

	DIN IEC 62945 (VDE 0412-13)	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 13.280; 13.310 Strahlenschutz-Messgeräte – Messung der Bildqualität von Röntgen-Computertomographen (CT), die für die Sicherheitskontrolle eingesetzt werden (IEC 62945:2018) Radiation protection instrumentation – Measuring the imaging performance of X-ray computed tomography (CT) security-screening systems (IEC 62945:2018) Instrumentation pour la radioprotection – Mesure des performances d'imagerie des systèmes de contrôle de sécurité utilisant la tomographie par ordinateur (CT) à rayons X (IEC 62945:2018) Gesamtumfang 73 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist 2019-05-01.

Inhalt		Seite
Nationales Vorwort.....		5
Einleitung		7
1 Anwendungsbereich		8
2 Normative Verweisungen		9
3 Begriffe, Abkürzungen, Größen und Einheiten		9
3.1 Begriffe		9
3.2 Abkürzungen		12
3.3 Größen und Einheiten		12
4 Verfahren zur Bewertung der Abbildungsleistung		12
4.1 Allgemeine Anforderungen an die Prüfungsleistung		12
4.2 Beschreibung der Prüfgegenstände		14
4.3 Manuell protokollierte Daten		16
4.4 Genauigkeit der Objektlänge		20
4.5 Weglängen-CT-Wert und Z_{eff}		25
4.6 Rauschäquivalente Quantenzahl (NEQ)		26
4.7 Übereinstimmung der CT-Werte		31
4.8 Gleichförmigkeit des CT-Werts und Einheitlichkeit des Röntgenspektrums		31
4.9 Streifenartefakte		34
4.10 Schichtsensibilitätsprofil (SSP)		36
4.11 Übereinstimmung der Bildlage		38
5 Umgebungsbedingungen		41
Anhang A (normativ) Detaillierte Spezifikationen und Zeichnungen der Prüfgegenstände		42
A.1 Allgemeines		42
A.2 Handelsübliche Teile		42
A.3 Äußere Umhüllung		42
A.4 Detailzeichnungen der spezifischen Komponenten		43
Anhang B (informativ) Muster eines Berichtsformulars		67
B.1 Allgemeines		67
B.2 Musterbericht		67
Anhang C (informativ) Statistische Anleitung für Mehrfachscans, Übersichtsstatistiken und Vergleich der Ergebnisse		71
C.1 Allgemeines		71
C.2 Szenario A: Vergleich der Grundkonfiguration und der angestrebten (überarbeiteten) Konfiguration eines einzelnen CT-Systems		71
C.3 Szenario B: Vergleich eines Einzelsystems (zu prüfendes System) mit einem vorhandenen historischen Bestand von Geräten		72

Literaturhinweise	73
Bilder	
Bild 1 – Bezugsachsen für Prüfverfahren.....	13
Bild 2 – Prüfgegenstand A.....	14
Bild 3 – Prüfgegenstand B.....	15
Bild 4 – Muster eines Formulars für die manuelle Protokollierung von Daten	20
Bild 5 – Testobjekt für die Objektlänge.....	21
Bild 6 – Ergebnis des Verfahrens zur Ermittlung der Länge des Testobjekts, wenn der Prüfgegenstand innerhalb der Winkeltoleranz liegt	24
Bild 7 – Ergebnis des Verfahrens zur Ermittlung der Länge des Testobjekts wenn der Prüfgegenstand außerhalb der Winkeltoleranz liegt.....	24
Bild 8 – Testobjekt für die Weglänge.....	25
Bild 9 – Beispiel einer grafischen Darstellung der Ergebnisse für die Prüfung der Weglänge	26
Bild 10 – Testobjekt für die Bestimmung der rauschäquivalenten Quantenzahl.....	27
Bild 11 – Testobjekt für Z-Gleichförmigkeit und für Streifenartefakte	32
Bild 12 – Stifte in der axialen Schicht des Testobjekts (großer Kreis), Mittelpunkte zwischen benachbarten Stiftpaaren (kleine Kreise), eingezeichnete Linien und rechteckiger interessierender Bereich	34
Bild 13 – Schrägkanten-Testobjekt für die Messung der z-Auflösung	36
Bild 14 – Testobjekt hinsichtlich Übereinstimmung der Bildlage (nicht maßstabsgetreu)	38
Bild 15 – CT-Bild des Testobjekts hinsichtlich Übereinstimmung der Bildlage, Schichtebene 1	39
Bild 16 – Profil einer horizontalen Linie durch die CT-Schicht mit dem Testobjekt hinsichtlich Übereinstimmung der Bildlage	39
Bild 17 – Projektionsbild des Testobjekts bezüglich Bildlage mit einem vertikalen Profil durch das Bild	41
Bild A.1 – Montage des Prüfgegenstands Typ A	44
Bild A.2 – Montage des Prüfgegenstands Typ B	45
Bild A.3 – Montage der Teilkomponenten des Prüfgegenstands Typ A (Zeichnung 1 von 2)	46
Bild A.4 – Montage der Teilkomponenten des Prüfgegenstands Typ A (Zeichnung 2 von 2)	47
Bild A.5 – Montage der Teilkomponenten des Prüfgegenstands Typ B (Zeichnung 1 von 2)	48
Bild A.6 – Montage der Teilkomponenten des Prüfgegenstands Typ B (Zeichnung 2 von 2)	49
Bild A.7 – Teilkomponenten des Zylinder-Textobjekts Typ A.....	50
Bild A.8 – Ring-Teilkomponenten des Zylinder-Textobjekts Typ A.....	51
Bild A.9 – Nadel-Teilkomponenten des Zylinder-Textobjekts Typ A (Sreifenartefakte).....	52
Bild A.10 – Aluminium-Teilkomponenten des Textobjekts für die Übereinstimmung der Bildlage, Typ A.....	53
Bild A.11 – POM-Teilkomponenten des Textobjekts für die Übereinstimmung der Bildlage, Typ A.....	54
Bild A.12 – Zylinder-Testobjekt (Gleichförmigkeit des NEQ- und CT-Werts), Typ B	55
Bild A.13 – Testobjekt für die Objektlänge, Typen A und B	56
Bild A.14 – Testobjekt für die Weglänge, Typ A.....	57
Bild A.15 – SSP-Testobjekt, Typ B.....	58

	Seite
Bild A.16 – Trennwand zur Unterstützung von Komponenten, Typen A und B (Zeichnung 1 von 4)	59
Bild A.17 – Trennwand zur Unterstützung von Komponenten, Typ A (Zeichnung 2 von 4)	60
Bild A.18 – Trennwand zur Unterstützung von Komponenten, Typ B (Zeichnung 3 von 4)	61
Bild A.19 – Trennwand zur Unterstützung von Komponenten, Typ B (Zeichnung 4 von 4)	62
Bild A.20 – Stäbe zur Unterstützung von Komponenten, Typen A und B	63
Bild A.21 – Unterlegscheiben, Typen A und B	64
Bild A.22 – Unterbaugruppe für Zylinder-Testobjekt, Typ A	65
Bild A.23 – Unterbaugruppe für das Testobjekt zur Überprüfung der Übereinstimmung der Bildlage, Typ A	66
 Tabellen	
Tabelle 1 – Liste der Prüfverfahren und der gemessenen Indikatoren	16
Tabelle 2 – Ergebnisse der Bestimmung des Rauschleistungsspektrums	30
Tabelle 3 – Ergebnisse der Gleichförmigkeit der CT-Werte	33
Tabelle 4 – Ergebnisse der Streifenartefakt-Prüfung	36
Tabelle 5 – Ergebnisse der Bestimmung des Schichtsensibilitätsprofils	37
Tabelle A.1 – Handelsübliche Folien für die Herstellung von Testobjekten zur Prüfung der Gleichförmigkeit von CT-Werten und der Einheitlichkeit von Röntgenenergiespektren (siehe 4.8)	42

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 62945 (VDE 0412-13):2016-05.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium 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 enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 45B „Radiation protection instrumentation“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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.

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
—	IEC 60050-395:2014	a	—
—	IEC 60050-881	a	—
^a Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Einleitung

In diesem Dokument werden Standardprüfverfahren und Testobjekte für die Messung der Abbildungsleistung von Röntgen-Computertomographiesystemen (CT) für die Anwendung im Sicherheits-Screening festgelegt. Das Hauptanliegen ist dabei die Qualität der Daten für die automatische Analyse. Dieses Dokument behandelt nicht die Fähigkeit von Systemen, die Bilddaten für die automatische Erkennung von Sprengstoffen oder anderen gefährlichen Materialien zu benutzen, was üblicherweise von einer dafür zuständigen Aufsichtsbehörde verifiziert wird.

Angefügt sind drei Anhänge. [Anhang A](#) (normativ) enthält technische Zeichnungen der Prüfgegenstände für die Abbildungsleistung und der darin enthaltenen Testobjekte. [Anhang B](#) (informativ) enthält ein Musterformular des Prüfberichts. [Anhang C](#) (informativ) bietet eine statistische Anleitung für Mehrfachscans, zusammenfassende Statistiken und den Vergleich der Ergebnisse. Schließlich sind Literaturhinweise (informativ) zusammengestellt.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden Prüfverfahren für die Bewertung der Bildqualität von Computertomographiesystemen (CT) für das Sicherheits-Screening beschrieben. Das Hauptanliegen ist dabei die Qualität der Daten für die automatische Analyse. Dieses Dokument behandelt nicht die Fähigkeit von Systemen, diese Bilddaten für die automatische Erkennung von Sprengstoffen oder anderen gefährlichen Materialien zu benutzen, auch ist sie nicht gedacht für den Vergleich der Leistungsfähigkeit in der Gefahrenerkennung von Anlagen verschiedener Anbieter.

Sicherheits-Screening-Systeme werden im Allgemeinen benutzt, um Pakete einschließlich Gepäckstücke auf das Vorhandensein illegaler Substanzen wie z. B. Sprengstoff, Drogen oder andere Schmuggelware zu untersuchen. Viele der derzeit eingesetzten Screening-Systeme, insbesondere im Bereich der Transport-sicherheit, beruhen auf der CT-Bild-Technologie. Solche Systeme erfassen gewöhnlich ein CT-Bild eines Pakets, während das Paket durch das System transportiert wird. Diese Daten werden dann einer automatischen Analyse unterzogen, um festzustellen, ob von dem Paket eine Bedrohung ausgehen könnte oder ob es als unbedenklich einzustufen ist. Wenn die automatische Analyse feststellt, dass eine Bedrohung vorhanden sein könnte, wird das Bild häufig einem Anlagenbediener angezeigt, der die automatische Entscheidung aufheben und das Paket freigeben oder es einer weiteren Kontrolle unterziehen kann, wie z. B. Öffnen und manuelle Durchsuchung.

In der Vergangenheit haben staatliche Aufsichtsbehörden Bewertungsverfahren eingeführt, um festzustellen, ob die Leistungsfähigkeit eines Systems zur automatischen Gefahrenerkennung für den Einsatz innerhalb ihrer Landesgrenzen geeignet ist. Dazu reicht ein Anbieter gewöhnlich ein Muster seines Produkts einschließlich der Software bei der Aufsichtsbehörde ein. Dort wird eine breite Vielfalt von Paketen, die bedrohliche Materialien enthalten, ebenso wie Pakete ohne gefährlichen Inhalt, die nur typische Handelswaren enthalten, durch das System geschickt. Dabei werden die Quoten der erfolgreichen Erkennung und der Fehlalarme bestimmt und mit Leistungskriterien verglichen. Hält das System die Kriterien ein, wird es für den Einsatz zugelassen. Obwohl dieses Prüfverfahren sicherstellt, dass das System die geforderten Kriterien einhalten kann, bleibt doch die Frage offen, wie sichergestellt werden kann, dass alle Exemplare des Systems die Kriterien erfüllen. Normale Fertigungsschwankungen, Probleme in der Qualitätssicherung oder Alterung von Komponenten können die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu dem bei der Behörde geprüften Exemplar herabsetzen. Die Wiederholung der ursprünglichen Prüfung an jedem betreffenden Gerät ist praktisch nicht durchführbar. Der Transport des Gefahren-Prüfsatzes der Behörde zu einem Produktionsstandort oder zu Stellen, wo die Geräte eingesetzt sind, wirft erhebliche Sicherheitsfragen auf. Dieses Dokument nimmt sich dieses Themenkreises an, indem eine Reihe von Prüfverfahren spezifiziert wird, die vor Ort durchgeführt werden können, ohne gefährdende Materialien benutzen zu müssen.

Die von den Behörden vorgenommene Leistungsfähigkeitsprüfung bewertet im Wesentlichen die Kombination der Fähigkeit des Systems, ein Bild des Pakets zu erzeugen, mit der automatischen Analyse der Bilddaten, um daraus eine Entscheidung zu treffen, ob davon eine Bedrohung ausgeht oder nicht. Der zweite Teil dieses Ablaufs, die Analyse, wird von einer Software durchgeführt. Die Behörden verlangen generell, dass diese Software so gestaltet ist, dass sie sich durch ihren Gebrauch nicht weiterentwickelt. Die an allen Standorten der Systeme benutzte Software muss dieselben Funktionen ausführen, wie es die Software zum Zeitpunkt ihrer behördlichen Bewertung tat. Das Konfigurationsmanagement für eine solche Software ist eine bekannte und unkomplizierte Technik. Deshalb liegt die eigentliche Möglichkeit für Leistungsfähigkeitsunterschiede im Abbildungssystem, das der Analysesoftware die Daten zuführt. Wenn man quantitativ bestätigen kann, dass die Qualität des von einem bestimmten System erzeugten Bilds demjenigen Bild statistisch gleichwertig ist, das von dem bei der Behörde geprüften System erzeugt wurde, kann man ziemlich sicher sein, dass die Leistungsfähigkeit des betreffenden Systems gleich der ist, die von der Behörde freigegeben wurde.

Die Käufer von CT-Systemen für Anwendungen im Sicherheits-Screening sind im Allgemeinen keine CT-Experten. Unterschiede in den Messverfahren von scheinbar feststehenden Standardparametern der Bildqualität (Auflösung, Rauschabstand usw.) können den potenziellen Benutzer solcher CT-Systeme verunsichern. Weitere Normen bestehen für die Prüfung von Aspekten der CT-Bildqualität, insbesondere auf medizinischem Gebiet. Das vorliegende Dokument legt eine Reihe von Verfahren zur Bewertung der CT-Bildqualität im Hinblick auf den Einsatz im Sicherheits-Screening fest. Angewendet werden könnte dieses Dokument für die Werksabnahmeprüfung der Geräte, oder es könnte auch herangezogen werden, um anzuzeigen, ob ein zum Verkauf angebotenes Gerät die gleiche Bildqualität liefert wie das von der zuständigen Aufsichtsbehörde

geprüfte System. Da verschiedene Faktoren der Bildqualität gegeneinander abzuwägen sind und bei unterschiedlicher Kombination ein ähnliches Maß an Gefahrenerkennung liefern, ist es bei CT-Systemen, die für das Sicherheits-Screening eingesetzt werden, im Unterschied zu medizinischen CT-Systemen nicht sinnvoll, die Geräte einzelner Modelle oder einzelner Hersteller miteinander zu vergleichen.

In diesem Dokument wird nicht die Qualität des Bildes, das dem Bediener dargestellt wird, behandelt. Die für den Bediener sichtbare Bildqualität ist nicht notwendigerweise die gleiche, wie sie in der automatischen Analyse benutzt wird. Um die für die Bildwiedergabe auf dem Bildschirm notwendigen Ressourcen zu begrenzen, können die Bilddaten vor der Darstellung auf dem Bildschirm verringert werden. Umgekehrt kann es sein, dass die in der automatischen Analyse benutzten Daten absichtlich reduziert werden, um den Rechenaufwand des Analysecomputers zu verringern. Falls der Anwender dieses Dokuments die Qualität des Bildes, das dem Systembediener präsentiert wird, separat bewerten möchte, steht ihm für diesen Zweck eine Fülle von Verfahren zur Verfügung, einschließlich der optischen Auswertung von Linienpaaren und ASTM F792 [1]¹.

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).

IEC 60050-395:2014, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 395: Nuclear instrumentation: Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors*

IEC 60050-881, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 881: Radiology and radiological physics*

ASTM E1695, *Standard Test Method for Measurement of Computed Tomography (CT) System Performance*

ASTM-Publikationen sind zu beziehen von ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA (<http://www.astm.org/>).

ASTM D6100, *Standard Specification for Extruded, Compression Molded and Injection Molded Polyoxymethylene Shapes (POM)*

SAE AMS 4027: *Aluminum Alloy, Sheet and Plate, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr (6061; -T6 Sheet, -T651 Plate), Solution and Precipitation Heat Treated*

SAE AMS 4117: *Aluminum Alloy, Rolled or Cold Finished Bars, Rods, and Wire and Flash Welded Rings, 1.0Mg – 0.60Si – 0.28Cu – 0.20Cr, (6061; -T6, -T651), Solution and Precipitation Heat Treated*

3 Begriffe, Abkürzungen, Größen und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe. Die allgemeine Terminologie für Röntgensysteme und radiologische Physik ist in IEC 60050-395 und IEC 60050-881 enthalten.

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

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

¹ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

3.1.1

Computertomografie

(en: computed tomography)

CT

Verfahren zur Erzeugung eines dreidimensionalen Bildes eines Volumens mit Hilfe von Röntgen-Projektionsdaten

3.1.2

CT-Wert

(en: CT value)

Wert je Voxel, ausgegeben von CT-Systemen als Funktion aus Dichte und Atomzahl des Materials

3.1.3

koronales Bild

(en: coronal image)

zweidimensionales Bild, das durch Summieren eines dreidimensionalen Volumenbildes entlang der y-Achse entsteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Richtung der Achsen ist in [Bild 1](#) gezeigt.

3.1.4

effektive Atomzahl

(en: effective atomic number)

Z_{eff}

Materialeigenschaft, die die Atomzahl (Ordnungszahl) eines theoretischen Elements repräsentiert, das dieselbe Schwächungscharakteristik für Röntgenstrahlung hätte wie das Material, wenn dieses durch das Element ersetzt würde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messwerte von Z_{eff} können vom Scanner abhängig sein und sollten nicht als Absolutwerte betrachtet werden.

3.1.5

Mittelwert

(en: mean)

für n Größen, $x_1, x_2, \dots, x_n$, der Quotient der Summe dieser Größen durch n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.1.6

Modulationsübertragungsfunktion

(en: modulation transfer function)

MTF

frequenzabhängiges Maß der Auflösung eines Abbildungssystems bzw. dessen Fähigkeit zur Reproduzierung des Objektkontrasts. In einer Dimension wird die Modulationsübertragungsfunktion aus der Reaktion des Systems auf Kanten hoher Kontrastunterschiede unter Anwendung von ASTM E1695-95 berechnet.

3.1.7

Multi-Energie

(en: multi-energy)

Röntgenabbildungssystem, das Bilddaten bei mehr als einem Energiespektrum der Röntgenstrahlung erfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann z. B. bewirkt werden, indem die Röntgenröhrenspannung verändert wird, ein energieauflösender Detektor eingesetzt wird, oder mehrere Detektor-Sets mit unterschiedlichen Energie-Ansprechvermögen verwendet werden.

3.1.8

rauschäquivalente Quantenzahl

(en: noise equivalent quanta)

NEQ

von der Ortsfrequenz abhängiges Maß des Rauschens, interpretiert als die Zahl der Quanten (Strahlungseinwirkung), die ein idealer Detektor benötigen würde, um denselben Rauschabstand wie ein tatsächliches

Abbildungssystem zu erzeugen. Der Wert wird errechnet aus dem durchschnittlichen CT-Wert in einem abgebildeten Objekt, der Modulationsübertragungsfunktion und dem Rauschleistungsspektrum des Systems.

3.1.9

Rauschleistungsspektrum

(en: noise power spectrum)

NPS

von der Ortsfrequenz abhängige Schwankung des Rauschens in einem Abbildungssystem, errechnet aus der Fouriertransformation gleichmäßiger rauschbegrenzter Bilder

3.1.10

Projektionsbild

(en: projection image)

Röntgenbild, das durch die Erfassung der Röntgenstrahlenintensität hinter einem durchstrahlten Objekt entsteht und in dem alle Strukturen des Objekts auf eine einzelne Bildebene projiziert werden

3.1.11

Registrierung

(en: registration)

räumliches Verhältnis zwischen den Koordinatensystemen mehrerer Abbildungs-Subsysteme. Der Parameter bestimmt die Fähigkeit zur exakten Korrelation der Merkmale in einem Bild mit denen in anderen Bildern.

3.1.12

Schicht

(en: slice)

Querschnittsbild des untersuchten Objekts

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bildebene ist senkrecht zur Richtung der Transportbandbewegung (z-Achse).

3.1.13

Schicht-Empfindlichkeitsprofil

(en: slice sensitivity profile)

SSP

frequenzabhängige Messung der CT-Bildauflösung entlang der Bewegungsrichtung des Förderbandes (z-Achse)

3.1.14

Standardabweichung

(en: standard deviation)

Stichproben-Standardabweichung, σ_n , von n Größen, $x_1, x_2, \dots, x_n$, gegeben durch

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dabei ist $\bar{x}$ durch 3.1.5 gegeben.

3.1.15

Standardbetriebsart

(en: standard mode of operation)

Betriebsart, die vom Hersteller für die Überprüfung von Paketen normalerweise empfohlen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Manche Systeme bieten spezielle Betriebsarten zur Erfassung zusätzlicher Daten für Schulungszwecke an, die nicht als Standardbetriebsarten angesehen werden.

3.1.16

Prüfgegenstand

(en: test article)

vom System abzubildender Gegenstand, der mehrere Testobjekte in einer bestimmten geometrischen Anordnung enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Sinne dieses Dokuments sind unter Prüfgegenstand die in 4.2 definierten besonderen Gegenstände zu verstehen.

3.1.17

Testobjekt

(en: test object)

individuelles Objekt mit spezifischen Eigenschaften (Größe, Form, Material usw.), das nach Abbildung durch das System eine bestimmte Bewertung der Bildqualität zulässt

3.1.18

Voxel

(en: voxel)

Volumenelement, das in einem abgebildeten Volumen eine rechteckige prismenförmige Raumregion darstellt

3.2 Abkürzungen

CT	Computertomografie (en: computed tomography)
MTF	Modulationsübertragungsfunktion (en: modulation transfer function)
NEQ	rauschäquivalente Quantenzahl (en: noise equivalent quanta)
NPS	Rauschleistungsspektrum (en: noise power spectrum)
POM	Polyoxymethylen (en: polyoxymethylene)

ANMERKUNG POM ist das Acetal-Copolymer $(\text{CH}_2\text{O})_n$, aus dem die Testobjekte dieses Dokuments angefertigt sind.

ROI interessierender Bereich (in einem Bild) (en: region of interest (in an image))

SNR Rauschabstand (en: signal-to-noise ratio)

SSP Schicht-Empfindlichkeitsprofil (en: slice sensitivity profile)

3.3 Größen und Einheiten

In diesem Dokument sind die Einheiten Mehrfache oder Bruchteile der Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) [2]. Die Definitionen der Strahlungsgrößen sind in IEC 60050-395:2014 enthalten.

Die folgenden Einheiten können ebenfalls verwendet werden:

- für die Energie: Elektronenvolt (Einheitenzeichen: eV), $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- für die Zeit: Jahre (Einheitenzeichen: y), Tage (Einheitenzeichen: d), Stunden (Einheitenzeichen: h), Minuten (Einheitenzeichen: min);
- für die Temperatur: Grad Celsius (Einheitenzeichen: °C), $0 \text{ °C} = 273,15 \text{ K}$.

Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten werden, sofern angebracht, dem SI entsprechend verwendet.

4 Verfahren zur Bewertung der Abbildungsleistung

4.1 Allgemeine Anforderungen an die Prüfungsleistung

Die Systemkomponenten und Justierungen sollten die eines kommerziellen Standardprodukts für die normale Betriebsart für Sicherheits-Screening sein; alle Abweichungen davon müssen vom Bewerter in den manuell protokollierten Daten vermerkt werden. Wenn das System für den Betrieb in mehr als einer Konfiguration zugelassen ist, kann der Benutzer verlangen, dass die Prüfung bei allen entsprechenden Einstellungen durchgeführt wird. Die Bewertung muss auf den Bildern oder auf anderen Daten beruhen, die normalerweise in der Standardbetriebsart verwendet werden. Einwirkdauer und Einwirkstärke müssen so gewählt werden, wie sie im Betrieb des CT-Systems im beabsichtigten Gebrauch für Sicherheits-Screening benutzt werden. Vor jeder Prüfung muss eine Kalibrierung des CT-Systems vorgenommen werden. Eine eventuelle Nachkalibrierung des CT-Systems ist zulässig, sie muss in Übereinstimmung mit dem Standardbetrieb des Systems erfolgen. Um sicherzustellen, dass das System in einer der von der zuständigen Aufsichtsbehörde zugelassenen Konfiguration benutzt wird, kann der Benutzer fordern, dass der Verkäufer bei der Bewertung die spezifischen Einstellungen verwendet wie z. B. Röhrenspannung(en), Röhrenstrom, Voxelgröße, Bandlaufgeschwindigkeit usw. Nach Änderungen an der Software für die Bildrekonstruktion sollten neue Grundmessungen durchge-

führt werden. Alternativ dazu können neue Basisergebnisse offline errechnet werden, wenn die Daten dafür zur Verfügung stehen.

Die Prüfgegenstände (siehe 4.2) werden dem System in einer kontrollierten Position und Ausrichtung zugeführt. Die Hauptachse des Prüfgegenstands sollte parallel zur Laufrichtung des Transportbands ausgerichtet sein, und die Vorderseite des Gegenstands sollte zuerst in das System gelangen (die Vorderseite wird durch ein Etikett gekennzeichnet). In dem in 6.3 beschriebenen Prüfverfahren wird der Drehwinkel und der seitliche Versatz des Prüfgegenstands in Bezug auf die Mittellinie des Transportsystems festgelegt. Resultate aus Drehungen um mehr als 2° gegenüber der Parallelen zur Transportmittellinie sind zu verwerfen. Dieses Dokument verlangt, dass die Prüfgegenstände in der Mitte des Bands, direkt auf dem Band und innerhalb von ± 2 cm der Mittellinie des Transportbands gemessen werden. Entschließt sich der Benutzer, die Prüfgegenstände auch versetzt zur Mittellinie durchlaufen zu lassen, muss die Anforderung nach Parallelität dennoch eingehalten werden, und die dabei erfassten Daten müssen getrennt und separat behandelt werden.

Zum besseren Verständnis zeigt Bild 1 das Koordinatensystem, das für alle Verfahrensbeschreibungen benutzt werden muss. Die z-Achse verläuft entlang der Richtung der Bandbewegung, die y-Achse steht senkrecht dazu, und die x-Achse liegt quer zum Band. Die positive/negative Richtung des Achsensystems ist für die Anwendung dieser Norm ohne Bedeutung.

Nicht alle beschriebenen Verfahren sind für alle CT-Systeme anwendbar. Es muss für jedes Verfahren angegeben werden, ob es für alle CT-Typen oder nur für eine Untergruppe gilt.

Jedes in diesem Dokument beschriebene Prüfverfahren kann erforderliche Vorgehensweisen und Beispiele optionaler Techniken beinhalten, um die erforderlichen Ergebnisse zu erzielen. Dies ist wegen der Vielfalt der in Sicherheits-CT-Systemen anzutreffenden Ausführungen notwendig. In jedem Prüfverfahren wird festgelegt, wo Spielraum für Abweichungen von den Analyseverfahren besteht. Jede Abweichung von dem angegebenen Musterverfahren muss zusammen mit einer Begründung der Abweichung von dem empfohlenen Standardverfahren der Analyse dokumentiert werden. Diese Dokumentation muss dem Endbenutzer der Bildqualitätsbewertung zur Verfügung gestellt werden.

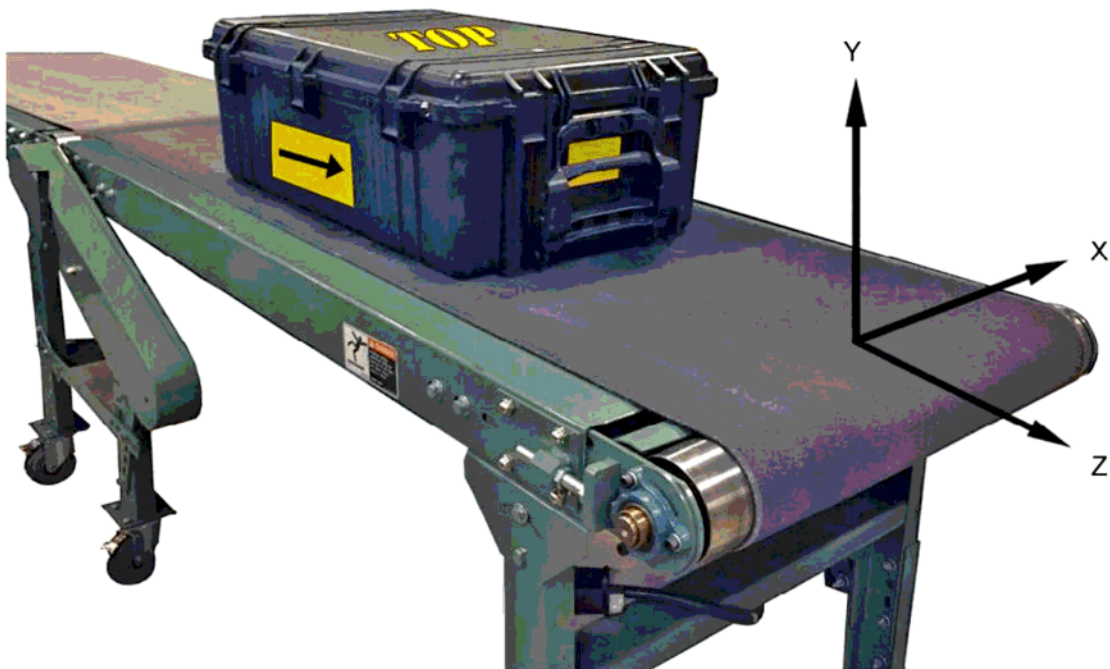


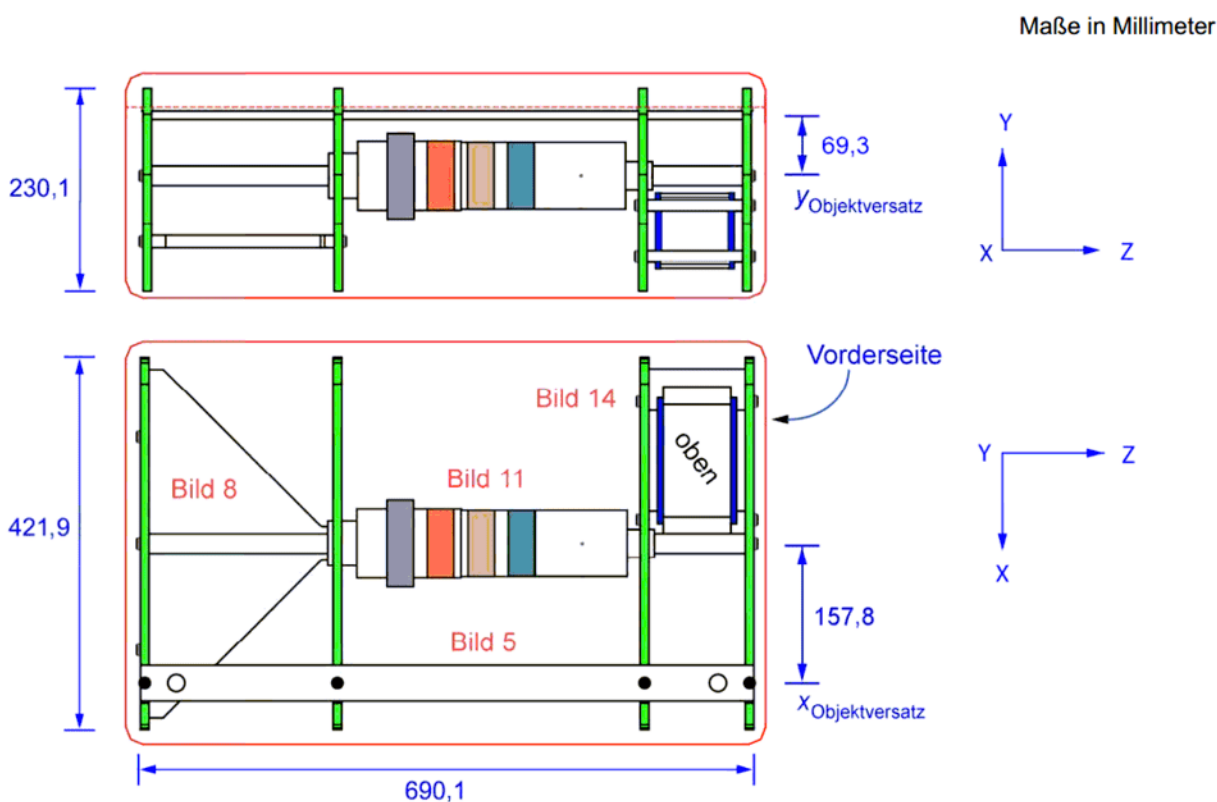
Bild 1 – Bezugsachsen für Prüfverfahren

4.2 Beschreibung der Prüfgegenstände

Für die Durchführung der Messung nach diesem Dokument werden zwei Prüfgegenstände benötigt. Sie werden als „Prüfgegenstand A“ und „Prüfgegenstand B“ bezeichnet und sind in den Bildern 2 und 3 gezeigt. Die Gegenstände bestehen aus mehreren in einem Rahmen montierten Testobjekten innerhalb eines kommerziell erhältlichen oder speziell hergestellten Koffers. Die Anordnung der Testobjekte wurde so gewählt, dass Artefakte auf Grund sich gegenseitig störender Bilder verschiedener Testobjekte minimal gehalten werden.

Bei der Herstellung der Prüfgegenstände für die Verwendung in diesem Dokument müssen die Testobjekte und deren Tragrahmen in Übereinstimmung mit dem in [Anhang A](#)^{N1} enthaltenen Satz von Detailzeichnungen gefertigt werden. Die äußere Hülle muss nach ihrer Haltbarkeit ausgewählt werden. Sie muss groß genug sein, um die spezifizierte Rahmenstruktur aufzunehmen. Wenn kommerziell erhältliche Umhüllungen verwendet werden, müssen sie möglicherweise verändert werden, um eventuell vorhandene Metallteile (Scharniere, Handgriffe, Befestigungen usw.) von den Seiten sowie der Ober- und Unterseite zu entfernen. Die Entfernung von Strukturen von der vorderen und rückwärtigen Oberfläche (die in z-Richtung zeigen) ist optional. Wenn ein handelsüblicher Koffer verwendet wird, muss er dahingehend modifiziert werden, dass alle signifikanten Kunststoffstrukturen längs der Seiten und des Ober- und Unterteils, welche die Abbildung des Testobjekts überlagern könnten, entfernt werden. Der Vergleich von Prüfergebnissen (beispielsweise nach einiger Zeit) muss stets mit derselben Umhüllung des Prüfgegenstands vorgenommen werden; wenn die Umhüllung geändert oder modifiziert wird, muss eine neue Grundmessung ausgeführt werden.

Die Außenhülle darf mit einer geeigneten Schaumstoffauskleidung geringer Dichte versehen werden, um den Tragrahmen im Prüfgegenstand fest in seiner Position parallel zur Bodenebene des Koffers und ausgerichtet auf die Mittellinie zu fixieren. Die genauen Abmessungen der einzelnen Testobjekte und ihre relativen Positionen innerhalb des Prüfgegenstandes sind in den Zeichnungen in [Anhang A](#) angegeben.



^{N1} Nationale Fußnote: In der IEC-Publikation wird hier fälschlich auf [Anhang B](#) verwiesen.

Prüfgegenstand A enthält die Testobjekte für die in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen Verfahren:

- 4.4 Genauigkeit der Objektlänge (Bild 5);
- 4.5 Weglängen-CT-Wert und Z_{eff} (Bild 8);
- 4.8 Gleichförmigkeit des CT-Werts und Übereinstimmung der Röntgenenergiespektren (Bild 11);
- 4.9 Streifenartefakte (Bild 11);
- 4.11 Übereinstimmung der Bildlage (Bild 14).

Maße in Millimeter

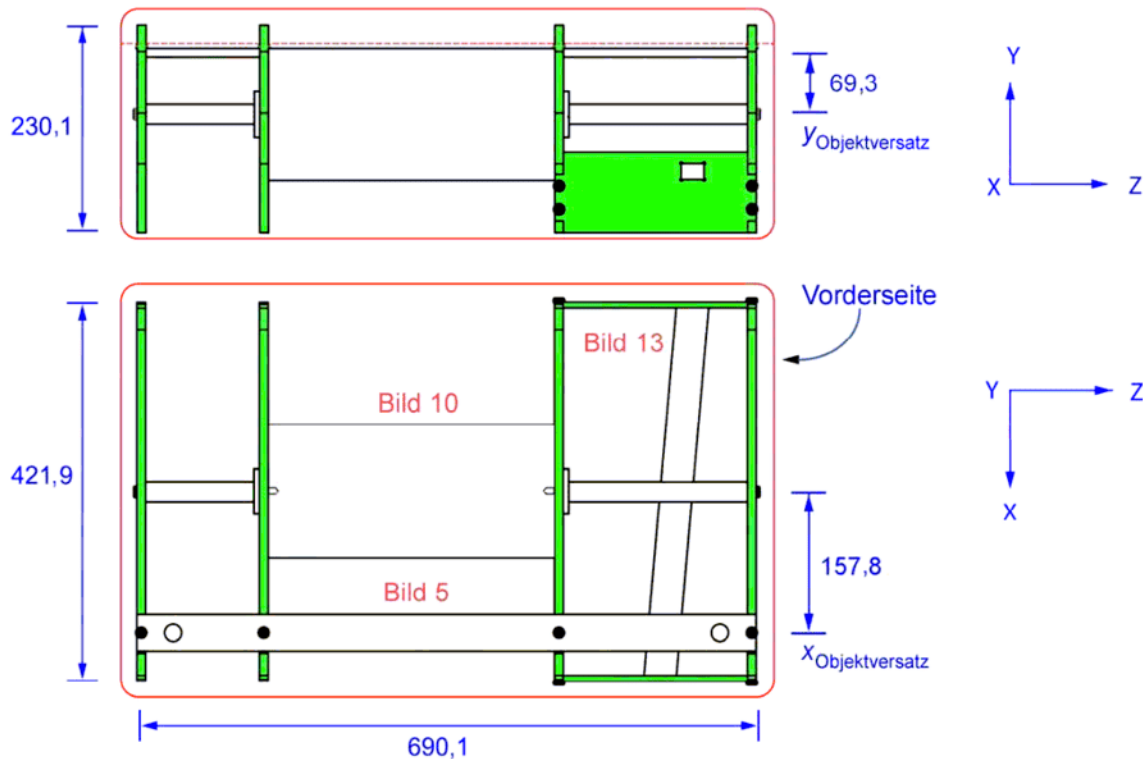


Bild 3 – Prüfgegenstand B

Prüfgegenstand B enthält die Testobjekte für die in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen Verfahren:

- 4.4 Genauigkeit der Objektlänge (Bild 5);
- 4.6 Rauschäquivalente Quantenzahl (NEQ) (Bild 10);
- 4.7 Übereinstimmung des CT-Werts (Bild 10);
- 4.10 Schichtsensibilitätsprofil (SSP) (Bild 13).

Um sicherzustellen, dass der Prüfkörper entsprechend den Bezeichnungen „Vorderseite“ und „oben“ in den Bildern 2 und 3 auf dem Förderband des Sicherheitssystems ausgerichtet ist, muss die Außenseite der Prüfkörperumhüllungen Beschilderungen wie „Bandrichtung“ (en: „belt direction“) und „diese Seite nach oben“ (en: „this side up“) enthalten.

Dieses Dokument legt Messverfahren für eine Vielzahl von Bildqualitätsindikatoren fest. Tabelle 1 enthält eine Liste der Prüfverfahren, der damit gemessenen Bildqualitätsindikatoren und der dabei verwendeten Testobjekte.

Tabelle 1 – Liste der Prüfverfahren und der gemessenen Indikatoren

Prüfverfahren	Bildqualitätsindikator	Testobjekt	Prüfgegenstand
Genauigkeit der Gegenstandsgröße	Länge der Gegenstände in Bezug auf die erwarteten Werte	POM ^a -Platte mit Bohrloch an jedem Ende	A und B
Weglängen-CT-Wert und Z_{eff}	Gleichförmigkeit von Dichte und Z_{eff} , gemessen entlang einer variablen Röntgenstrahlenweglänge	POM-Dreieck	A
Rauschäquivalente Quantenzahl	Räumliche Auflösung des Systems in der Ebene, normiert gemäß dem Rauschen des Systems	POM-Zylinder	B
Gleichförmigkeit des CT-Werts	(a) Messung des durchschnittlichen CT-Werts für einen Referenzgegenstand (b) Schwankung des CT-Werts im Referenzgegenstand	POM-Zylinder	B
Übereinstimmung von CT-Wert und Einheitlichkeit der Röntgenenergiespektrum	Messung von Z_{eff} und CT-Wert bei verschiedenen Dicken der die Strahlung abschwächenden Metalle	POM-Zylinder, umwickelt mit Lagen aus Aluminium, Kupfer, Zinn und Blei	A
Streifenartefakte	Maß der Schwankung in einem nominalen Z_{eff} -Material, hervorgerufen durch das Vorhandensein eines Materials mit hohem Z_{eff} in unmittelbarer Nähe	POM-Zylinder mit eingeschlossenen Stiften aus Wolframlegierung	A
Schichtsensitivitäts-Profil (SSP)	Auflösung des Bildes entlang der Bandbewegungsrichtung	POM-Rechteckstab, dargestellt unter 5°	B
Übereinstimmung der Bildlage	Gleiche physische Ausrichtung der Referenzbilder der Abbildungs-Subsysteme	POM- und Aluminiumplatten, so angeordnet, dass ein Kasten mit einer diagonalen POM-Platte entsteht	A
^a Volle Spezifikation: Zu verwenden ist Acetal-Copolymer (Polyoxymethylen oder POM), das den Spezifikationen nach ASTM D6100 und der darin genannten Bezeichnung S-POM0211LP (Copolymer, nicht besetzte Klasse, Universalqualität, geringe Porosität) entspricht. Es handelt sich dabei um einen thermoplastischen Kunststoff mit einer Dichte von etwa 1,4 g/cm ³ . Er enthält keine Füllstoffe, Modifizierungsmittel für die Schlagfestigkeit oder andere Zusätze wie Farbstoffe, Fasern, chemische Schmiermittel oder Schwermetalle. Vor dem Bau des NEQ-Testobjekts muss der Kern des gelieferten POM-Stabs auf eine niedrige Porosität durch Anwendung des in ASTM D6100 spezifizierten Verfahrens überprüft werden. Die POM-Teile sollten mit Maschinen bearbeitet werden, die nur für Kunststoffe eingesetzt werden, um eine Kreuzkontamination mit Metallen und Maschinenöl zu vermeiden.			

Zusätzlich zur Durchführung der beschriebenen Bildqualitätsverfahren ist es wichtig, bestimmte Daten von dem zu prüfenden System und die Umgebungsbedingungen manuell zu protokollieren. Im nächsten Unterabschnitt werden die manuell festzuhaltenden Daten aufgeführt. Die folgenden Unterabschnitte behandeln die einzelnen Verfahren und beschreiben detailliert, wie die Messungen durchzuführen sind.

4.3 Manuell protokollierte Daten

4.3.1 Zweck

Hersteller können eine Reihe von Modellen unter demselben generellen Produktnamen herstellen, deren Leistungsfähigkeit unter verschiedenen Umgebungsbedingungen unterschiedlich sein kann. Betrachtet man die Ergebnisse dieses Bewertungsverfahrens, ist es wichtig sicherzustellen, dass vergleichbare Systeme unter vergleichbaren Bedingungen miteinander verglichen werden. In diesem Unterabschnitt werden die Daten des Systems und die Bewertungsbedingungen festgelegt, die als Minimum manuell protokolliert werden müssen.

4.3.2 Systemdaten

4.3.2.1 Allgemeines

Die folgenden Daten sind vom Hersteller des Systems erhältlich oder stammen in manchen Fällen vom System selbst. Es ist nicht beabsichtigt, dass das Bewertungsteam tatsächlich Messungen der nach diesem Unterabschnitt festzuhaltenden Daten vornimmt.

4.3.2.2 Allgemeine Informationen

- a) Prüfverfahren: Anzugeben ist, dass die Bewertung in Übereinstimmung mit diesem Dokument durchgeführt wurde.
- b) Hersteller: Anzugeben ist der Name der Firma, die das System hergestellt hat.
- c) Modell: Anzugeben ist die vollständige Modellbezeichnung bzw. die Nummer des Systems.
- d) Seriennummer: Anzugeben ist die unverwechselbare Seriennummer des zu bewertenden Systems.
- e) Konfiguration: Zu beschreiben ist die Konfiguration des zu bewertenden Systems. Ist es für den Betrieb in einer Anlage oder als eigenständiges Gerät gedacht?
- f) Scanverfahren: Zu beschreiben ist das Scanverfahren des Systems (Spiralscan, statische Schicht, nicht-drehendes Gantry usw.).
- g) Bandgeschwindigkeit: Anzugeben ist die Laufgeschwindigkeit des Transportbands des Systems anhand der Spezifikation des Herstellers. Wenn das Gerät während der Bewertung mit mehreren Geschwindigkeiten arbeitet, sind sowohl die maximale als auch alle für den tatsächlichen Scanablauf anwendbaren Scangeschwindigkeiten festzuhalten.

4.3.2.3 Informationen über die Röntgenstrahlenquelle

- a) Typ der Röntgenstrahlenquelle: Werden mehrere Strahlenquellen benutzt, ist deren Anzahl anzugeben. Charakteristische Merkmale der Strahlenquelle sind zu beschreiben wie z. B. Anodenmaterial, Mehrfachanode, Mehrfachkathode, kontinuierliche Emission oder kontrolliert von einer Gitterspannung, Abtaststrahl, nominale Eigenfilterung (falls vom Hersteller angegeben) und alle vom Hersteller angegebenen Zusatzfilterungen usw. Wenn mehr als ein Strahlenquellentyp benutzt wird, sind alle einsetzbaren Typen und die Nummer jedes Typs festzuhalten.
- b) Röntgenröhrenspannung: Anzugeben ist die Spannung in kV. Wenn mehr als ein Spannungswert benutzt wird, sind alle Werte anzugeben.
- c) Röntgenröhrenstrom: Anzugeben ist der Röhrenstrom in mA. Wenn mehr als ein Stromwert benutzt wird, sind alle Werte anzugeben.
- d) Betriebsdauer: Wenn das System die Anzahl der Betriebsstunden der Röntgenstrahlenquelle registriert, ist sie hier anzugeben. Andernfalls ist „nicht zutreffend“ (N/A) einzutragen. Wenn Daten von mehr als einer Strahlenquelle zur Verfügung stehen, sind alle verfügbaren Daten zu notieren.

In manchen Systemen können mehrere Strahlenquellen zum Einsatz kommen. In solchen Fällen muss die Gesamtanzahl der Strahlenquellen genannt werden und es muss eine Beschreibung der besonderen Betriebsbedingungen gegeben werden. Besitzt ein System z. B. sechs Röntgenstrahler desselben Typs, die alle mit gleichem Strom betrieben werden, von denen jedoch zwei mit 100 kV und vier mit 180 kV arbeiten, sollte die Beschreibung folgendermaßen aussehen:

Typ: 6 Strahlenquellen mit Wolframkathode und kontinuierlicher Emission;
 Spannung: zwei Röntgenstrahler mit 100 kV und vier Röntgenstrahler mit 180 kV;
 Strom: 10 mA;
 Betriebsstunden: Röhren 1, 3, 4, 5, 6 – 2 122 h, Röhre 2 – 135 h.

4.3.2.4 Informationen über die Bildrekonstruktion

- a) Rekonstruktionsverfahren: Anzugeben ist das Verfahren der Bildrekonstruktion (gefilterte Rückprojektion, Fourier-Inversionsmethode, iteratives Verfahren usw.).
- b) Voxelabstand: Anzugeben ist der Abstand zwischen den rekonstruierten Voxeln in Millimeter in x-, y- und z-Richtung.

4.3.2.5 Systemsoftware

Anzugeben ist die Versionsnummer des Herstellers für jedes der folgenden Softwareelemente. Falls der Hersteller ein bestimmtes Element nicht separat aufführt, ist anzugeben, in welchem Softwareelement es enthalten ist.

- a) Anzeige: Software, die das Bediener-Display steuert.
- b) Rekonstruktion: Software, die Projektionsdaten in CT-Bilder umwandelt.
- c) Systemsteuerung: Software; welche die Steuerung des Systems, des Zustands des Antriebssystems, die Hardware, das Zusammenwirken mit der Gepäckförderanlage usw. steuert.
- d) Betriebssystem: Betriebssystem(e) für die Computer des Systems (Windows Vista®, Fedora Core 6 Linux usw.)².

4.3.3 Daten der Auswertungsumgebung

Die folgenden Daten beziehen sich auf die Umgebung, in der die Bewertung durchgeführt wurde. Im Allgemeinen beruht die Bewertung auf einem einzelnen Scan von jedem Prüfgegenstand und der Protokollierung der Ergebnisse. In Fällen, in denen viele Scans durchgeführt werden, wie z. B. zur Festlegung des Grundstatus für einen bestimmten Scanner, müssen die Daten der Auswertungsumgebung angegeben werden, so dass sie auch Datum, Uhrzeit, Temperatur usw. zu Beginn des Scans und am Ende des Scans enthalten.

Die Bewerter müssen folgende Daten angeben:

- a) Lokales Datum: Anzugeben ist das Datum am Prüfort im Format Jahr/Monat/Tag.
- b) Lokale Uhrzeit: Anzugeben ist die Uhrzeit am Prüfort zu Beginn der Bewertung im Format Stunden:Minuten, wobei die Stunden von 0 bis 24 gezählt werden.
- c) Ort: Anzugeben ist die vollständige Adresse des Standorts, an dem der Scan für die Bewertung durchgeführt wurde.
- d) Umgebungstemperatur: Anzugeben ist die um das System herum bestehende Umgebungstemperatur in Grad Celsius.
- e) Umgebungsfeuchte: Anzugeben ist die relative Luftfeuchte der das System umgebenden Atmosphäre.
- f) Detektortemperatur: Wenn das System Temperaturanzeigen für sein(e) Detektor-Array(s) besitzt, sind die Temperaturwerte nach dem Aufwärmen des Systems und unmittelbar vor dem Scan der Prüfgegenstände anzugeben. Falls das System mehrere Detektormesswerte anzeigt, sind der maximale, der minimale und der mittlere Wert anzugeben. Temperaturangaben sind in Grad Celsius zu machen.
- g) Personal: Anzugeben sind die vollständigen Namen und Zugehörigkeiten des Personals, das die Bewertung durchgeführt hat.
- h) Telefonnummer: Anzugeben ist eine Telefonnummer, unter der der Leiter des Bewertungsteams erreicht werden kann, falls Fragen zur Bewertung auftreten.
- i) Hersteller der Prüfgegenstände: Anzugeben ist der Hersteller der bei der Bewertung verwendeten Prüfgegenstände.
- j) Seriennummern der Prüfgegenstände: Anzugeben sind die unverwechselbaren Seriennummern jedes der für die Bewertung benutzten Prüfgegenstands.

² Diese Angaben dienen lediglich zur Veranschaulichung und stellen keine Empfehlung dieser Produkte durch IEC dar. Die Verwendung gleichwertiger Produkte ist zulässig, wenn nachgewiesen werden kann, dass sie zu denselben Ergebnissen führen.

4.3.4 Bemerkungen

Im Unterabschnitt „Bemerkungen“ sollten die Bewerter alle Gesichtspunkte oder Probleme notieren, die während der Durchführung der Bewertung aufgetreten sind. Falls das geprüfte System von dem kommerziell erhältlichen Standardprodukt, das im normalen Sicherheits-Screening eingesetzt wird, abweicht, müssen die Bewerter diese Abweichungen hier angeben (z. B. „System wurde ohne laufende Klimaanlage betrieben, um die Bedingungen in einem heißeren Klima zu simulieren“).

4.3.5 Abweichungen von den spezifizierten Verfahren

Einige der in diesem Dokument beschriebenen Prüfverfahren erlauben dem Bewerter ausdrücklich, alternative Wege zur Berechnung der Werte zu beschreiten. Im Unterabschnitt „Abweichungen“ muss der Bewerter jede Abweichung von den in diesem Dokument spezifizierten Prüfverfahren angeben. Dort muss angegeben werden, welche speziellen Verfahren verändert wurden, und die Modifikationen müssen zusammen mit der jeweiligen Begründung angegeben werden.

Bei Multi-Energie-Systemen sind die Schichten der jeweiligen Energiestufen möglicherweise nicht ordnungsgemäß zueinander ausgerichtet. Der Ausrichtungsfehler könnte dann groß genug sein, um Einfluss auf bestimmte Rechenwerte zu haben. Um diese Fehlausrichtung zu messen, kann die Übereinstimmung zwischen Merkmalen des Prüfgegenstands an den Ecken der Umhüllung (Typ A oder Typ B) verwendet werden, um den Ausrichtungsfehler der mit unterschiedlichen Spektren erfassten Bilder zu ermitteln und zu quantifizieren. Entsprechende Elemente können interaktiv oder mit einem automatischen Algorithmus (z. B. gefolgt von der normierten Kreuzkorrelation [3]) ermittelt werden. Als Nächstes können mögliche zweidimensionale Transformationen bewertet werden, z. B. mit dem Verfahren der kleinsten Quadrate oder mit der Parametertransformation zwischen einander entsprechenden Elementen [4].

4.3.6 Darstellung der Ergebnisse

Die manuell protokollierten Daten müssen den entsprechenden Ergebnissen anderer Bildauswertungsverfahren, die in diesem Dokument spezifiziert sind, angefügt werden. Die Daten sollten in der gleichen Weise zu Gruppen zusammengefasst werden, wie dies im vorherigen Unterabschnitt beschrieben ist. Bild 4 zeigt das Muster eines Formulars, doch sind andere logisch aufgebaute Formulare für die Datenpräsentation ebenfalls zulässig.

Bildqualitätsbericht Bewertet in Übereinstimmung mit der Norm IEC 62945 für die Messung der Abbildungsleistungsfähigkeit von Röntgen-Computertomografie (CT) für das Sicherheits-Screening	
Manuelles Datenprotokoll	
Bewertetes System	
Hersteller: _____ Modell: _____ Seriennummer: _____ Konfiguration: _____ Scanmethode: _____ Bandgeschwindigkeit: _____	Rekonstruktionsverfahren: _____ Voxelabstand: x: _____ y: _____ z: _____
Röntgenstrahlenquelle Typ: _____ Spannung: _____ Strom: _____ Filterung: _____ Betriebsstunden: _____ Softwareversionen Display : _____ Rekonstruktion: _____ Systemsteuerung: _____ Betriebssystem: _____	
Auswertungsbedingungen	
Ortszeit: _____ Datum: _____ Aufstellungsort: _____ _____ _____ Umgebungstemperatur: _____ Umgebungsfeuchte: _____ Detektortemperatur: _____	Scanpersonal: _____ _____ _____ Telefonnummer: _____ Hersteller des Prüfgegenstandes: _____ Serien-Nr. des Prüfgegenstandes: _____
Kommentare: _____ _____ Abweichungen von den spezifizierten Methoden: _____ _____	

Bild 4 – Muster eines Formulars für die manuelle Protokollierung von Daten

4.4 Genauigkeit der Objektlänge

4.4.1 Zweck

Mit dieser Prüfung wird die Genauigkeit des Systems bei der Messung der Länge eines Objekts festgestellt. Durch die Koordination zwischen Bandgeschwindigkeit und Gantry-Drehgeschwindigkeit (oder anderen Röhrenbewegungen) kann die Genauigkeit beeinträchtigt werden. Durch Fehler in der Genauigkeit der Objektlänge kann das System in seiner Fähigkeit beeinträchtigt werden, die Größe und die Masse des zu prüfenden Objekts einheitlich zu bestimmen.

Diese Prüfung ist für alle Systeme durchzuführen.

Da die Masse bei den meisten Anwendungen des Sicherheits-Screenings ein kritischer Parameter ist, muss sichergestellt sein, dass sie mit hoher Übereinstimmung gemessen wird. Die absolute Genauigkeit der Messung ist nicht so wichtig wie die Übereinstimmung. Wenn ein System ein Objekt übereinstimmend zu kurz

oder zu lang vermisst, kann die Erkennungs-Software dies entsprechend ausgleichen. Eine von Gerät zu Gerät unterschiedliche Messung macht den Ausgleich durch die Software jedoch unmöglich, und die Bestimmung der Masse eines Objekts würde unterschiedlich ausfallen.

Mit diesem Verfahren wird auch der Winkel der Darstellung des Testobjekts gemessen. Auf Grund der Empfindlichkeit mancher Prüfverfahren dieses Dokuments bei der Bestimmung des Testobjektwinkels wird diese Messung als ein Brauchbarkeits-/Unbrauchbarkeits-Kriterium benutzt, d. h. zur Festlegung, ob die Prüfverfahren bei einem bestimmten Scan durchgeführt werden können. Gleiche Ausführungen des Testobjekts werden in beide Prüfgegenstände eingebaut, so dass dieses Prüfverfahren bei beiden Gegenständen durchgeführt werden muss.

Des Weiteren bietet dieses Verfahren ein Maß für die Einheitlichkeit der Lage des Prüfgegenstands im Raum, d. h. Versatz sowohl in x- als auch in y-Richtung, was ebenfalls als Brauchbarkeits-/Unbrauchbarkeits-Kriterium eingesetzt werden kann.

4.4.2 Beschreibung des Testobjekts

Das Testobjekt für die Bewertung ist in Bild 5 gezeigt. Es besteht aus einer langen rechteckigen POM-Platte mit einem Loch von 19,1 mm Durchmesser an jedem Ende. Das Objekt ist so in dem Prüfgegenstand angeordnet, dass seine Längsachse parallel zur Längsachse des Prüfgegenstands verläuft und die Achsen der Löcher senkrecht auf dem Boden des Prüfgegenstands stehen.

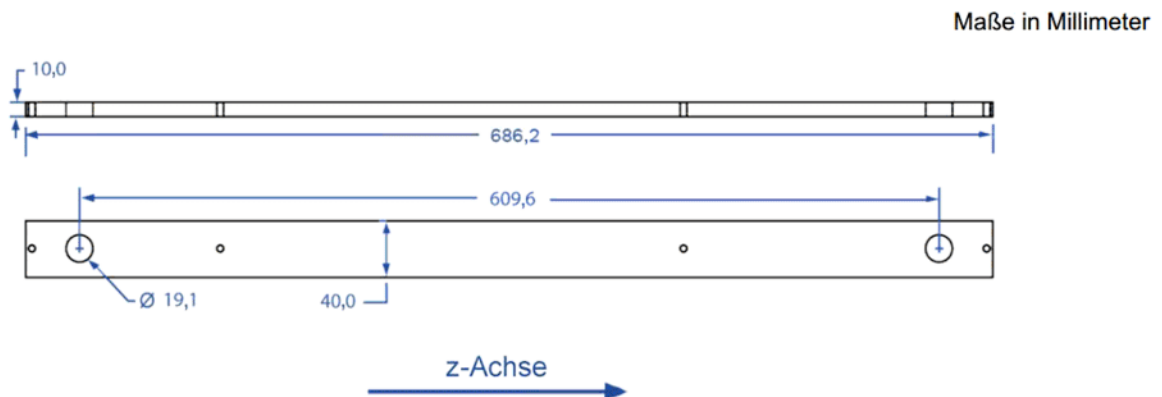


Bild 5 – Testobjekt für die Objektlänge

4.4.3 Prüfverfahren

Mit dem Prüfverfahren muss der Winkel der Darstellung des Objekts ermittelt und die Länge in Millimeter gemessen werden. Sie isoliert die Voxel, welche die runden Löcher an den Enden des Testobjekts wiedergeben, und berechnet deren Schwerpunkt. Da diese Berechnung über viele Voxel erfolgt, wird damit auch die Lage des Lochs mit einer höheren Präzision als der Voxelgröße bestimmt. Die Lagen der Schwerpunkte dienen dazu, die Länge des Objekts zu ermitteln, und dafür zu sorgen, dass der Prüfgegenstand in einem akzeptablen Winkel dargestellt wird. Der Versatz des Prüfgegenstands wird ebenfalls berechnet und kann benutzt werden, um die Einheitlichkeit der Platzierung des Prüfgegenstands auf dem Band in x- und y-Richtung zu überprüfen.

Das folgende Verfahren ist ein Beispiel dafür, wie der Schwerpunkt der Löcher errechnet und benutzt werden kann, wenn kontinuierliche volumetrische Daten zur Verfügung stehen. Alternative Vorgehensweisen sind zulässig, solange sie den Schwerpunkt jedes der beiden Löcher feststellen und die Längen- und Winkelmessung auf der relativen Lage der Schwerpunkte beruht.

- Innerhalb der CT-Daten ist ein rechtwinkliges Subvolumen festzulegen, das die Länge $l(x,y,z)$ des Testobjekts isoliert.
- Alle CT-Werte innerhalb dieses interessierenden Bereichs sind entlang der y-Achse zu addieren, um ein koronales Bild $I_c(x,z)$ des Testobjekts zu erzeugen, dessen Länge und Breite gleich der Länge und Breite des Subvolumens sind.

Konkret bedeutet das:

$$I_c(x, z) = \frac{\sum_{i=y_1}^{y_2} I(x, i, z)}{N}$$

Dabei sind

$I(x, y, z)$ die CT-Voxeldaten auf den x-, y-, z-Koordinaten;

y_1 und y_2 die untere und obere y-Koordinate des Subvolumens I ;

N die Höhe in Voxeln in y-Richtung;

x, y, z diskrete Variablen.

- c) Der Maximalwert von $I_c(x, z)$ ist zu ermitteln und dieser Wert wird als $I_{\max}$ bezeichnet.
- d) Es ist $I_T(x, z)$ aus I_c zu bilden. Hierzu sind alle Werte von I_T auf eins (1) zu setzen, bei denen $I_c(x, z)$ niedriger ist als $I_{\max}/2$, und es sind alle Werte in I_T auf null (0) zu setzen, bei denen $I_c(x, z)$ größer als oder gleich $I_{\max}/2$ ist.

$$I_T(x, z) = \begin{cases} 1, & I_c(x, z) < \frac{I_{\max}}{2} \\ 0, & I_c(x, z) \geq \frac{I_{\max}}{2} \end{cases}$$

- e) Es sind alle Einsen, die außerhalb des Bilds des Testobjekts in I_T sind, in Nullen umzuwandeln, so dass nur in I_T die Löcher als Einsen erhalten bleiben.
- f) Der Schwerpunkt des ersten Lochs ist zu berechnen.

Für jedes Pixel in $I_T(x, z)$ mit dem Wert 1 im Bereich des ersten Lochs gilt:

$$xsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{\max}}{2} - I_c(x, z) \right) \times x$$

$$zsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{\max}}{2} - I_c(x, z) \right) \times z$$

$$nsum = \sum_z \sum_x I_T(x, z) \times \left(\frac{I_{\max}}{2} - I_c(x, z) \right)$$

$$x_{c1} = xsum/nsum$$

$$z_{c1} = zsum/nsum$$

- g) Nun ist die Berechnung für das zweite Loch zu wiederholen, was x_{c2} und z_{c2} ergibt.
- h) Die Werte x_{c1} , z_{c1} , x_{c2} und z_{c2} sind in Millimeter umzuwandeln.
- i) Die Länge (en: length) und α sind zu berechnen:

$$length = \sqrt{(z_{c1} - z_{c2})^2 + (x_{c1} - x_{c2})^2}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{(x_{c2} - x_{c1})}{length}$$

Als Überprüfung der Einheitlichkeit der Platzierung des Prüfgegenstandes wird der „Kofferversatz“ wie folgt berechnet. Die nachstehenden Gleichungen gehen davon aus, dass das vollständig rekonstruierte Bildvolumen in x- und y-Richtung entlang der Mittelachse (d. h. in z-Richtung) des POM-Zylinders zentriert ist, und zwar in jedem Einzelfall (Typ A und Typ B). Es wird weiterhin angenommen, dass positive x- und y-Werte ausgehend von den Kanten des Bildvolumens gemessen werden. Wenn der Prüfgegenstand aufgrund einer systematischen Verschiebung nicht übereinstimmend in der Mitte des rekonstruierten Bildes liegt, bleibt der