röntgenröhre oder dem Radionuklid oder dem Beschleuniger-Target emittiert wird, einschließlich der inhärent vorhandenen Streustrahlung, deren Entfernung aus der Strahlung unmöglich ist

3.11

Pulshöhenspektrum

(en: pulse height spectrum)

Verteilung der Anzahl N der Pulse in Bezug auf die Ladung Q , die im Detektor erzeugt wurde, dN/dQ

3.12

relative Abweichung der Röhrenspannung

ΔU_{rel}

(en: relative tube potential deviation)

Quotient, der für eine gegebene nominelle Röhrenspannung durch folgende Gleichung gegeben ist,

$$\Delta U_{\text{rel}} = \left| \frac{U_{\text{tube, meas}} - U_{\text{tube, nom}}}{U_{\text{tube, nom}}} \right|$$

Dabei ist

$U_{\text{tube, meas}}$ der gemessene Wert;

$U_{\text{tube, nom}}$ der nominelle Wert der Röhrenspannung.

3.13

spektrale Luftkerma

(en: spectral air kerma)

Verteilung der Luftkerma K_a in Bezug auf Photonenenergie E

$$K_a(E) = \frac{dK_a}{dE}$$

3.14

spektrale Fluenz

(en: spectral fluence)

Verteilung der Fluenz Φ in Bezug auf Photonenenergie E

$$\Phi_E = \frac{d\Phi}{dE}$$

3.15

spektrale Auflösung

Auflösung

(Halbwertsbreite)

R_E

(en: spectral resolution, resolution, (full width at half maximum))

durch folgende Gleichung definierter Quotient

$$R_E = \frac{\Delta E}{E}$$

Dabei ist ΔE die Breite des Spektrums bei der halben Maximalhöhe.

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern Fluoreszenzstrahlung im Spektrum vorhanden ist, basiert die gemessene Breite des Spektrums nur auf dem Kontinuum.

3.16

Röhrenspannung

U_{tube}

(en: tube potential)

Spannungsdifferenz zwischen Kathode und Anode der Röntgenröhre

3.17

Entfalten

(en: unfolding)

Bestimmung der spektralen Fluenz (3.14), ΦE , aus dem (gemessenen) Pulshöhenspektrum (3.11), dN/dQ

3.18

Spitze-zu-Spitze-Spannung

Welligkeit

(en: value of peak-to-peak voltage, ripple)

durch die folgende Gleichung für einen unveränderten Strom definierter Quotient

$$\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}}$$

Dabei ist

$U_{\max}$ der Maximalwert;

$U_{\min}$ der Minimalwert, zwischen denen die Spannung oszilliert.

3.19

Röntgenröhre

(en: X-ray tube)

Vakuumröhre, entwickelt zur Erzeugung von Röntgenstrahlung durch Beschuss der Anode mit einem Elektronenstrahl, der durch eine Potentialdifferenz beschleunigt wird

3.20

Röntgenröhren-Abschirmung

(en: X-ray tube shielding)

feste oder bewegliche Platte, die den Anteil der gestreuten Röntgenstrahlung an der primären Strahlung reduzieren soll

3.21

Röntgeneinrichtung

(en: X-ray unit)

Einrichtung, bestehend aus Hochspannungsversorgung, einer Röntgenröhre (3.19) mit ihrer Schutzhaube und den elektrischen Hochspannungsverbindungen

4 Kontinuierliche gefilterte Röntgen-Referenzstrahlung

4.1 Allgemeines

4.1.1 Realisation des Referenzstrahlungsfeldes

Abschnitt 4 spezifiziert die Charakteristika der gefilterten Röntgen-Referenzstrahlung und die Methoden und Anforderungen, durch die ein Labor ein Referenzstrahlungsfeld für eine gewählte Strahlungsqualität mit der angestrebten erweiterten Gesamt-Messunsicherheit ($k = 2$) von etwa 6 % bis 10 % des Wertes der Dosis(leistung) erzeugen kann.

Die Anforderungen hängen von der Art und Weise ab, wie das spezifizierte Referenzstrahlungsfeld realisiert wird. Für die nominell gleiche Strahlungsqualität, zum Beispiel N-20, sind zwei Realisierungen möglich, ein „übereinstimmendes Referenzstrahlungsfeld“ und ein „charakterisiertes Referenzstrahlungsfeld“. Das Ziel ist es, dass für beide Realisierungen innerhalb der angegebenen Unsicherheit von 6 % bis 10 % ($k = 2$) (siehe [Abschnitt 1](#)) die gleichen Ergebnisse erzielt werden, zum Beispiel bei der Bestimmung des Ansprechvermögens eines Dosimeters.

Für das „übereinstimmende Referenzstrahlungsfeld“ müssen alle der in [Tabelle 13](#) zusammengefassten ziemlich strengen Anforderungen für die betrachtete Strahlungsqualität und Phantom-Definitionstiefe erfüllt werden. Auf Grund der Schärfe dieser Anforderungen ist keine Charakterisierung der Feldparameter, zum Beispiel hinsichtlich der spektralen Verteilung, erforderlich und die in [ISO 4037-3](#) empfohlenen Konversionskoeffizienten von Luftkerma zur Mess-Äquivalentdosis (im Folgenden als „Konversionskoeffizienten“ abgekürzt) müssen verwendet werden. Diese Methode erfordert eine Validierung des „übereinstimmenden Referenzstrahlungsfeldes“, um sicherzustellen, dass die Abweichungen der aktuellen Parameter von ihren nominellen Werten innerhalb zulässiger Grenzen liegen.

Für das „charakterisierte Referenzstrahlungsfeld“ müssen alle angegebenen Anforderungen erfüllt werden. Diese Anforderungen sind für einige Parameter weniger streng als für „übereinstimmende Referenzstrahlungsfelder“. Konsequenterweise ist eine Charakterisierung aller Feldparameter, wie in [Tabelle 13](#) zusammengefasst, erforderlich und es ist keine zusätzliche Validierung notwendig. Für diese Charakterisierung ist entweder die direkte Messung jeder betrachteten phantombezogenen Messgröße mit einem Sekundärnormal erforderlich, oder es muss Spektrometrie und die Bestimmung des zugehörigen Konversionskoeffizienten durchgeführt werden. Für beide Methoden, direkte Messung oder Spektrometrie, dürfen die angestrebten Grenzen für die erweiterte Messunsicherheit ($k = 2$) der Dosis(leistung) von etwa 6 % bis 10 % für die phantombezogenen Messgrößen nicht überschritten werden. Die Anforderungen an die „charakterisierten Referenzstrahlungsfelder“ stellen sicher, dass die mittleren Energien bezüglich Fluenz um nicht mehr als 2 % von den nominellen Werten abweichen. Die Konversionskoeffizienten können viel stärker von den nominellen Werten abweichen, insbesondere bei niedrigen Röhrenspannungen, siehe [ISO 4037-4](#).

4.1.2 Basis der Konversionskoeffizienten

Die Luftkerma ist durch die Summe von Luft-Stoßkerma, $K_{a, coll}$, und Luft-Strahlungskerma, $K_{a, rad}$, gegeben: $K_a = K_{a, coll} + K_{a, rad}$. Die Luft-Stoßkerma, $K_{a, coll}$, ergibt sich aus der Luftkerma mittels der Gleichung $K_{a, coll} = K_a \cdot (1 - g_a)$, dabei ist g_a der Energie-Anteil an den durch Photonen freigesetzten Elektronen, der durch Strahlungsprozesse (Bremsstrahlung, Fluoreszenzstrahlung oder Vernichtungsstrahlung von Positronen) abgegeben wird. Als Werte für $(1 - g_a)$ für monoenergetische Strahlung werden diejenigen von Seltzer angegeben (berechnet wie in Literaturhinweis [\[7\]](#) beschrieben), die in [ISO 4037-2](#), oberer Teil von [Tabelle 2](#), aufgelistet sind. Im unteren Teil dieser [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 [\[11\]](#) und für R-C und R-F aus PTB-Dos-32 [\[12\]](#) 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 47, 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 29661:2012](#) wurde 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 Referenzstrahlungsfeldes S-Co wurden die originalen Werte übernommen,

da die Anwendung des $(1 - g_a)$ -Faktors die Zahlenwerte nicht ändert, sofern sie mit drei signifikante Ziffern angegeben werden. Die in **ISO 4037-3** für die R-C und R-F Referenzstrahlungsfelder angegebenen Konversionskoeffizienten unterscheiden sich daher von denjenigen, die in ICRU und der vorherigen Version von **ISO 4037-3** angegeben sind, um den Faktor $(1 - g_a) = 0,987$ beziehungsweise $(1 - g_a) = 0,978$.

4.1.3 Strahlungsqualität

Die Strahlungsqualität U einer gefilterten Röntgenstrahlung wird in ISO 4037 durch die folgenden Parameter charakterisiert:

- mittlere Energie, $\bar{E}(\Phi)$, der Strahlung, angegeben in Kiloelektronvolt (keV);
- Auflösung, R_E ;
- Halbwertschicht in Bezug auf Luftkerma, HVL, angegeben in Millimeter von Al oder Cu;
- Homogenitätskoeffizient, h .

In der Praxis hängt die erhaltene Strahlungsqualität hauptsächlich von folgendem ab:

- der Röhrenspannung, der Hochspannung an der Röntgenröhre;
- der Dicke und Art der Gesamtfiltration;
- den Eigenschaften des Targets, das heißt vom Anodenmaterial und vom Anodenwinkel der Röntgenröhre und
- der Dicke der Luftschicht zwischen Fokus und Prüfort (insbesondere für mittlere Energien unterhalb von 25 keV).

Um sicherzustellen, dass die Erzeugung der Referenzstrahlung in Übereinstimmung mit den angegebenen Spezifikationen ist, muss die Anlage bestimmte technischen Bedingungen einhalten. Diese sind in **4.2** angegeben.

4.1.4 Auswahl der Referenzstrahlung

Dieses Dokument spezifiziert vier Serien kontinuierlich gefilterter Röntgenstrahlung (siehe **Tabelle 2**), dabei ist jede Serie durch die Auflösung des Spektrums gekennzeichnet. Als ein Beispiel zeigt **Bild 1** die Photonen-Fluenzspektren der vier Serien mit ihren unterschiedlichen Auflösungen für eine Erzeugungsspannung von 30 kV bei gleichem Röhrenstrom und gleichem Abstand. Die Unterschiede der Flächen unter den Kurven sind ein Hinweis auf die stark variierenden Werte der Luftkerma(leistung) dieser Strahlungsqualitäten. Der obere Teil a) zeigt eine lineare Fluenz-Skala und der untere Teil b) eine logarithmische Skala. Als ein weiteres Beispiel zeigt **Bild 2** alle normierten Fluenzspektren der N-Serie, um die Vollständigkeit der Serien zu zeigen. Die vier Serien sind, geordnet nach zunehmender Filterung:

- Die Serie mit hoher Luftkermaleistung (en: high air kerma rate series): H-Serie;
- Die Serie mit breitem Spektrum (en: wide-spectrum series): W-Serie;
- Die Serie mit schmalen Spektrum (en: narrow-spectrum series): N-Serie und
- Die Serie mit niedriger Luftkermaleistung (en: low air kerma rate series): L-Serie.

Aus Vereinfachungsgründen werden in diesem Dokument Abkürzungen für die Strahlungsqualitäten eingeführt. Für Röntgenstrahlung wird die Strahlungsqualität durch die Buchstaben L, N, W oder H bezeichnet, entsprechend der Serie mit niedriger Luftkermaleistung (en: low air kerma rate series), der Serie mit schmalen Spektrum (en: narrow-spectrum series), der Serie mit breitem Spektrum (en: wide-spectrum series) und der Serie mit hoher Luftkermaleistung (en: high air kerma rate series), jeweils gefolgt von der erzeugenden Spannung in Kiloelektronvolt für die gefilterte Röntgenstrahlung. Referenzstrahlungen, die unter Verwendung von radioaktiven Quellen (en: sources) erzeugt werden, werden durch den Buchstaben S bezeichnet, gefolgt vom chemischen Symbol des Radionuklids; Referenzstrahlungen, die durch Kernreaktionen (en: nuclear reactions) erzeugt werden, werden durch den Buchstaben R bezeichnet, gefolgt vom chemischen Symbol des Elements des Targets, das für die Emission der Strahlung verantwortlich ist, und Fluoreszenzstrahlung (en: fluorescence radiation) wird durch den Buchstaben F bezeichnet, gefolgt von dem chemischen Symbol des Elements des Fluoreszenz-Targets, das für die Emission der Strahlung verantwortlich ist.