

DIN EN ISO 16371-2



ICS 19.100

Einsprüche bis 2016-05-25

Entwurf

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien –
Teil 2: Grundlagen für die Prüfung von metallischen Werkstoffen mit
Röntgen- und Gammastrahlen (ISO/DIS 16371-2:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16371-2:2016**

Non-destructive testing –

Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates –

Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays
(ISO/DIS 16371-2:2016);

German and English version prEN ISO 16371-2:2016

Essais non destructifs –

Radiographie industrielle numérisée avec plaques-images au phosphore –

Partie 2: Principes généraux de l'essai radiographique des matériaux métalliques au moyen de
rayons X et gamma (ISO/DIS 16371-2:2016);

Version allemande et anglaise prEN ISO 16371-2:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-03-25 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme 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 (Hausanschrift: 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.

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Gesamtumfang 79 Seiten

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16371-2:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfungen“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 135 „Zerstörungsfreie Prüfungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 16371-2 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 5579	siehe	DIN EN ISO 5579
ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 19232-1	siehe	DIN EN ISO 19232-1
ISO 19232-2	siehe	DIN EN ISO 19232-2
ISO 19232-3	siehe	DIN EN ISO 19232-3
ISO 19232-4	siehe	DIN EN ISO 19232-4
ISO 19232-5	siehe	DIN EN ISO 19232-5
ISO 17636-2	siehe	DIN EN ISO 17636-2

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 5579, Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Film und Röntgen- oder Gammastrahlen — Grundlagen

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

DIN EN ISO 17636-2, Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren

DIN EN ISO 19232-1, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 1: Ermittlung der Bildgütezahl mit Draht-Typ-Bildgüteprüfkörper

DIN EN ISO 19232-2, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 2: Ermittlung der Bildgütezahl mit Stufe/Loch-Typ-Bildgüteprüfkörper

DIN EN ISO 19232-3, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 3: Bildgüteklassen

DIN EN ISO 19232-4, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 4: Experimentelle Ermittlung von Bildgütezahlen und Bildgütetabellen

DIN EN ISO 19232-5, Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 5: Bestimmung der Bildunschärfezahl mit Doppeldraht-Typ-Bildgüteprüfkörpern

— Leerseite —

Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien — Teil 2: Grundlagen für die Prüfung metallischer Werkstoffe mit Röntgen- und Gammastrahlen (ISO/DIS 16371-2:2016)

Essais non destructifs — Radiographie industrielle numérisée avec plaques-images au phosphore — Partie 2 : Principes généraux de l'essai radiographique des matériaux métalliques au moyen de rayons X et gamma (ISO/DIS 16371-2:2016)

Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates — Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays (ISO/DIS 16371-2:2016)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	11
5 Qualifizierung des Personals	11
6 Klassifizierung von Computer-Radiographie-Techniken und Kompensationsprinzipien	12
6.1 Klassifizierung	12
6.2 Kompensationsprinzipien, CP I und CP II	12
7 Allgemeines	13
7.1 Schutz vor Ionisierender Strahlung	13
7.2 Oberflächenvorbereitung und Herstellungsstadium	13
7.3 Zuordnung von Durchstrahlungsbildern	13
7.4 Kennzeichnung	13
7.5 Überlappung der Phosphor-Speicherfolien	13
7.6 Arten und Positionen von Bildgüteprüfkörpern (BPK/IQI) und BPK-Werte	14
8 Empfohlene Vorgehensweise für die Aufnahme von Computer-Radiographien	15
8.1 Aufnahmeanordnungen	15
8.2 Auswahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle	15
8.2.1 Röntgenstrahler	15
8.2.2 Andere Strahlungsquellen	16
8.3 CR-Systeme und Metallfolien	17
8.3.1 Mindest-SNR _N	17
8.3.2 Metallfolien und Abschirmung	18
8.4 Maximale Unschärfe und Basis-Ortsauflösung für die CR-System-Auswahl	20
8.4.1 Auswahl des Systems	20
8.4.2 Kompensationsprinzip II	20
8.5 Ausrichtung des Strahlers	22
8.6 Verminderung der Streustrahlung	22
8.6.1 Metallfilter und Blenden	22
8.6.2 Vermeidung von Rückstreuung	23
8.7 Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand	23
8.7.1 Prüfung ebener Gegenstände	23
8.7.2 Prüfung gekrümmter Gegenstände mit IPs in Kassetten	24
8.8 Maximaler Bereich für eine einzelne Aufnahme	26
8.9 Löschen von Speicherfolien	27
8.10 Datenverarbeitung	27
8.10.1 Bildverarbeitung	27
8.10.2 Betrachtungsbedingungen am Monitor und Speicherung der digitalen Durchstrahlungsbilder	27
9 Prüfbericht	28
Anhang A (informativ) Bestimmung der Basis-Ortsauflösung SRbdetector	29

Anhang B (normativ) Bestimmung des normierten SNR_N, aus $SNR_{gemessen}$	34
Anhang C (normativ) Bestimmung der Mindest-Grauwerte	36

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16371-2:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 16371-2:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 16371-2:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen 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. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien 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 empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der WTO-Grundsätze zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: Foreword - Supplementary information.

ISO 16371 besteht aus folgenden Teilen:

Part 1: *Classification of systems*

Part 2: *General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays*

1 Anwendungsbereich

In dieser Internationalen Norm werden grundlegende Techniken für die Computer-Radiographie mit dem Ziel festgelegt, auf wirtschaftliche Art und Weise zufrieden stellende und wiederholbare Ergebnisse zu erreichen. Die Techniken basieren sowohl auf den grundlegenden Theorien als auch auf Testmessungen. Für die industrielle Computer-Radiographie mit Röntgen- und Gammastrahlung zum Nachweis von Werkstofffehlern unter Anwendung von Speicherfolien (IP) werden in dieser Norm allgemeine Regeln festgelegt. Diese internationale Norm beruht auf den allgemeinen Grundlagen für die radiographische Untersuchung metallischer Werkstoffe mit Hilfe von Filmen (ISO 5579). Die grundlegende Einstellung von Strahlenquelle, Detektor und geeigneten geometrischen Bedingungen muss nach ISO 5579 sowie nach den entsprechenden Produktnormen durchgeführt werden, z. B. ISO 17636 für Schweißverbindungen und EN 12681 für Anwendungen im Gießereiwesen. In der vorliegenden Norm werden keine Zulässigkeitsgrenzen für Unregelmäßigkeiten festgelegt. CR-Systeme (Computer-Radiographiesysteme) liefern ein digitales Grauwertbild, das nur mittels Computer betrachtet und ausgewertet werden kann. Diese Anwendungsnorm beschreibt das empfohlene Vorgehen für die Detektorauswahl und die radiographische Anwendung. Die Auswahl von Computer, Software, Monitor, Drucker und Betrachtungsbedingungen sind zwar wichtig, aber nicht das Hauptaugenmerk dieser Norm.

Die Technik, die in dieser Norm beschrieben wird, legt die minimalen Anforderungen fest um digitale Durchstrahlungsbilder mit einer zur Film-Radiographie äquivalenten Empfindlichkeit zur Detektion von Unregelmäßigkeiten, wie in ISO 5579 spezifiziert, zu erhalten. Einige Anwendungsnormen, wie z. B. EN 16407 können andere und weniger strenge Vorgehensweisen verlangen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

EN 12543 (alle Teile), *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung von Brennflecken in Industrie-Röntgenanlagen für die zerstörungsfreie Prüfung*

EN 12679, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bestimmung der Strahlergrößen von industriell genutzten Radionukliden — Durchstrahlungsverfahren*

EN 12681, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung*

EN 16407 (alle Teile), *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsprüfung auf Korrosion und Ablagerungen in Rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen*

EN 14784-1:2005, *Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien — Teil 1: Klassifizierung der Systeme*

ISO 5579, *Non-destructive testing — Radiographic examination of metallic materials by X- and gamma-rays — Basic rules*

ISO 5580, *Non-destructive testing — Industrial radiographic illuminators — Minimum requirements*

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

ISO 19232-1, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 1: Image quality indicators (wire type) — Determination of image quality value*

ISO 19232-2, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 2: Image quality indicators (step/hole type) — Determination of image quality value*

ISO 19232-3, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 3: Image quality classes for ferrous metals*

ISO 19232-4, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables*

ISO 19232-5, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 5: Image quality indicators (duplex wire type) — Determination of image unsharpness value*

ISO 17636-2, *Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Computer-Radiographie

CR

Phosphor-Speicherfoliensystem

vollständiges System einer Phosphor-Speicherfolie (IP) und der dazugehörigen Ausleseeinheit (Scanner oder Abtastsystem), das die Informationen aus der IP in ein digitales Bild konvertiert

3.2

Phosphor-Speicherfolie

IP (en: image plate)

photostimulierbarer Leuchtstoff, der in der Lage ist, ein latentes Durchstrahlungsbild des untersuchten Gegenstandes zu speichern, das durch Anregung mit rotem Licht einer geeigneten Wellenlänge Lumineszenz generiert, die proportional zur absorbierten Röntgenstrahlung ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Computer-Radiographie wird eine Speicherfolie (IP) anstelle eines Films verwendet. Bei der Festlegung von Aufnahmetechniken, die in Bezug zur Strahlergröße oder der Fokusgröße stehen, wird die IP als Detektor bezeichnet, d. h. Fokus-Detektor Abstand FDA (en: Source-to-Detector Distance, SDD).

3.3

Strukturrauschen der Speicherfolie

Strukturrauschen der IP

ortsabhängiger Rauschanteil, der aufgrund der IP-Struktur gemessen wird, die durch Inhomogenitäten in der empfindlichen Schicht (Körnigkeit) und der Oberfläche einer Speicherfolie erzeugt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach dem Abtasten der belichteten Speicherfolie überlagern sich die Anzeigen der Inhomogenitäten im digitalen Bild mit dem Strukturrauschen aus der Folie.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieses Rauschen begrenzt die maximal erreichbare Bildgüte digitaler CR-Bilder und kann mit der Körnigkeit von Film-Bildern verglichen werden.

3.4

Grauwert

GV (en: grey value)

numerischer Wert eines Pixels in einem digitalen Bild

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff ist synonym mit den Begriffen Pixelwert, Detektor-Antwort, Analog-/Digital-Wert und Detektorsignal.

3.5

Linearisierter Grauwert

GV (en: grey value)

numerischer Wert eines Pixels, der direkt proportional zur Belichtungsdosis des Detektors ist; der Wert ist Null, wenn der Detektor nicht belichtet wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff ist synonym mit den Begriffen linearisierter Pixelwert und linearisiertes Detektorsignal.

3.6

Basis-Ortsauflösung eines Computer-Radiographiesystems (CR-Systems)

SR_b^{detector}

entspricht der Hälfte der gemessenen Detektorunschärfe in einem digitalen Bild, ist die effektive Pixelgröße und zeigt das kleinste geometrische Detail an, das mit einem CR-System bei einer Vergrößerung von eins aufgelöst werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Messung ist der DoppelDraht-Bildgüteprüfkörper (BPK/en: IQI) direkt auf der CR-Kassette oder der Speicherfolie zu positionieren.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messung der Unschärfe ist in ISO 19232-5, und auch in ASTM E2736[13] und ASTM E 1000 [8], beschrieben.

3.7

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes

SR_b^{image}

entspricht der Hälfte der gemessenen Bildunschärfe in einem digitalen Bild, ist die effektive Pixelgröße und zeigt das kleinste geometrische Detail an, das in einem digitalen Bild aufgelöst werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Messung ist der Doppeldraht-Bildgüteprüfkörper (BPK/en: IQI) direkt auf dem Prüfobjekt (auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite) zu positionieren.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messung der Unschärfe ist in ISO 19232-5, und auch in ASTM E2736[13] und ASTM E 1000.[8], beschrieben

3.8

Signal-Rausch-Verhältnis

SNR (en: Signal-to-Noise Ratio)

Verhältnis des Mittelwerts der linearisierten Grauwerte zur Standardabweichung der linearisierten Grauwerte (Rauschen), in einem ausgewählten Bereich (ROI) des digitalen Bildes

3.9

normiertes Signal-Rausch-Verhältnis

SNR_N

Signal-Rausch-Verhältnis, SNR, normiert auf die Basis-Ortsauflösung, SR_b , entweder direkt im digitalen Bild gemessen oder aus dem gemessenen SNR, SNR_{gemessen} , wie folgt berechnet

$$SNR_N = SNR_{\text{gemessen}} \frac{88,6 \mu\text{m}}{SR_b}$$

3.10

Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR (en: contrast-to-noise ratio)

Verhältnis der Differenz der gemitteltenen-Signalwerte zweier Bildbereiche relativ zur mittleren Standardabweichung in beiden Bildbereichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das CNR beschreibt eine Komponente der Bildgüte und entspricht ungefähr dem Produkt aus radiographischen Schwächungskoeffizienten und SNR. Zusätzlich zu einem ausreichenden CNR ist es für eine digitale Durchstrahlungsaufnahme wichtig, dass auch eine hinreichende Unschärfe oder Basis-Ortsauflösung erreicht wird, um die zu detektierenden Details auflösen zu können.

3.11

normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR_N

Kontrast-Rausch-Verhältnis, CNR, normiert durch die Basis-Ortsauflösung, SR_b , entweder direkt im digitalen Bild gemessen oder aus dem gemessenen CNR, wie folgt berechnet:

$$CNR_N = CNR \times \frac{88,6 \mu m}{SR_b}$$

3.12

Aliasing

Artefakte, die in einem Bild erscheinen, wenn am Systemeingang Ortsfrequenzen erscheinen, die höher sind, als das System am Ausgang reproduzieren kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Aliasing erscheint häufig als gezackte oder gestufte Bereiche von Kanten oder als Moiré-Muster.

3.13

Nenndicke

t

Dicke des Werkstoffs im Prüfbereich, Herstellungsabweichungen bleiben unberücksichtigt

3.14

durchstrahlte Dicke

w

Dicke des Werkstoffs in Richtung des Zentralstrahls, berechnet aus der Nenndicke aller durchstrahlten Wände

Bei Mehrfach-Durchstrahlungen ist die durchstrahlte Dicke aus den Nenndicken aller durchstrahlten Wände zu berechnen.

3.15

Größe der Strahlenquelle

d

Strahler- oder Brennfleckgröße der eingesetzten Strahlenquelle

Anmerkung 1 zum Begriff: siehe EN 12543 und EN 12679.

3.16

Abstand Prüfgegenstand-Detektor

b

größter (maximaler) Abstand zwischen der der Strahlenquelle zugewandten-Seite des durchstrahlten Bereiches des Prüfgegenstandes und der strahlenempfindlichen Detektorschicht in Richtung des Zentralstrahles

3.17

Abstand Strahlenquelle-Detektor

SDD (en: source-to-detector distance)

Distanz zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor, gemessen in Strahlrichtung

Anmerkung 1 zum Begriff: $SDD = f + b$

dabei ist

f Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand

b Abstand Prüfgegenstand – Detektor

3.18

Abstand Strahlenquelle-Prüfgegenstand

f

Abstand zwischen der Strahlenquelle und der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstandes, die am weitesten vom Detektor entfernt ist, gemessen entlang des Zentralstrahls

3.19

geometrische Vergrößerung

v

Verhältnis des Abstands Strahlenquelle - Detektor, SDD, zum Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand, f

4 Symbole und Abkürzungen

In dieser Norm gelten die Zeichen aus Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Begriff
b	Abstand Prüfgegenstand-Detektor
d	Strahlergröße, Brennfleckgröße
f	Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis
SNR_N	normiertes Signal-Rausch-Verhältnis
t	Nennwanddicke
u_G	geometrische Unschärfe
u_i	innere Unschärfe des Detektor-Systems, ohne geometrische Unschärfe, gemessen im Digitalbild mit einem Doppeldraht-Bildgüteprüfkörper direkt auf dem Detektor
u_T	totale Bildunschärfe, inklusive der geometrischen Unschärfe, gemessen im Digitalbild in der Detektorebene mit einem Doppeldraht-BPK auf der Objektoberfläche
v	geometrische Vergrößerung
w	durchstrahlte Dicke
CNR	Kontrast-Rausch-Verhältnis
CNR_N	Normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis
CR	Computer-Radiographie
D	Detektor (hier: Phosphor-Speicherfolie)
IP	Phosphor-Speicherfolie
IQI	Bildgüteprüfkörper (en: Image Quality Indicator, IQI)
S	Strahlenquelle
SDD	Abstand Strahlenquelle - Detektor
SR_b^{detector}	Basis-Ortsauflösung, gemessen mit einem Doppeldraht BPK auf dem Detektor
SR_b^{image}	Basis-Ortsauflösung, gemessen mit einem Doppeldraht-BPK auf der Strahler-Seite des Objekts

5 Qualifizierung des Personals

Das Personal, das zerstörungsfreie Prüfungen nach dieser Norm durchführt, muss nach ISO 9712 oder einer äquivalenten Norm in einer geeigneten Stufe für den relevanten Industriesektor qualifiziert sein. Das Personal muss zusätzliches Training und eine Qualifikation in digitaler industrieller Radiologie nachweisen können.

6 Klassifizierung von Computer-Radiographie-Techniken und Kompensationsprinzipien

6.1 Klassifizierung

Computer-Radiographie-Techniken sind in zwei Klassen eingeteilt:

- Klasse A: Grundtechnik;
- Klasse B: verbesserte Prüftechnik.

Techniken der Klasse B werden angewandt, wenn Klasse A unzureichend empfindlich sein könnte.

Bessere Prüftechniken als Klasse B sind möglich und sind zwischen den Vertragspartnern unter Festlegung aller geeigneten Prüfparameter zu vereinbaren.

Die Wahl der radiografischen Technik muss zwischen den betroffenen Vertragspartnern vereinbart werden.

Gleichwohl ist die Fehlererkennbarkeit von Film-Radiographie und Computer-Radiographie bei Verwendung der gleichen Prüfklasse A oder B vergleichbar. Diese Erkennbarkeit muss durch Benutzung von BPK nach ISO 19232-1 oder ISO 19232-2 und ISO 19232-5 nachgewiesen werden.

Wenn es technisch nicht möglich ist, eine der für Klasse B maßgebenden Prüfbedingungen einzuhalten, z. B. Art der Strahlenquelle oder Abstand Strahlenquelle-Prüfgegenstand f , darf zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, dass die Prüfbedingungen nach Klasse A angewendet werden. Der Empfindlichkeitsverlust muss durch eine Erhöhung des Mindest-Grauwertes und des SNR_N (empfohlene Erhöhung des SNR_N um den Faktor $> 1,4$) ausgeglichen werden. Wegen der dadurch verbesserten Prüfempfindlichkeit, die größer als für Klasse A ist, dürfen die durchstrahlten Prüfabschnitte als nach Klasse B geprüft angesehen werden, wenn die korrekte BPK-Empfindlichkeit erreicht worden ist.

6.2 Kompensationsprinzipien, CP I und CP II

6.2.1 Allgemeines. Zwei Regeln (siehe 6.2.2 bis 6.2.3) kommen in dieser Norm für Radiographie mit CR zur Anwendung, um eine ausreichende Kontrastempfindlichkeit herzustellen.

Die Anwendung dieser Regeln erfordert das Erreichen eines minimalen Kontrast-Rausch-Verhältnis', CNR_N , normiert zur Detektor-Basis-Ortsauflösung pro nachweisbarem Materialdickenunterschied Δw . Wenn das geforderte normierte Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR_N pro Δw) nicht erreicht werden kann aufgrund eines unzureichenden Wertes eines der folgenden Parameter, kann dies durch eine Erhöhung des SNR kompensiert werden.

6.2.2 CP I. Kompensation eines verringerten Kontrastes (z. B. durch erhöhte Röhrenspannung) durch ein erhöhtes SNR (z. B. durch ein erhöhten Röhrenstrom oder längerer Belichtungszeit).

6.2.3 CP II. Kompensation einer unzureichenden Detektor-Schärfe (der Wert SR_b^{detector} ist größer als gefordert) durch ein erhöhtes SNR (Erhöhung der Bildgütezahl um jeweils eine Stufe bei Draht- oder Stufe/Loch-BPK pro fehlendem Doppeldraht-BPK-Wert).

6.2.4 Theoretischer Hintergrund. Diese Kompensationsprinzipie basieren auf der folgenden Näherung für kleine Fehlergrößen ($\Delta w \ll w$):

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = c \cdot \frac{\mu_{\text{eff}} \cdot \text{SNR}}{SR_{\text{b}}^{\text{image}}}$$

Dabei ist

c eine Konstante;

μ_{eff} der effektive Schwächungskoeffizient, dem spezifischen Materialkontrast äquivalent.

7 Allgemeines

7.1 Schutz vor Ionisierender Strahlung

WARNUNG — Werden Teile des menschlichen Körpers Röntgen- oder Gammastrahlen ausgesetzt, kann eine schwerwiegende Gefährdung der Gesundheit auftreten. Bei Anwendung von Röntgenstrahlern oder von radioaktiven Strahlern müssen die gesetzlichen Anforderungen beachtet werden.

Lokale, nationale oder internationale Sicherheitsvorschriften müssen strikt befolgt werden, wenn ionisierende Strahlung angewendet wird.

7.2 Oberflächenvorbereitung und Herstellungsstadium

Im Allgemeinen ist eine Oberflächenvorbehandlung nicht notwendig; wenn aber Unebenheiten oder Beschichtungen auf der Oberfläche den Fehlernachweis erschweren könnten, müssen die Unebenheiten abgeschliffen oder die Beschichtungen entfernt werden.

Sofern nicht anders festgelegt, muss die Computer-Radiographie nach der letzten Herstellungsstufe durchgeführt werden, z. B. nach dem Schleifen oder der Wärmebehandlung.

7.3 Zuordnung von Durchstrahlungsbildern

Auf jedem Bereich des zu durchstrahlenden Prüfgegenstands müssen geeignete Identifizierungszeichen angebracht werden. Nach Möglichkeit müssen die Abbildungen dieser Zeichen auf dem Durchstrahlungsbild außerhalb des Prüfbereichs erscheinen, damit eine eindeutige Zuordnung des Bereichs sichergestellt ist.

7.4 Kennzeichnung

Auf dem Prüfgegenstand müssen dauerhafte Kennzeichnungen angebracht werden, um die Lage jeder Durchstrahlungsaufnahme exakt zu reproduzieren.

Wenn die Beschaffenheit des Werkstoffs und/oder seine Einsatzbedingungen keine dauerhafte Markierung zulassen, darf die Lage mit Hilfe genauer Skizzen oder Photographien beschrieben werden.

7.5 Überlappung der Phosphor-Speicherfolien

Werden für die Durchstrahlung eines Bereichs zwei oder mehr Speicherfolien (IP) benötigt, muss durch eine ausreichende Überlappung der Folien sichergestellt werden, dass der gesamte Prüfbereich abgebildet wird. Zum Nachweis dieser Anforderung muss eine Markierung aus einem Material mit hoher Absorption auf der Oberfläche des Prüfgegenstands so angebracht werden, dass sie auf jedem Bild sichtbar ist. Wenn die Durchstrahlungsbilder nacheinander gemacht werden, muss die Markierung aus einem Material mit hoher Absorption auf jedem Durchstrahlungsbild sichtbar sein.

7.6 Arten und Positionen von Bildgüteprüfkörpern (BPK/IQI) und BPK-Werte

Die Bildgüte muss durch Anwendung von Bildgüteprüfkörpern nach ISO 19232-1 oder ISO 19232-2 und ISO 19232-5 nachgewiesen werden. Wenn nicht anders von den Vertragspartnern festgelegt, müssen die geforderten Bildgütezahlen (BPK-Werte) aus ISO 19232-3 erfüllt werden.

Die Basis-Ortsauflösung des CR-Systems muss nach dem im Anhang A beschriebenen Verfahren anhand eines Referenzbildes überprüft werden. Die Basis-Ortsauflösung oder der Doppeldraht-BPK-Wert muss bestimmt werden um zu überprüfen, ob die eingesetzte Gerätetechnik die Anforderung nach Tabelle 4 in Abhängigkeit der durchstrahlten Materialdicke erfüllt. Für diesen Fall muss der Doppeldraht BPK direkt auf dem CR-System positioniert werden. Die Verwendung des Doppeldraht-BPK (nach ISO 19232-5) für Durchstrahlungsaufnahmen in der Routineprüfung ist nicht obligatorisch. Die Forderung zur Verwendung eines Doppeldraht-BPK zusätzlich zum Draht-BPK in der Routineprüfung kann Teil einer Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern sein. Bei der Routineprüfung muss sich der Doppeldraht-BPK auf dem Prüfgegenstand befinden. Die gemessene Basis-Ortsauflösung des Digitalbildes (SR_b^{image}) (siehe Anhang A), darf nicht die geforderten Maximalwerte in Abhängigkeit der durchstrahlten Materialdicke (siehe Tabelle 5) überschreiten. Für die Einbild-Auswertung wird die einfache Wanddicke für die durchstrahlte Materialdicke verwendet. Für eine Doppelwand-/Doppelbild-Auswertung (ISO 19232-3) mit dem Doppeldraht-BPK auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstandes wird die Außenabmessung des Prüfgegenstandes als durchstrahlte Materialdicke für die Bestimmung der notwendigen Basis-Ortsauflösung (SR_b^{image}) aus Tabelle 5 verwendet. Die Basis-Ortsauflösung des Detektors ($SR_b^{detector}$) für eine Doppelwand-/Doppelbild-Auswertung muss den Werten aus Tabelle 5 basierend auf der doppelten Nenndicke als durchstrahlten Materialdicke entsprechen.

Wenn die Vergrößerungstechnik mit $v > 1,2$ verwendet wird, dann muss der Doppeldraht-BPK (ISO 19232-5) für alle Durchstrahlungsaufnahmen in der Routineprüfung verwendet werden.

Der Doppeldraht-BPK ist mit einer Neigung von einigen Grad (2° bis 5°) gegenüber den Zeilen oder Spalten des digitalen Bildes anzuordnen. Wird der BPK mit einem Winkel von 45° zu den digitalen Zeilen oder Spalten angeordnet, muss der erhaltene BPK-Wert um einen Wert von eins reduziert werden.

Die Kontrastempfindlichkeit der digitalen Bilder ist durch Anwendung der BPK entsprechend der jeweiligen Anwendung wie in den Tabellen in ISO 19232-3 angegeben, nachzuweisen.

Die eingesetzten Draht- oder Stufe/Loch-BPK sind vorzugsweise auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstands, im Zentrum des interessierenden Objektbereichs, anzuordnen. Die BPK müssen sich in engem Kontakt zur Oberfläche des Prüfgegenstands befinden. Sie müssen in einem Bereich gleichmäßiger Dicke liegen, der durch einen gleichmäßigen Grauwert (Mittelwert) im digitalen Bild charakterisiert ist.

Je nach verwendetem BPK-Typ müssen Fall a) und b) betrachtet werden.

- a) Bei Verwendung eines Draht-BPKs müssen die Drähte in einem Bereich konstanter Dicke liegen, um sicherzustellen, dass sich mindestens 10 mm der Drahtlänge in einem Bereich mit gleichmäßigem Grauwert GV oder SNR_N befinden.
- b) Wenn ein Stufe/Loch-BPK verwendet wird, muss er so gelegt werden, dass sich die geforderte Lochnummer dicht am interessierenden Prüfbereich befindet.

Bei Doppelwand-/Doppelbild-Auswertungen kann der verwendete BPK entweder auf die der Strahlenquelle oder die dem Detektor zugewandte Seite gelegt werden. Wenn die BPK nicht entsprechend den vorstehend genannten Bedingungen angeordnet werden können, werden sie auf die dem Detektor zugewandte Seite gelegt, und die Bildgüte muss mindestens einmal unter den gleichen Bedingungen durch eine Vergleichsaufnahme mit einem BPK auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite und einem zweiten BPK

auf der dem Detektor zugewandten Seite bestimmt werden. Wenn Filter vor dem Detektor verwendet werden, muss der BPK auf das Filter gelegt werden.

Bei Doppelwanddurchstrahlungsaufnahmen, wenn der BPK auf die dem Detektor zugewandte Seite gelegt wurde, ist die vorstehend genannte Prüfung nicht erforderlich, und in diesem Fall sollte auf die Tabellen in ISO 19232-3 Bezug genommen werden.

Wenn der BPK auf die dem Detektor zugewandten Seite gelegt wird, muss der Buchstabe „F“ nahe an den BPK gelegt und dies im Prüfbericht angegeben werden.

Die Aufnahmekennzeichnung und der Bleibuchstabe „F“, falls verwendet, dürfen nicht in den auszuwertenden Bereich projiziert werden, es sei denn, eine solche geometrische Anordnung ist nicht realisierbar.

Wenn sichergestellt wurde, dass digitale Durchstrahlungsbilder von gleichartigen Prüfgegenständen und -bereichen mit identischer Aufnahme- und Verarbeitungstechnik hergestellt werden und keine Unterschiede in der Bildgütezahl wahrscheinlich sind, ist es nicht erforderlich, die Bildgüte für jede digitale Aufnahme nachzuweisen; in diesem Falle sollte der Umfang des Bildgütenachweises zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Bei Durchstrahlungsaufnahmen von Rohren mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm und einer zentral angeordneten Strahlenquelle sollten mindestens drei BPK gleichmäßig auf dem Umfang verteilt werden. Die Bilder der BPK werden dann als repräsentativ für den gesamten Umfang angesehen.

Wenn der BPK nicht in einem hohlen Objekt oder einer Rohrleitung (z. B. mit zentraler Strahlenquelle) strahlernah angebracht werden kann, kann er auch außerhalb detektornah angebracht werden. Die geforderten BPK-Werte müssen durch eine Referenz-Aufnahme mit den BPKs sowohl Strahler- und Detektornah am Prüfgegenstand ermittelt werden.

8 Empfohlene Vorgehensweise für die Aufnahme von Computer-Radiographien

8.1 Aufnahmeanordnungen

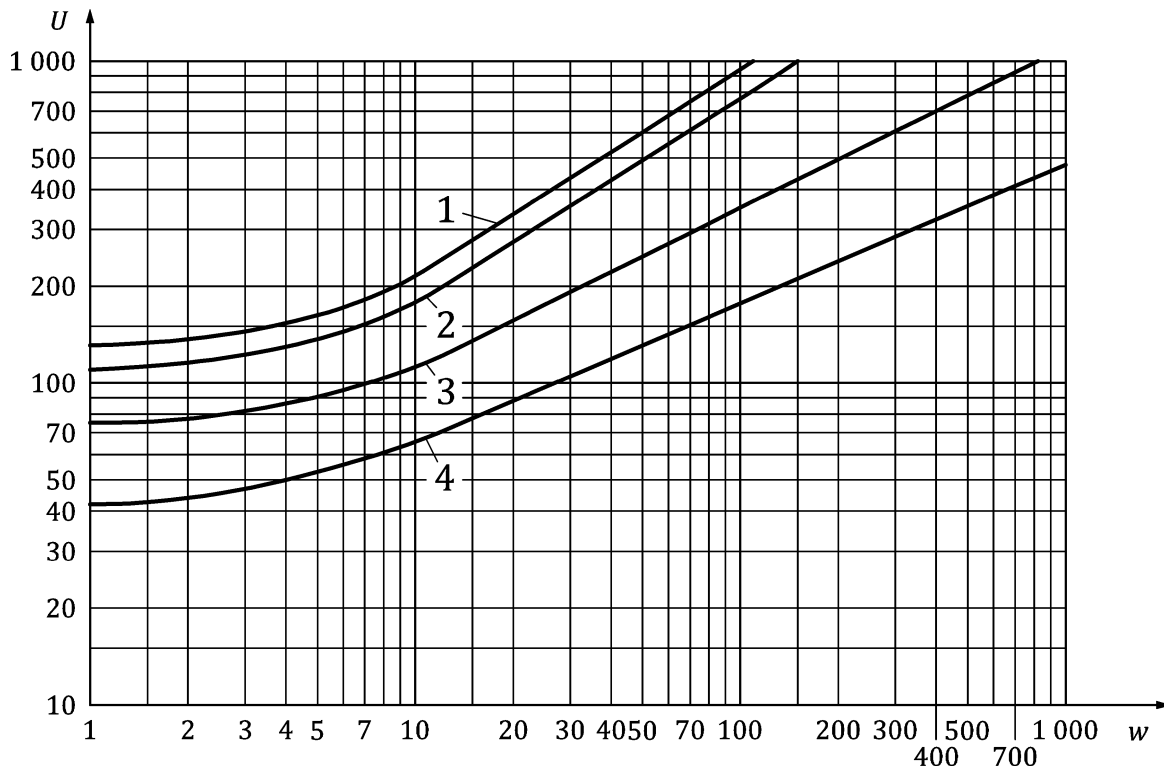
Aufnahmeanordnungen müssen entsprechend den spezifischen Anwendungsnormen wie z. B. ISO 17636-2 oder EN 12681 festgelegt werden.

8.2 Auswahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle

8.2.1 Röntgenstrahler

Um eine gute Fehlerauffindbarkeit zu erreichen, sollte die Röhrenspannung so niedrig wie möglich und das SNR_N im digitalen Bild so hoch wie möglich sein. Die empfohlenen Maximalwerte der Röhrenspannung in Abhängigkeit der durchstrahlten Dicke sind in Bild 1 angegeben. Bei diesen Maximalwerten handelt es sich um bewährte Praxiswerte für die Filmradiographie.

Speicherfolien mit hohem Strukturrauschen in der empfindlichen IP-Schicht (grobkörnig) sollten für die Prüfung nach Klasse B mit einer gegenüber Bild 1 um etwa 20 % geringeren Röntgen-Röhrenspannung eingesetzt werden. Hochauflösende Speicherfolien, die ähnlich wie Röntgenfilme belichtet werden und ein niedriges Strukturrauschen aufweisen (feinkörnig), sollten mit den Röntgen-Röhrenspannungen nach Bild 1 oder, sofern das SNR_N ausreichend erhöht wird, mit wesentlich höheren Spannungen eingesetzt werden (siehe Anmerkung unten).



Legende

- 1 Kupfer/Nickel und Legierungen
- 2 Stahl
- 3 Titan und Legierungen
- 4 Aluminium und Legierungen
- w Durchstrahlte Materialdicke, in mm
- U Spannung des Röntgenstrahlers, in kV

Bild 1 — Röhrenspannung von Röntgenstrahlern bis 1 MV in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke und vom Werkstoff

ANMERKUNG

- Eine Verbesserung der Kontrastempfindlichkeit kann durch Erhöhung des Kontrasts bei einem konstanten SNR_N (Verringerung der Röhrenspannung und Kompensation durch eine höhere Belichtung (z. B. mA·min)); oder
- durch Erhöhung des SNR_N bei gegebenem Kontrast (konstanter kV-Wert) durch Erhöhung der Belichtung (z. B. mA·min) erreicht werden;
- Eine erhöhte Röhrenspannung bei gegebener Belichtung (z. B. mA·min) verringert den Kontrast und erhöht das SNR_N . Die Kontrastempfindlichkeit nimmt zu, wenn die Erhöhung des SNR_N größer ist als die Kontrastverringern durch die höhere Energie.

8.2.2 Andere Strahlungsquellen

Die empfohlenen Bereiche der durchstrahlten Dicke für Gammastrahler und Röntgenstrahler über 1 MeV sind in Tabelle 2 angegeben.

Nach Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern darf der Wert der durchstrahlten Werkstoffdicke weiter auf 10 mm für Ir 192 und auf 5 mm für Se 75 verringert werden. Bei dünnwandigen Prüfgegenständen aus Stahl erzeugen Gammastrahlen von Ir 192 und Co 60 digitale Durchstrahlungsbilder mit einer geringeren Fehlernachweisempfindlichkeit als solche, die unter Anwendung von Röntgenstrahlung mit geeigneter

Technik gewonnen wurden. Wegen der Vorteile von Gammastrahlenquellen bezüglich Handhabbarkeit und Zugänglichkeit gibt Tabelle 2 jedoch einen Dickenbereich für jede dieser Gammastrahlenquellen an, der zulässig ist, wenn der Einsatz von Röntgenstrahlen schwierig ist.

Für bestimmte Anwendungen dürfen größere Werkstoffdickenbereiche gestattet werden, wenn eine ausreichende Bildgüte erreicht werden kann.

In den Fällen, in denen digitale Durchstrahlungsbilder mit Gammastrahlen erzeugt werden, darf die Gesamtzeit für die Bewegung zur und von der Position der Strahlenquelle 10 % der gesamten Belichtungszeit nicht überschreiten.

Tabelle 2 — Bereich der durchstrahlten Dicke für Gammastrahler und Röntgenstrahler mit einer Energie über 1 MeV, für Stahl, Kupfer und auf Nickelbasis-Legierungen

Strahlenquelle	Durchstrahlte -Dicke w mm	
	Klasse A	Klasse B
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 ^a	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 ^b	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
Röntgenstrahler mit Energien von 1 MeV bis 4 MeV	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
Röntgenstrahler mit Energien von 4 MeV bis 12 MeV	$50 \leq w$	$80 \leq w$
Röntgenstrahler mit Energien über 12 MeV	$80 \leq w$	$100 \leq w$
^a Die durchstrahlte Dicke für Aluminium und Titan ist $10 \text{ mm} \leq w \leq 70 \text{ mm}$ für Klasse A und $25 \text{ mm} \leq w \leq 55 \text{ mm}$ für Klasse B.		
^b Die durchstrahlte Dicke für Aluminium und Titan ist $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$ für Klasse A.		

Die in Tabelle 2 angegebenen maximalen durchstrahlten Dicken dürfen überschritten werden, wenn eine ausreichende BPK-Empfindlichkeit nachgewiesen werden kann.

8.3 CR-Systeme und Metallfolien

8.3.1 Mindest-SNR_N

Für die digitale Durchstrahlungsprüfung müssen Mindest-SNR_N-Werte nach den Tabellen 3 und 4 angegeben, oder Mindest-Grauwerte erreicht werden. Anhang C beschreibt das Verfahren für die Messung des SNR_N und liefert eine Umwandlungstabelle für die Anwender, die es vorziehen, anstelle des SNR_N unnormierte, gemessene SNR-Werte anzusetzen.

Anstelle der Mindest-SNR_N-Werte dürfen äquivalente Mindest-Grauwerte genutzt werden, vorausgesetzt sie werden entsprechend dem Verfahren nach Anhang C für die eingesetzten IP, das verwendete Abtastsystem und dessen Einstellungen sowie das erforderliche SNR_N nach den Tabellen 2 und 3 bestimmt.

Die SNR_N -Werte sind im Bereich nahe dem Draht- bzw. Stufe/Loch-BPK im dickeren Teil des Prüfgegenstandes, in einem Bereich mit homogener Wanddicke und homogenen Grauwerten zu messen. Da die Rauheit des Werkstoffs das Bildrauschen und das SNR_N beeinflusst, handelt es sich bei den Werten nach Tabelle 3 nur um empfohlene Werte. Die Messwerte können die Werte in Tabelle 3 und 4 um bis zu 20 % unterschreiten, sofern die erforderliche Bildgüte nach ISO 19232-3 erreicht wird.

In Anhang C wird das Verfahren beschrieben, mit dem anstelle des erforderlichen SNR_N die äquivalenten Mindest-Grauwerte bestimmt werden können.

8.3.2 Metallfolien und Abschirmung

Wenn Vorderfolien aus Metall verwendet werden, muss ein guter Kontakt zwischen Metallfolien und Speicherfolien gegeben sein. Dies sollte entweder durch Verwendung von vakuumverpackten IP oder durch Anpressdruck erreicht werden. Bleifolien, die sich nicht in engem Kontakt mit den IP befinden, können zur Bildunschärfe beitragen. Die durch die Verwendung von Bleifolien im Kontakt mit Speicherfolien erreichbare Verstärkung ist wesentlich geringer als bei der Filmradiographie.

Viele IP sind sehr empfindlich gegenüber niederenergetischer Rückstreuung und Röntgenfluoreszenzstrahlung, die von der als Schutz gegen Rückstreuung verwendeten Bleiabschirmung ausgeht. Dieser Effekt trägt signifikant zur Kantenunschärfe und einem verringerten CNR bei und sollte minimiert werden. Es wird empfohlen, direkt hinter der IP eine Folie aus Stahl oder Kupfer zu verwenden. Auch eine Stahl- oder Kupferfolie zwischen Rückstreu-Bleiabschirmung und IP kann die Bildgüte verbessern. Moderne Kassettenkonstruktionen berücksichtigen diesen Effekt und können so aufgebaut sein, dass keine zusätzliche Abschirmung aus Stahl oder Kupfer außerhalb der Kassette erforderlich ist.

ANMERKUNG Aufgrund der Schutzschicht zwischen dem Blei und der empfindlichen Schicht einer IP wird die Verstärkungswirkung durch Elektronen wesentlich verringert und tritt erst bei höheren Energien auf. In Abhängigkeit von der Strahlungsenergie und der Auslegung der Schutzschicht beträgt die Verstärkung der Aufnahmefolien bei typischen Röntgenenergien zwischen 20 % und 100 % (im Vergleich zur Belichtung ohne Aufnahmefolie).

Der geringe Verstärkungseffekt durch Bleifolien im Kontakt mit Speicherfolien kann kompensiert verwendet werden, indem ohne Metallfolien eine längere Belichtungszeit oder ein höherer mA·min-Wert benutzt wird. Da in Kontakt mit den IP stehende Bleifolien Kratzer auf den IP verursachen können, wenn sie vor dem Abtastvorgang unachtsam entfernt werden, sollten Bleifolien für die Zwischenfilterung der Streustrahlung nur außerhalb der Kassetten eingesetzt werden. Für die Untersuchung von Prüfgegenständen aus Stahl mit einer Dicke < 12 mm wird keine Zwischenfilterung empfohlen.

In den Tabellen 3 und 4 werden die empfohlenen Materialien und Dicken der Metallfolien für verschiedene Strahlenquellen angegeben. Andere Foliendicken dürfen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, vorausgesetzt die erforderliche Bildgüte wird erreicht. Es wird die Verwendung von Metallfolien als Vorderfolien in Kontakt mit den Speicherfolien empfohlen.

Tabelle 3 — Mindest-SNR_N-Werte und Vorderfolien aus Metall für die Computer-Radiographie von Stahl, Kupfer und Nickelbasis-Legierungen

Strahlenquelle	Durchstrahlte Material-Dicke ^w mm	Mindest-SNR _N		Art und Dicke der Vorderfolien mm
		Klasse A	Klasse B	
Spannung des Röntgenstrahlers ≤ 50 kV		100	150	Keine
Spannung des Röntgenstrahlers ^c > 50 kV bis 150 kV		70	120	0 – 0,1 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^c > 150 kV bis 250 kV		70	100	0 – 0,1 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^c > 250 kV bis 350 kV	≤ 50	70	100	0 – 0,25 (Pb)
	> 50	70	70	0,1 – 0,3 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^c > 350 kV bis 450 kV	≤ 50	70	100	0,1 – 0,3 (Pb)
	> 50	70	70	0,1 – 0,3 (Pb)
Yb 169 ^c	≤ 5	70	120	0 – 0,1 (Pb)
	> 5	70	100	0 – 0,1 (Pb)
Ir 192 ^c , Se 75 ^c	≤ 50	70	100	0,1 – 0,3 (Pb)
	> 50	70	70	0,1 – 0,4 (Pb)
Co 60 ^{a, b}	≤ 100	70	100	0,5 (Fe) + 1,5 (Pb)
	> 100	70	70	0,5 (Fe) + 2,0 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^{a, b} > 1 MV	≤ 100	70	100	0,5 (Fe) + 1,5 (Pb)
	> 100	70	70	0,5 (Fe) + 2,0 (Pb)

^a Bei Mehrfachfolien (Fe + Pb) ist die Stahlfolie zwischen IP und Bleifolie anzuordnen

^b Anstelle von Fe oder Fe + Pb dürfen auch Folien aus Kupfer, Tantal oder Wolfram eingesetzt werden, vorausgesetzt die Bildgüte kann nachgewiesen werden.

^c Bleifolien dürfen komplett oder teilweise durch Aufnahmefolien aus Fe oder Cu ersetzt werden. Die äquivalente Dicke für Fe- oder Cu-Folien ist 3x die Bleidicke.

Tabelle 4 — Mindest-SNR_N-Werte und Metallfolien für Aluminium und Titan

Strahlenquelle	Mindest-SNR _N		Art und Dicke der Vorderfolien mm
	Klasse A	Klasse B	
Spannung des Röntgenstrahlers ≤ 150 kV	70	120	≤ 0,03 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers > 150 kV bis 250 kV	70	100	≤ 0,2 (Pb) ^a
Spannung des Röntgenstrahlers > 250 kV bis 500 kV	70	100	≤ 0,2 (Pb) ^a
Yb 169	70	100	≤ 0,15 (Pb) ^a
Se 75	70	100	≤ 0,3 (Pb) ^a

^a Anstelle einer 0,2-mm Bleifolie darf eine 0,1-mm-Folie mit einem zusätzlichen 0,1 mm dicken Filter außerhalb der Kassette eingesetzt werden.

8.4 Maximale Unschärfe und Basis-Ortsauflösung für die CR-System-Auswahl

8.4.1 Auswahl des Systems

Computer-Radiographiesysteme müssen ausreichend Bildgüte liefern, damit eine Mindest-Detektionswahrscheinlichkeit für Material-Inhomogenitäten erreicht wird. Tabelle 5 definiert die geforderten maximalen Unschärfen, die maximalen Werte der Basis-Ortsauflösung und minimalen Doppeldraht-Bildgütezahlen des auszuwählenden CR-Systems in Abhängigkeit von Material-Dicke und Prüfklasse. CR-Systeme für digitale Radiographie dürfen die maximalen Unschärfe und Basis-Ortsauflösungswerte aus Tabelle 5 nicht überschreiten und dürfen die geforderten Doppeldraht-Bildgütezahlen nicht unterschreiten.

Die Unschärfe und Basis-Ortsauflösung (oder der Doppeldraht-BPK-Wert nach ISO 19232-5) des verwendeten CR-Systems muss mit einer Referenz-Aufnahme bestätigt werden, aus der $SR_b^{detector}$ bestimmt wird. SR_b^{image} muss bestimmt werden, wenn die Vergrößerung bei > 1,2 liegt.

Die Basis-Ortsauflösung des CR-Systems ($SR_b^{detector}$) oder die Basis-Ortsauflösung im digitalen Bild (SR_b^{image}) wird aus dem Gesamt-Unschärfe-Wert (u_T) berechnet, der nach ISO 19232-5 und Anhang A, bestimmt wird. Mit CR-System sollte auf Einzel-Fehler, die größer als oder gleich 3×3 Pixel sind, oder linearen Anzeigen, die größer als oder gleich 2×6 Pixel sind, geprüft werden.

CR-Systeme, die eine höhere Unschärfe besitzen als in Tabelle 5 gefordert, können verwendet werden, wenn das Kompensationsprinzip II benutzt wird.

8.4.2 Kompensationsprinzip II

Wenn beide BPK-Bildgütezahlen (Kontrastempfindlichkeit auf Grundlage von Draht- oder Stufe/Loch-BPK einerseits und Basis-Ortsauflösung auf Grundlage des Doppeldraht-BPK andererseits) nach der Tabelle 5 mit Hilfe des verwendeten CR-Systems und den eingesetzten Durchstrahlungsbedingungen nicht erreichbar sind, muss mit einer Erhöhung der Sichtbarkeit der Einzel-Draht-BPK oder der Stufe/Loch-BPK die Überschreitung der Unschärfewerte (oder die Überschreitung der SR_b -Werte) kompensiert werden.