

DIN EN ISO 15708-2



ICS 19.100

Entwurf

Einsprüche bis 2018-12-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 16016-2:2012-01

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Durchstrahlungsverfahren für Computertomografie –
Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben (ISO 15708-2:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 15708-2:2018**

Non-destructive testing –
Radiation methods for computed tomography –
Part 2: Principles, equipment and samples (ISO 15708-2:2017);
German and English version prEN ISO 15708-2:2018

Essais non destructifs –
Méthodes par rayonnements pour la tomographie informatisée –
Partie 2: Principes, équipements et échantillons (ISO 15708-2:2017);
Version allemande et anglaise prEN ISO 15708-2:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-10-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 47 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 15708-2:2017 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135, „Non-destructive testing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 15708-2:2018 durch das Technische Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-22 AA „Industrielle Durchstrahlungsprüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

DIN EN ISO 15708 besteht unter dem allgemeinen Titel *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren — Computertomografie* aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Terminologie*
- *Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben*
- *Teil 3: Durchführung und Auswertung*
- *Teil 4: Qualifizierung*

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 15708-1:2017	siehe E DIN EN ISO 15708-1:2018-11
ISO 15708-3:2017	siehe E DIN EN ISO 15708-3:2018-11
ISO 15708-4:2017	siehe E DIN EN ISO 15708-4:2018-11
ISO 9712	siehe DIN EN ISO 9712

Änderungen

Gegenüber DIN EN 16016-2:2012-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normative Verweisungen aktualisiert;
- b) redaktionelle Überarbeitung des Dokumentes.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

E DIN EN ISO 15708-1:2018-11, *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren für Computertomografie — Teil 1: Terminologie*

E DIN EN ISO 15708-3:2018-11, *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren für Computertomografie — Teil 3: Durchführung und Auswertung*

E DIN EN ISO 15708-4:2018-11, *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren für Computertomografie — Teil 4: Qualifizierung*

— Leerseite —

Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsverfahren für Computertomografie — Teil 2: Grundlagen, Geräte und Proben (ISO 15708-2:2017)

Essais non destructifs — Méthodes par rayonnements pour la tomographie informatisée — Partie 2 : Principes, équipements et échantillons (ISO 15708-2:2017)

Non-destructive testing — Radiation methods for computed tomography — Part 2: Principles, equipment and samples (ISO 15708-2:2017)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Allgemeine Grundlagen	5
4.1 Wesentliche Grundsätze	5
4.2 Vorteile der CT	6
4.3 Einschränkungen der CT	6
4.4 Hauptschritte des CT-Prozesses	7
4.4.1 Datenerfassung	7
4.4.2 Rekonstruktion	8
4.4.3 Darstellung und Analyse	8
4.5 Artefakte in CT-Bildern	9
5 Ausrüstung und Geräte	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Strahlenquellen	10
5.3 Detektoren	11
5.4 Manipulation	11
5.5 Erfassungs-, Rekonstruktions-, Darstellungs- und Speichersystem	12
6 CT-Systemstabilität	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Stabilität der Röntgenstrahlung	13
6.3 Stabilität des Manipulators	13
7 Geometrische Ausrichtung (Justierung)	13
8 Betrachtungen hinsichtlich der Probe	14
8.1 Größe und Form der Probe	14
8.2 Materialien (einschließlich Tabelle Spannung/Eindringtiefe)	14
Anhang A (informativ) Bauteile des CT-Systems	16
Literaturhinweise	23

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 15708-2:2017 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135, „Non-destructive testing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 15708-2:2018 durch das Technische Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 16016-2:2011 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 15708-2:2017 wurde von CEN als prEN ISO 15708-2:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke 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 Europäischen Komitee für Normung (CEN) (als EN 16016-2) erarbeitet und wurde mithilfe eines speziellen „Schnellverfahrens“ vom Technischen Komitee ISO/TC 135, *Non-destructive testing*, Unterkomitee SC 5, *Radiographic testing*, parallel mit Zustimmung der ISO-Mitgliedsorganisationen, angenommen.

Diese zweite Fassung von ISO 15708-2 ersetzt ISO 15708-1:2002, die technisch überarbeitet wurde. Es berücksichtigt Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertomographie (CT) und Rechenleistung über den Verlauf der zurückliegenden Dekade.

Eine Liste aller Teile der Normenreihe ISO 15708 kann auf der ISO-Internetseite abgerufen werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Grundlagen der Röntgencomputertomografie (CT) sowie die angewendeten Geräte und grundsätzliche Überlegungen zu Proben, Materialien und Geometrie fest.

Es gilt für die *industrielle* Bildgebung (d. h. nicht medizinische Anwendungen) und bietet einen einheitlichen Satz von Festlegungen zu CT-Leistungsparametern, einschließlich der Art des Zusammenhangs dieser Leistungsparameter mit den Spezifikationen des CT-Systems.

Dieses Dokument befasst sich mit der axialen Computertomografie und schließt weitere Arten der Tomografie, wie z. B. Translationstomografie und Tomosynthese, aus.

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 15708-1:2017, *Non-destructive testing — Radiation methods for computed tomography — Part 1: Terminology*

ISO 15708-3:2017, *Non-destructive testing — Radiation methods for computed tomography — Part 3: Operation and interpretation*

ISO 15708-4:2017, *Non-destructive testing — Radiation methods for computed tomography — Part 4: Qualification*

ISO 9712, *Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 15708-1.

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

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

4 Allgemeine Grundlagen

4.1 Wesentliche Grundsätze

Computertomografie (CT) ist ein radiografisches Untersuchungsverfahren, das dreidimensionale Informationen über einen Prüfgegenstand aus einer Anzahl von radiografischen Projektionen entweder über Querschnittsebenen (CT-Schichten) oder über das gesamte Volumen bereitstellt. Die Röntgenbildgebung ist möglich, weil unterschiedliche Materialien unterschiedliche Schwächungskoeffizienten für Röntgenstrahlen aufweisen. In CT-Bildern werden die linearen Schwächungskoeffizienten für Röntgenstrahlen als unterschiedliche CT-Grauwerte (oder in Falschfarben) dargestellt. Bei der konventionellen Röntgenaufnahme wird der dreidimensionale Prüfgegenstand aus einer Richtung durchleuchtet und aus den entsprechenden über die Strahlenbahn angesammelten Werten wird eine Röntgenprojektion erzeugt. Im Gegensatz dazu werden bei einer CT-Abtastung mehrere Röntgenprojektionen eines Prüfgegenstandes unter unterschiedlichen Projektionswinkeln erfasst. Aus diesen Projektionsbildern werden die tatsächlichen

Schnitte oder das Volumen rekonstruiert. Der wesentliche Vorteil gegenüber der Radiografie ist die Bewahrung der gesamten volumetrischen Information. Das sich ergebende CT-Bild (2D-CT-Schicht oder 3D-CT-Volumen) ist eine quantitative Darstellung des linearen Schwächungskoeffizienten für Röntgenstrahlen, gemittelt über das endliche Volumen des entsprechenden Volumenelements (Voxel) an jeder Stelle der Probe.

Der lineare Schwächungskoeffizient charakterisiert den lokalen Anteil, der beim Durchgang der Röntgenstrahlen durch den Prüfgegenstand während der Abtastung geschwächt wird. Die Schwächung der Röntgenstrahlen bei der Wechselwirkung mit der Materie ist das Ergebnis mehrerer verschiedener Wechselwirkungsmechanismen: Compton-Streuung und photoelektrische Absorption sind bei Röntgen-CT dabei die vorherrschenden Mechanismen. Der lineare Schwächungskoeffizient hängt von der Kernladungszahl der entsprechenden Materialien ab und ist proportional zur Materialdichte. Er hängt auch von der Energie des Röntgenstrahlenbündels ab.

4.2 Vorteile der CT

Dieses radiografische Verfahren kann ein hervorragendes Untersuchungsverfahren sein, wenn das Hauptziel in der Lokalisierung und quantitativen Bestimmung volumetrischer Einzelheiten in drei Dimensionen besteht. Da das Verfahren auf Röntgenstrahlung beruht, kann es zusätzlich bei metallischen und nichtmetallischen Proben, festen und faserartigen Materialien und Prüfgegenständen mit glatten und unregelmäßigen Oberflächen angewendet werden.

Im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen, bei denen die inneren Merkmale (Details) einer Probe auf eine einzelne Bildebene projiziert werden und somit einander überlagern, erscheinen in CT-Bildern die einzelnen Details der Probe getrennt voneinander, wobei die gesamten räumlichen Informationen erhalten bleiben.

Bei einer ordnungsgemäßen Kalibrierung können auch Maßprüfungen und Bestimmungen der Materialdichte erfolgen.

Eine vollständige dreidimensionale Darstellung von untersuchten Prüfgegenständen kann entweder durch Rekonstruktion und Zusammensetzen aufeinander folgender CT-Schichten (2D-CT) oder durch direkte Rekonstruktion von 3D-CT-Bildern (3D-CT) erhalten werden. Die Computertomografie ist somit nützlich auf den Gebieten der Industrieanwendung der zerstörungsfreien Prüfung, 2D- und 3D-Messtechnik und Reverse Engineering.

CT hat gegenüber den herkömmlichen Verfahren der Messtechnik verschiedene Vorteile:

- Erfassung ohne Kontakt;
- Zugang zu internen und externen Maßangaben;
- eine direkte Eingabe für die 3D-Modellierung, insbesondere von inneren Strukturen.

In einigen Fällen können CT-Untersuchungen mit zwei Energien (en: dual energy, DE) dabei helfen, Informationen über die Materialdichte und die mittlere Kernladungszahl bestimmter Materialien zu erhalten. Im Fall von bekannten Materialien können die zusätzlichen Informationen einer besseren Kontrastunterscheidung oder besseren Charakterisierung dienen.

4.3 Einschränkungen der CT

CT ist ein indirektes Prüfverfahren und Messungen (z. B. der Größe der Materialfehler, der Wanddicke) müssen mit anderen absoluten Messverfahren verglichen werden, siehe ISO 15708-3. Ein anderer möglicher Nachteil der CT-Bildgebung ist das mögliche Auftreten von Artefakten (siehe 4.5) in den Daten. Artefakte schränken die Möglichkeit ein, quantitative Informationen aus einem Bild zu entnehmen. Deshalb muss der

Anwender, wie bei jeder Untersuchungstechnik, in der Lage sein, übliche Artefakte subjektiv zu erkennen und unberücksichtigt zu lassen.

Wie jedes bildgebende System kann ein CT-Gerät niemals ein genaues Bild des abgetasteten Prüfgegenstandes wiedergeben. Die Genauigkeit des CT-Bildes wird im Wesentlichen durch die konkurrierenden Einflüsse des bildgebenden Systems bestimmt, und zwar räumliche Auflösung (Ortsauflösung), statistisches Rauschen und Artefakte. Jeder dieser Aspekte wird kurz in 4.4.1 erörtert. Eine vollständigere Beschreibung ist in ISO 15708-3 zu finden.

CT-Grauwerte können nicht zur eindeutigen Identifizierung unbekannter Materialien verwendet werden, es sei denn, es stehen Vorinformationen (A-priori-Informationen) zur Verfügung, da ein bestimmter experimenteller Wert, der an einer bestimmten Stelle gemessen wird, möglicherweise einem breiten Spektrum von Materialien entspricht.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Sicherstellung, dass eine hinreichende Röntgen(strahlen)-transmission durch die Probe bei allen Projektionswinkeln (siehe 8.2) ohne Sättigung eines beliebigen Teils des Detektors vorhanden ist.

4.4 Hauptschritte des CT-Prozesses

4.4.1 Datenerfassung

Bei einer CT-Abtastung wird eine Vielzahl von Projektionen systematisch aufgenommen: die Bilder werden aus einer Reihe von unterschiedlichen Betrachtungswinkeln erfasst. Die Detailerkennung hängt, neben anderen Faktoren, von der Anzahl der Winkel ab, aus denen die einzelnen Projektionen aufgenommen werden. Die Güte des CT-Bildes kann verbessert werden, indem die Anzahl von Projektionen einer Aufnahme erhöht wird.

Da sämtliche Bilderfassungssysteme inhärente Artefakte enthalten, beginnen CT-Abtastungen üblicherweise mit dem Erfassen von Referenzbildern für Untergrund und Verstärkung, um eine Korrektur der aufgenommenen Bilder (Flat-Field-Korrektur) zu ermöglichen; dabei werden Dunkelbilder (Röntgenstrahlung aus) und Hellbilder (Röntgenstrahlung an, wobei sich die Probe außerhalb des Sichtfeldes befindet) zur Korrektur von Detektoranomalien verwendet. Das Erfassen von Referenzbildern für die Verzeichnungs-korrektur (kissenförmige Verzeichnung im Fall von kamerabasierten Detektorsystemen mit optischer Verzerrung) und Korrektur des Rotationszentrums können auch auf dieser Stufe erfolgen. Jedes nachfolgend für den CT-Datensatz erfasste Bild enthält diese darauf angewendeten Korrekturen. Einige Systeme können entweder durch Konfiguration auf die Einstellungen für die Röntgenstrahlung oder durch eine Bildverstärkung sicherstellen, dass der Hintergrundintensitätspegel der erfassten Bilder während der Dauer der CT-Abtastung konstant bleibt.

Die Güte eines CT-Bildes hängt von einer Reihe von Leistungsfaktoren auf Systemebene ab, wobei einer der wichtigsten Faktoren die räumliche Auflösung ist.

Die räumliche Auflösung wird im Allgemeinen quantitativ in Bezug auf den kleinsten Abstand bestimmt, bei dem zwei Details als getrennte Einheiten unterschieden werden können. Die Grenzen der räumlichen Auflösung werden durch Konstruktion und Ausführung des Gerätes und durch die Auflösung und Anzahl der CT-Projektionen bestimmt. Die Auflösung der CT-Projektion wird durch die maximale Vergrößerung begrenzt, bei deren Anwendung noch die Darstellung sämtlicher Teile der Probe bei allen Drehwinkeln möglich ist.

Es ist wichtig anzumerken, dass das kleinste nachzuweisende Detail in einem CT-Bild nicht dasselbe ist, wie das kleinste Detail, das räumlich aufgelöst werden kann. Ein Detail, das beträchtlich kleiner ist als ein einzelnes Voxel, kann das ihm entsprechende Voxel in einem Maß beeinträchtigen, dass es mit einem sichtbaren Kontrast erscheint, so dass er in Bezug auf die angrenzenden Voxel leicht nachgewiesen werden kann. Diese Erscheinung tritt auf Grund des „Teilvolumen-Effekts“ auf.

Obwohl die Ausschnitt-CT (lokale Tomografie) die räumliche Auflösung in festgelegten Bereichen größerer Prüfgegenstände verbessern kann, führt sie Artefakte (auf Grund unvollständiger Daten) ein, die manchmal durch spezielle Verarbeitung verringert werden können.

Die Röntgenbildgebung, wie sie bei der CT-Untersuchung angewendet wird, wird immer durch Rauschen beeinträchtigt. In der Radiografie stammt dieses Rauschen aus zwei Strahlenquellen: (1) intrinsische Schwankungen entsprechend der Photonenstatistik der Emission und der Detektion und (2) für die angewendeten Geräte und die angewendete Verarbeitung spezifisches Rauschen. Das Rauschen in CT-Projektionen wird oft durch den Bildberechnungsalgorithmus verstärkt. In den CT-Bildern tritt das statistische Rauschen als Zufallsschwankung auf, die den CT-Grauwert von jedem Voxel überlagert und die Dichteauflösung einschränkt.

Obwohl das statistische Rauschen unvermeidbar ist, kann das Signal-Rausch-Verhältnis durch Erhöhen der Anzahl von Projektionen und/oder der Belichtungsdauer bei jeder der Projektionen, der Intensität der Röntgenstrahlenquelle oder der Voxelgröße verbessert werden. Einige dieser Maßnahmen verringern jedoch die räumliche Auflösung. Dieser Kompromiss zwischen räumlicher Auflösung und statistischem Rauschen ist der Computertomografie eigen.

4.4.2 Rekonstruktion

Bei einer CT-Abtastung wird zuerst eine Reihe von Projektionen eines Prüfgegenstands erzeugt. Die anschließende Rekonstruktion des CT-Bildes aus diesen einzelnen Projektionen ist der Hauptschritt der Computertomografie, durch den sich dieses Untersuchungsverfahren von anderen radiografischen Verfahren unterscheidet.

Mit der Rekonstruktionssoftware dürfen zusätzliche Korrekturen der CT-Projektionen während der Rekonstruktion erfolgen, z. B. die Verringerung des Rauschens, Korrektur der Strahlaufhärtung und/oder der Streustrahlung.

In Abhängigkeit vom CT-Gerät werden entweder einzelne CT-Schichten oder 3D-CT-Bilder rekonstruiert.

4.4.3 Darstellung und Analyse

Dieser Schritt schließt alle Arbeitsgänge und Datenbearbeitungen ein, um die gewünschten Informationen aus dem rekonstruierten CT-Bild zu entnehmen.

Die Darstellung kann entweder in 2D (Schichtansichten) oder 3D (Volumen) erfolgen. Die 2D-Darstellung ermöglicht dem Anwender die schichtweise Untersuchung der Daten entlang einer festgelegten Achse (im Allgemeinen kann das eine beliebige Bahn sein).

Bei der dreidimensionalen Bildgebung wird/werden das CT-Volumen oder ausgewählte, daraus abgeleitete Flächen zur Erzeugung des gewünschten Bildes nach dem optischen Modell, das dem Algorithmus zugrunde liegt, verwendet. Der Hauptvorteil dieser Art der Darstellung ist, dass die visuelle Wahrnehmung des Bildes für das menschliche Auge gut dem natürlichen Erscheinungsbild des Prüfgegenstandes entspricht, obwohl bei der 2D-Darstellung auf einem Bildschirm die Details möglicherweise überlagert erscheinen.

Bei der Darstellung können zusätzliche Artefakte unterschiedlichen Ursprungs auftreten, insbesondere bei der dreidimensionalen Bildgebung des CT-Volumens. Derartige Artefakte durch Abtastung, Filterung, Klassifikation und Mischung im Rahmen der Darstellungssoftware hängen von der angewendeten Hard- und Software sowie der vorliegenden darstellungsbezogenen Aufgabe ab. Deshalb sind derartige Artefakte nicht in der Definition von Artefakten enthalten, die in 4.5 vorliegt. Trotzdem sollte der Anwender beachten, dass auch bei diesem Prozessschritt Fehlinterpretationen der Daten auftreten können.

Zum Hervorheben der interessierenden Details bei der Darstellung können verschiedene digitale Filterfunktionen ausgeführt werden. Ein charakteristisches Merkmal sämtlicher dieser Funktionen ist, dass sie, obwohl sie eine oder mehrere Eigenschaften der Daten verbessern, gleichzeitig andere Eigenschaften

verschlechtern (zum Beispiel: verschlechtert das Hervorheben der Ränder die Erkennung innerer Strukturen eines Prüfgegenstandes). Deshalb sollten Digitalfilter für bestimmte Aufgaben immer mit Bedacht angewendet werden, wobei zu beachten ist, mit welchen Vor und Nachteilen sie verbunden sind.

Ein für die 3D-Darstellung verwendeter Computer sollte in der Lage sein, das gesamte interessierende Volumen im Arbeitsspeicher zu verarbeiten. Der zugehörige Bildschirm sollte über eine Auflösung, einen dynamischen Bereich und Einstellungen verfügen, die hinreichend für die vorliegende darstellungsbezogene Aufgabe sind. Ein angemessenes Sehvermögen des Personals ist nach ISO 9712 sicherzustellen.

4.5 Artefakte in CT-Bildern

Ein Artefakt ist ein künstliches Merkmal (Detail), das auf dem CT-Bild erscheint, jedoch keinem physikalischen Merkmal der Probe entspricht. Artefakte sind unterschiedlichen Ursprungs; sie können in Artefakte, die durch die Messung selbst und das Gerät bedingt sind (Artefakte auf Grund einer endlichen Strahlenbündelbreite, Streustrahlung, Instabilitäten und Besonderheiten des Detektors), und verfahrenseigene Artefakte (z. B. Strahlaufhärtung) eingeteilt werden. Artefakte können auch in Erfassungsartefakte (z. B. Streustrahlung, Ringartefakte) und Rekonstruktionsartefakte (z. B. Kegelstrahlartefakte) eingeteilt werden. Einige Artefakte können durch die Anwendung einer entsprechenden Messtechnik mit geeigneten Parametern beseitigt werden, während andere nur in ihrem Ausmaß verringert werden können. Artefakte können für spezifische Messungen oder Analyseaufgaben nachteilig sein, haben aber möglicherweise keine Auswirkung auf bestimmte andere Analysen. Unter Beachtung dieser Tatsache sind die Art und das Ausmaß von Artefakten in einem Datensatz im Zusammenhang mit der entsprechenden Analyseaufgabe zu bewerten.

Rauschen und Teilvolumen-Effekte werden in der vorliegenden Norm nicht als Artefakte betrachtet.

Weitere Einzelheiten sind in ISO 15708-3:2017, 5.5, angeführt.

5 Ausrüstung und Geräte

5.1 Allgemeines

In Bezug auf die Leistung kann ein CT-Gerät als aus vier Hauptbauteilen bestehend betrachtet werden: der Röntgenstrahlenquelle, dem Detektor, den Tischen für die Probenmanipulation (letztere einschließlich des gesamten mechanischen Aufbaus, der die Bildstabilität beeinflusst) und dem Rekonstruktions-/Darstellungssystem.

Im Allgemeinen sind die Strahlenquelle und der Detektor feststehend, während die Probe sich im Strahlenbündel dreht, um den notwendigen Satz von Projektionen zu erfassen. In Abtastgeräten, die zum Beispiel für *In-vivo*-Tieruntersuchungen oder die bildliche Darstellung von großen Strukturen ausgelegt sind, können Strahlenquelle und Detektor um die Probe kreisen, wie z. B. in medizinischen Abtastgeräten.

Bei der Mehrheit der Mikro-/Nano- oder Submikro-Tomographiesysteme wird die Auflösung in erster Linie durch die Brennfleckgröße der Röntgenröhre bestimmt. Die geometrische Vergrößerung ermöglicht es, dass der Abstand der Detektorelemente viel größer ist als die berechnete Voxelgröße und ein dickerer und somit wirksamerer Szintillator verwendet werden kann. Ein Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass die Probe sehr nah an der Strahlenquelle angeordnet werden sollte, um hohe Vergrößerungsverhältnisse zu erhalten. Das ist besonders dann ein Problem, wenn die Probe in einer bestimmten Art von Klimakammer oder zum Beispiel auf einem Prüftisch zur *In-situ*-Belastung zu befestigen ist. Das bedingt einen größeren Abstand zwischen Strahlenquelle und Probe und verringert somit die Flussdichte der Röntgenstrahlung (was zu einem geringeren Signal-Rausch-Verhältnis und/oder verlängerter Erfassungszeit führt) und erfordert, dass der Detektor in gleichem Verhältnis in größerem Abstand angebracht wird, um denselben Vergrößerungsfaktor zu erreichen. Andererseits wird, wenn der Abstand zwischen Probe und Detektor im Vergleich zum Abstand zwischen Strahlenquelle und Probe gering ist, die Detektorauflösung anstelle der Brennfleckgröße zum limitierenden Faktor. In diesem Fall bedeutet der erhöhte Abstand zwischen Strahlenquelle und

Detektor wiederum eine verringerte Flussdichte der Röntgenstrahlung und hochauflösende Detektoren neigen dazu, dünnere und somit weniger wirksame Szintillatoren zu erfordern.

CT-Geräte können in Bezug auf Auflösung, Energie, Datenerfassungsgeschwindigkeit oder nur auf die Kosten optimiert werden. Obwohl ein bestimmtes Gerät über einen großen Bereich von Bedingungen betrieben werden kann, ist der Betrieb nur in einem wesentlich kleineren Bereich optimal und der Anwender sollte bei der Auswahl eines Modells statt eines anderen die Hauptanwendung berücksichtigen und nicht einfach überspezifizieren.

Zum Beispiel kann ein hochauflösendes CT-Gerät (geringe Brennfleckgröße der Röntgenröhre) bei einer Einstellung mit geringerer Ortsauflösung eine erheblich geringere Ausgangsleistung des Strahlungsflusses haben als ein Gerät, das für einen Betrieb bei einer derartigen Auflösung ausgelegt ist. Außerdem hat ein Präzisionsdrehtisch bei einem hochauflösenden Abtastgerät eine viel geringere Belastungsgrenze. Gleichermäßen erfordert ein Gerät, das für die Bildgebung mit hochenergetischer Strahlung ausgelegt ist, einen dickeren Szintillator(Phosphor)schirm, was zu einer schlechteren Auflösung im Vergleich zu einem dünneren Phosphorschirm, der bei geringeren Energien ausreichend ist, führt.

Einige CT-Geräte können über austauschbare Röntgentargetträger (für Transmission oder Reflexion, siehe Anhang A) und/oder austauschbare Detektoren verfügen, was jedoch zu einem höheren Preis führt.

Beim Vergleich von Auflösung und Abtastzeiten unterschiedlicher CT-Geräte ist es wichtig, das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) zu beachten, siehe ISO 15708-3:2017, 5.1.3. Das Verhältnis ist abhängig von der Belichtungsdauer mit Röntgenstrahlen und folglich ist das SRV umso schlechter, je schneller die Abtastung erfolgt. Es hängt auch von der Probenart und -geometrie ab. Eine Probe mit einem hohen Hohlvolumenanteil (oder mit einem hohen Anteil von Bereichen mit verhältnismäßig geringer Absorption), wie z. B. eine Schaumprobe oder eine Probe von Knochenschwammsubstanz, weist ein besseres SRV auf als eine homogenere Probe.

Das beste SRV für eine bestimmte Belichtung wird erreicht, wenn die Röntgenbeschleunigungsspannung so eingestellt wird, dass sich eine Transmission durch die Probe von etwa 10 % bis 20 % ergibt. Ist die Transmission zu gering, führt die geringe Anzahl von nachgewiesenen Photonen zu übermäßigem Rauschen. Ist sie dagegen zu hoch, ist der Kontrast (Signal im SRV) zu gering. Die Schwankungen des SRV in Abhängigkeit von der Spannung sind jedoch nicht sehr stark, und Simulationen der Röntgenstrahlenschwächung bei Aluminium deuten darauf hin, dass das SRV nur um 20 % gegenüber dem Spitzenwert abfällt, wenn die Spannung auf eine Transmission von 35 % bzw. 40 % eingestellt wird. Bei einer gegebenen Probengröße ist die für die Beibehaltung eines festen SRV erforderliche Belichtung mit Röntgenstrahlen proportional der vierten Potenz der Auflösung (für einen gegebenen Detektor). Folglich erfordert zum Beispiel eine Verdopplung der Auflösung eine 16-fache Erhöhung der Belichtung, während eine 10-fache Erhöhung der Auflösung eine 10 000-fache Erhöhung der Belichtung erfordert. Deshalb ist es dringend erforderlich, beim Vergleich der Bildgüte von unterschiedlichen Systemen die gleichen oder ähnliche Proben zu verwenden.

5.2 Strahlenquellen

Die meisten industriellen CT-Geräte verfügen über eine elektrisch betriebene Röntgenstrahlenquelle; diese können in drei Hauptarten unterteilt werden:

- Röntgengeräte mit offener Röhre (oder demontierbarer Vakuumröhre);
- Röntgengeräte mit geschlossener Röhre und konstanter Spannung;
- Linearbeschleuniger.

Jede Art der Strahlenquelle hat eine Besonderheit; manchmal werden Systeme mit mehr als einer Strahlenquelle geliefert, deshalb können sie für ein breiteres Spektrum von Proben verwendet werden. Neben Kostengründen wird die Auswahl einer geeigneten Röntgenstrahlenquelle durch das Spektrum der zu

untersuchenden Proben (Größe, Zusammensetzung und Materialdichte) und die Auflösung, bei der sie zu untersuchen sind, bestimmt.

Hersteller von Röntgengeräten berechnen oft eine einzelne Brennfleckgröße; das ist eine „Nennwert“-Messung bei einer spezifischen Energieeinstellung; die Größe des Brennflecks ändert sich in Abhängigkeit von den verwendeten Einstellungen der Spannung (kV) und der Stromstärke ($\mu\text{A}/\text{mA}$); je höher die Leistung, desto größer ist der Brennfleck.

Die Brennfleckgröße und die Detailerkennung, (auf die manchmal von Geräteherstellern verwiesen wird), sind nicht dasselbe wie die räumliche Auflösung des CT-Systems. Die Detailerkennung ist die Fähigkeit des gesamten Systems, ein Bild eines Prüfgegenstandes oder ein Detail innerhalb eines Prüfgegenstandes von bestimmter Größe darzustellen. Zum Beispiel ist es durchaus möglich, unter Anwendung eines Systems mit einem Röntgengerät, das bei einer Energie betrieben wird, mit der eine Brennfleckgröße von etwa $5\text{ }\mu\text{m}$ erzeugt wird, ein Bild eines Fadenkreuzes, hergestellt aus dichtem Draht mit einem Durchmesser von weniger als $1\text{ }\mu\text{m}$, darzustellen. Das ist eher eine Anzeige der Röntgenabsorptionseigenschaften des Materials, aus dem der Draht hergestellt ist, als die tatsächliche Auflösung des CT-Gerätes, siehe 4.4.1.

Der Röntgenstrahl wird oft gefiltert, um energiearme Röntgenstrahlen und somit die Streuung und Strahlaufhärtungseffekte zu verringern.

Weitere Einzelheiten sind in Anhang A angeführt.

5.3 Detektoren

Ein Strahlungsdetektor wird zur Messung der Transmission von Röntgenstrahlen durch den Prüfgegenstand entlang der unterschiedlichen Strahlenbahnen eingesetzt. Der Zweck des Detektors ist die Umwandlung des einfallenden Röntgenstrahlenflusses in ein elektrisches Signal, das mit herkömmlichen elektronischen Verarbeitungsverfahren verarbeitet werden kann. Die Anzahl der Strahlensummen in einer Projektion muss mit der Anzahl der Elemente auf der Seite der Bildmatrix vergleichbar sein. Derartige Betrachtungen führen zu einer Tendenz bei modernen Abtastgeräten, große Detektor-Arrays zu verwenden, die oft mehrere Hundert bis mehr als Tausende oder Millionen Messfühler enthalten.

Eine Filterung am Detektor durch Einbringen von Material in die Strahlenbahn vor dem Detektor (hinter dem zu untersuchenden Prüfgegenstand) kann angewendet werden. Das Filter absorbiert (und streut) die Strahlung entsprechend den Materialeigenschaften, wie in 5.1 beschrieben. Zusätzlich erfolgt durch jeden Detektor in gewissem Umfang eine Filterung beim Durchgang der Strahlen durch das Detektorgehäuse. Zur Verringerung der nachgewiesenen Streuintensität kann eine zusätzliche Filterung angewendet werden.

Es werden üblicherweise drei Arten von Detektoren eingesetzt:

- a) Gasionisationsdetektoren;
- b) Szintillationsdetektoren;
- c) Halbleiterdetektoren.

Weitere Einzelheiten sind in Anhang A angeführt.

5.4 Manipulation

Die mechanischen Geräte zur Abtastung ermöglichen eine Relativbewegung zwischen dem zu untersuchenden Gegenstand, der Strahlenquelle und dem Detektor. Es spielt keine Rolle, zumindest grundsätzlich, ob der zu untersuchende Gegenstand systematisch bezüglich der Strahlenquelle und des Detektors bewegt wird oder ob die Strahlenquelle und der Detektor bezüglich des zu untersuchenden Gegenstandes bewegt werden. Physikalische Aspekte, wie z. B. Masse oder Größe des zu untersuchenden Gegenstandes müssen die bestimmenden Faktoren für die Anwendung der geeignetsten Bewegung sein.