

DIN EN 12681-2



ICS 77.040.20

Einsprüche bis 2016-05-11

Entwurf

**Gießereiwesen –
Durchstrahlungsprüfung –
Teil 2: Technik mit Digitaldetektoren;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12681-2:2016**

Founding –
Radiographic testing –
Part 2: Techniques with digital detectors;
German and English version prEN 12681-2:2016

Fonderie –
Contrôle par radiographie –
Partie 2: Techniques à l'aide de détecteurs numériques;
Version allemande et anglaise prEN 12681-2:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-03-11 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 gina@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 Gießereiwesen (GINA), 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.

Gesamtumfang 131 Seiten

DIN-Normenausschuss Gießereiwesen (GINA)
DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12681-2:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 190 „Gießereiwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 036-00-03 AA „Prüfverfahren für Gusswerkstoffe“ des DIN-Normenausschusses Gießereiwesen (GINA) verantwortlich.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 12681-2 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Technik mit Digitaldetektoren

Fonderie — Contrôle par radiographie — Partie 2 : Techniques à l'aide de détecteurs numériques

Founding — Radiographic examination — Part 2: Techniques with digital detectors

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Abkürzungen	14
5 Einteilung der radiographischen Techniken und Kompensationsprinzipen	16
5.1 Einteilung	16
5.2 Kompensationsprinzipen	16
6 Allgemeine Vorbereitungen und Anforderungen	17
6.1 Schutz vor ionisierender Strahlung	17
6.2 Oberflächenvorbehandlung und Herstellungsstufe	17
6.3 Vereinbarungen	17
6.4 Qualifizierung des Personals	18
7 Aufnahmeanordnungen	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Einwandige Durchstrahlung ebener Prüfbereiche	19
7.3 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfbereiche	19
7.4 Doppelwanddurchstrahlung ebener und gekrümmter Prüfbereiche	19
7.5 Wahl der Aufnahmeanordnungen bei komplexen Geometrien	19
7.6 Zulässige Maße von Prüfbereichen	19
8 Wahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle	24
8.1 Röntgenstrahler für bis zu 1 000 kV	24
8.2 Andere Strahlenquellen	25
9 Metallfolien für IP und Abschirmung	26
10 Verminderung der Streustrahlung	28
10.1 Metallfilter und Kollimatoren	28
10.2 Abschirmung von rückgestreuter Strahlung	28
11 Position Strahlenquelle – Prüfgegenstand und Detektor	29
11.1 Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand	29
11.2 Geometrische Vergrößerungstechnik	31
11.3 Zuordnung von Durchstrahlungsbild und Prüfbereich, Detektorlageplan	33
12 Verarbeitung	33
12.1 Abtasten und Auslesen der Bilder	33
12.2 Kalibrierung der DDA	33
12.3 Interpolation der Bad-Pixel	34
12.4 Bildverarbeitung	34
13 Betrachtungsbedingungen am Monitor und Speicherung der digitalen Durchstrahlungsbilder	35
14 Techniken zur Erhöhung des abgedeckten Dickenbereichs	35
14.1 Allgemeines	35
14.2 Kontrastminderung durch höhere Strahlungsenergie	36
14.3 Aufhärtung	36

14.4	Dickenausgleich	36
15	Durchstrahlungsbilder	37
15.1	Zuordnung von Durchstrahlungsbildern	37
15.2	Kennzeichnung der Prüfbereiche	37
15.3	Überlappung der digitalen Durchstrahlungsbilder	37
16	Bildgütenachweis	37
16.1	Typen und Lagen der Bildgüteprüfkörper (BPK)	37
16.2	Mindestbildgütezahlen	38
16.3	Normiertes Mindest-Signal-Rausch-Verhältnis (SNR_N)	38
16.4	Kompensationsprinzip CP II	39
16.5	Regelmäßige Leistungsüberprüfung digitaler Durchstrahlungssysteme	39
17	Einfluss der Kristallstruktur	40
18	Annahmekriterien	40
18.1	Allgemeines	40
18.2	Gütestufen	40
18.3	Wandquerschnittszonen	41
19	Prüfbericht	42
	Anhang A (normativ) Mindestbildgütezahlen	43
	Anhang B (normativ) Gütestufen für Stahlgussstücke	48
	Anhang C (normativ) Gütestufen für Eisengussstücke	50
	Anhang D (normativ) Gütestufen für Gussstücke aus Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen	51
	Anhang E (normativ) Gütestufen für Gussstücke aus Titan und Titanlegierungen	53
	Anhang F (normativ) Bestimmung der Basis-Ortsauflösung (übernommen aus EN ISO 17636-2:2013, Anhang C)	54
	Anhang G (normativ) Bestimmung der Mindestgrauwerte für die Anwendung der Computer- Radiographie (übernommen aus EN ISO 17636-2:2013, Anhang D)	58
G.1	Bestimmung des normierten SNR_N aus dem SNR_{measured}	58
G.2	Bestimmung der Mindestgrauwerte	59
	Anhang H (informativ) Grauwerte, allgemeine Bemerkungen (übernommen aus EN ISO 17636-2:2013, Anhang E)	63
H.1	Einführung	63
H.2	Rauschkontrolle	63
	Literaturhinweise	65

Bilder

Bild 1	— Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung ebener Bereiche	20
Bild 2	— Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit der Strahlenquelle auf der konvexen Seite und dem Detektor auf der konkaven Seite des Prüfbereiches	20
Bild 3	— Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit exzentrischer Position der Strahlenquelle auf der konkaven Seite und dem Detektor auf der konvexen Seite des Prüfbereiches	20
Bild 4	— Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit zentrischer Position der Strahlenquelle auf der konkaven Seite und dem Detektor auf der konvexen Seite des Prüfbereiches, nicht für starre Detektoren	21

Bild 5 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; nur die detektorseitige Wand zur Beurteilung abgebildet	21
Bild 6 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; mehrere Aufnahmen; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; beide Wände zur Beurteilung abgebildet.....	21
Bild 7 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; Übersichtsaufnahme; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; beide Wände zur Beurteilung abgebildet.....	22
Bild 8 — Beispiele für Kanten und Flansche.....	22
Bild 9 — Beispiele für Rippen	22
Bild 10 — Beispiel für kreuzförmige Geometrien	23
Bild 11 — Beispiel für keilförmige Geometrien	23
Bild 12 — Beispiel für Rippen und Abstützungen	23
Bild 13 — Empfohlene Röhrenspannung U von Röntgenstrahlern bis 1 000 kV in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke w und vom Werkstoff	25
Bild 14 — Leiterdiagramm für die Bestimmung des Mindestabstandes Strahlenquelle – Prüfgegenstand $f_{\min}$ in Bezug auf den Abstand Prüfgegenstand - Detektor b und die Strahlergröße d	31
Bild 15 — Abschätzung des möglichen Dickenbereichs für unterschiedliche Strahlungsenergien für Stahl und Gusseisen	36
Bild 16 — Einteilung der Wand in Zonen.....	41
Bild F.1 — Beispiel für die Auswertung eines Doppeldraht-BPK mit der sich ergebenden BPK-Zahl D8, dem ersten Drahtpaar mit einer Vertiefung $< 20\%$	56
Bild F.2 — Beispiel für die Bestimmung der interpolierten Basis-Ortsauflösung iSR_b detector durch Interpolation aus den gemessenen Modulationstiefen (Dip) benachbarter Doppeldrahtelemente	57
Bild G.1 — Anordnung für die Bestimmung der äquivalenten Grauwerte für das erforderliche Mindest- SNR_N nach Tabelle 3 oder 4 für die CR.....	61
Bild G.2 — Messung der mittleren Grauwerte und der SNR_N -Werte für eine Stufe des Stufenkeilbildes.....	61
Bild G.3 — Graphische Darstellung der SNR_N -Werte in Abhängigkeit von den mittleren Grauwerten bei einer Messung nach Bild G.2.....	62
Tabellen	
Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen.....	15
Tabelle 2 — Bereich der durchstrahlten Dicke für Gamma- und Röntgenstrahler mit Energien über 1 MeV für Stahl, Gusseisen, Cobalt, Kupfer und Nickelbasislegierungen.....	26
Tabelle 3 — Mindest- SNR_N -Werte (CR und DDA) und Vorderfolien aus Metall (Folien nur für CR) für die digitale Durchstrahlungsprüfung von Stahl, Gusseisen, Cobalt, Kupfer und Nickelbasislegierungen	27
Tabelle 4 — Mindest- SNR_N -Werte (CR und DDA) und Vorderfolien aus Metall (Folien nur für CR) für die digitale Durchstrahlungsprüfung von Aluminium, Magnesium und Zink.....	28
Tabelle A.1 — Bildgüteanforderungen für die Prüfklassen A und A_A	44
Tabelle A.2 — Bildgüteanforderungen für die Prüfklassen B und B_A	45
Tabelle A.3 — Bildgüteausnahmen für die Durchstrahlungsprüfung mit Gammastrahlen.....	46

Tabelle A.4 — Maximal zulässige Bildunschärfe u_{im} und SR_b^{image} für alle automatisierten und halbautomatisierten Techniken.....	47
Tabelle B.1 — Gütestufen für Gussstücke aus Stahl und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2868.....	48
Tabelle B.2 — Gütestufen für Stahlfeingussstücke und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2660.....	49
Tabelle C.1 — Gütestufen für Eisengussstücke und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2868	50
Tabelle D.1 — Gütestufen für Gussstücke aus Aluminiumlegierungen und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2422	51
Tabelle D.2 — Gütestufen für Gussstücke aus Magnesiumlegierungen und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2869.....	52
Tabelle E.1 — Gütestufen für Gussstücke aus Titan und Titanlegierungen und entsprechende maximal zulässige Ungänze und digitales Vergleichsbild nach ASTM E 2669.....	53
Tabelle G.1 — Erforderliche $SNR_{measured}$-Werte für ausgewählte CR-Systeme mit unterschiedlichen SR_b^{image} oder $SR_b^{detector}$, die den jeweiligen SNR_N-Werten entsprechen	59
Tabelle G.2 — Beispiel für eine Spezifikation der Mindestgrauwerte (siehe auch Bild G.3)	62

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12681-2:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 190 „Gießereiwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

In Im Rahmen seines Arbeitsprogramms beauftragte das Technische Komitee CEN/TC 190 die CEN/TC 190/WG 10 „Innere Fehler“, die folgende Norm:

EN 12681:2003, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung*

zu überarbeiten und zu unterteilen in:

prEN 12681-1, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Filmtechniken*
(Ersatz für EN 12681:2003)

prEN 12681-2, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Technik mit Digitaldetektoren*
(neuer Inhalt und Teil von EN 12681:2003)

Einleitung

Die Durchstrahlung kann für das Erkennen innerer Ungängen in einem Gussstück angewendet werden. Die Ungängen können Gasblasen, nichtmetallische Einschlüsse, Lunker, Risse, Einsätze oder Kühlelemente oder Einschlüsse mit geringerer oder höherer Dichte als der des Grundmetalls sein. In dieser Europäischen Norm sind die Annahmekriterien durch Gütestufen angegeben.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die besonderen Vorgehensweisen für die industrielle Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen zur zerstörungsfreien Erkennung von Ungängen mit digitalen Röntgenbilddetektoren fest. Dieser Teil von EN 12681 legt die Anforderungen an die digitale Durchstrahlungsprüfung von Gussstücken entweder mit Computer-Radiographie (CR) oder mit digitalen Matrixdetektoren (en: digital detector arrays, DDA) fest.

Digitaldetektoren liefern ein digitales Grauwertbild, das betrachtet und mit einem Rechner ausgewertet werden kann.

ANMERKUNG Dieser Teil von EN 12681 entspricht EN 14784-2 für CR. Einige Abschnitte und Anhänge sind aus EN ISO 17636-2 übernommen.

Dieser Teil von EN 12681 legt das empfohlene Verfahren für die Wahl des Detektors und des Durchstrahlungsverfahrens fest. Die Wahl von Rechner, Software, Monitor, Drucker und Betrachtungsbedingungen ist von Bedeutung, bildet jedoch nicht den Schwerpunkt dieser Norm. Das in dieser Norm festgelegte Verfahren enthält die Mindestanforderungen an das Durchstrahlungsverfahren zur Aufnahme und Erfassung digitaler Durchstrahlungsbilder für den Nachweis von Unvollkommenheiten mit einer Empfindlichkeit, die der in Teil 1 dieser Norm festgelegten Durchstrahlungsprüfung mit Filmen gleichwertig ist.

Die vorliegende Norm berücksichtigt nicht die radiographische oder radioskopische Eignung für Prüfungszwecke spezieller Gussstücke auf Grundlage interner Herstelleranforderungen und -verfahren.

Die Bildgüteanforderungen in den Prüfklassen A und B in Anhang A berücksichtigen die gute Verarbeitungsqualität für allgemeine Gussstückanwendungen, wie auch in Teil 1 dieser Norm für die Durchstrahlungsprüfung mit Filmen gefordert.

Die Klassen A_A und B_A widerspiegeln die Qualitätsanforderungen derzeitiger automatisierter und halbautomatisierter Durchstrahlungsprüfsysteme mit DDA (rechnergestützte Fehlererkennung oder Sichtprüfung) und Mini- oder Mikrofokusröhren (Brennfleckgröße ≤ 1 mm) mit reduzierten Anforderungen an die Unschärfe jedoch unveränderten Anforderungen an die Kontrastempfindlichkeit, wie in Teil 1 dieser Norm für die Durchstrahlungsprüfung mit Filmen gefordert.

Die festgelegten Verfahren gelten für nach einem beliebigen Gießverfahren hergestellte Gussstücke, insbesondere aus Stahl, Gusseisen, Aluminium, Cobalt, Kupfer, Magnesium, Nickel, Titan, Zink und deren Legierungen.

Dieser Teil der Europäischen Norm gilt nicht für:

- die Prüfung von Schweißverbindungen (siehe EN ISO 17636-2);
- die Durchstrahlungsprüfung mit Filmen (siehe prEN 12681-1);
- die Echtzeitprüfung mittels Radioskopie.

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 Radio-Nukliden — Durchstrahlungsverfahren*

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

EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2012)*

EN ISO 17636-2:2013, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren (ISO 17636-2:2013)*

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

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

EN ISO 19232-4, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 4: Experimentelle Ermittlung von Bildgütezahl und Bildgütetabellen (ISO 19232-4)*

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

ISO 5576, *Non-destructive testing — Industrial X-ray and gamma-ray radiology — Vocabulary*

ISO 16371-1:2011, *Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates — Part 1: Classification of systems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5576, EN ISO 17636-2 und die folgenden Begriffe.

3.1

Wanddicke

t

am Gussstück gemessene Dicke

3.2

Nennwanddicke

t_n

in der technischen Zeichnung festgelegte Dicke

3.3 durchstrahlte Dicke

w

Dicke des Werkstoffes in Strahlungsrichtung, berechnet aus den tatsächlichen Dicken aller durchstrahlten Wände

3.4 Größe der Strahlenquelle

d

Strahler- oder Brennfleckgröße der eingesetzten Strahlenquelle

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.20]

3.5 Abstand Prüfgegenstand - Detektor

b

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

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.19]

3.6 Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand

f

Abstand zwischen der Strahlenquelle und der der Strahlenquelle zugewandten und am weitesten vom Detektor entfernten Seite des Prüfgegenstandes in Richtung des Zentralstrahles

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.22]

3.7 Abstand Strahlenquelle - Detektor FDA, SDD

(en: source-to-detector distance)

Abstand zwischen der Strahlenquelle und dem Detektor in Strahlungsrichtung (Fokus-Detektor-Abstand)

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

Dabei ist

f der Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand

b der Abstand Prüfgegenstand - Detektor

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.21]

3.8 geometrische Vergrößerung

v

Quotient aus dem Abstand Strahlenquelle - Detektor FDA und dem Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand f

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.24]

3.9

Computer-Radiographie

CR

(en: computed radiography)

Phosphor-Speicherfolien-System

vollständiges System, das aus einer Phosphor-Speicherfolie (IP) und der zugehörigen Ausleseeinheit (Abtastsystem bzw. Scanner) besteht, mit der die Informationen aus der IP in ein digitales Bild umgewandelt werden

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.1]

3.10

Phosphor-Speicherfolie

IP

(en: imaging plate)

photo-stimulierbares lumineszierendes Material, das in der Lage ist, ein latentes Durchstrahlungsbild des untersuchten Werkstoffes zu speichern, und das bei Anregung mit einer roten Lichtquelle geeigneter Wellenlänge blaues Lumineszenzlicht proportional zur absorbierten Röntgenstrahlung erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Computer-Radiographie wird anstelle eines Films eine IP verwendet. Bei der Festlegung von Techniken im Zusammenhang mit Strahlergröße oder Aufnahmegeometrien wird die IP als Detektor bezeichnet, d. h. Abstand Strahlenquelle – Detektor (FDA).

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.2]

3.11

digitales Matrixdetektor-System

DDA-System

(en: digital detector array system)

elektronisches Gerät, das ionisierende oder durchdringende Strahlung in eine diskrete Matrix analoger Signale umwandelt, die anschließend digitalisiert und an einen Rechner übertragen werden, um dort als digitales Bild angezeigt zu werden, das der örtlichen radiologischen Energieverteilung entspricht, die auf die strahlungsempfindliche Fläche des Gerätes wirkt

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.3]

3.12

Strukturrauschen der Speicherfolie

Strukturrauschen der IP

Störmuster, verursacht durch Inhomogenitäten in der empfindlichen Schicht (Körnigkeit) und der Oberfläche einer Speicherfolie

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach dem Abtasten der bestrahlten Speicherfolie erscheinen diese Inhomogenitäten als festes Störmuster im digitalen Bild.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieses Rauschen begrenzt die maximal erreichbare Bildgüte von digitalen CR-Bildern und ist mit der Körnigkeit in Filmbildern vergleichbar.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.4]

3.13

Strukturrauschen des digitalen Matrixdetektor-Systems

Strukturrauschen des DDA

Störmuster, verursacht durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Detektorelemente (Pixel)

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach dem Auslesen des bestrahlten, nicht kalibrierten DDA erscheinen diese Inhomogenitäten des DDA als festes Störmuster (Strukturrauschen) im digitalen Bild. Deshalb erfordern sämtliche DDA nach dem Auslesen eine softwarebasierte Kalibrierung (Software und Anleitung werden durch den Hersteller bereitgestellt). Ein geeignetes Kalibrierverfahren verringert dieses Strukturrauschen.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.5]

3.14

Grauwert

GV

(en: grey value)

numerischer Wert eines Pixels in einem digitalen Bild

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird auch als Pixelwert, Detektorantwort, Analog-Digital-Wandlerwert oder Detektorsignal bezeichnet und ist mit ihnen austauschbar.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.6]

3.15

linearisierter Grauwert

GV_{lin}

numerischer Wert eines Pixels, der direkt proportional zur Bestrahlungsdosis des Detektors ist und den Wert Null aufweist, wenn der Detektor nicht bestrahlt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird auch als linearisierter Pixelwert oder linearisiertes Detektorsignal bezeichnet und ist mit ihnen austauschbar.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.7]

3.16

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Detektors

$SR_{b,detector}$

(en: basic spatial resolution)

Hälfte der gemessenen Bildunschärfe in einem digitalen Bild, entspricht der effektiven Pixelgröße und gibt das kleinste geometrische Detail an, das mit dem digitalen Detektor ohne Vergrößerung ($V = 1$) aufgelöst werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Messung ist der Doppeldraht-BPK nach EN ISO 19232-5 direkt auf den DDA oder die Speicherfolie zu legen. Die Messung der Unschärfe ist in EN ISO 19232-5 beschrieben, siehe auch ASTM E 2736 und ASTM E 1000.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.8]

3.17

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes

SR_b image

Hälfte der gemessenen Bildunschärfe in einem digitalen Bild, entspricht der effektiven Pixelgröße und gibt das kleinste geometrische Detail an, das in einem digitalen Bild aufgelöst werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Messung ist der Doppeldraht-BPK direkt auf die der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstandes zu legen

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messung der Unschärfe ist in EN ISO 19232-5 beschrieben, siehe auch ASTM E 2736 und ASTM E 1000.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.9]

3.18

Signal-Rausch-Verhältnis

SNR

(en: signal-to-noise ratio)

Quotient aus dem Mittelwert der linearisierten Grauwerte und der Standardabweichung der linearisierten Grauwerte (Rauschen) in einem bestimmten interessierenden Bereich in einem digitalen Bild

Anmerkung 1 zum Begriff: Der interessierende Bereich muss mindestens 1 100 Pixel enthalten.

3.19

normiertes Signal-Rausch-Verhältnis

SNR_N

(en: normalized signal-to-noise ratio)

SNR, normiert mit der Basis-Ortsauflösung SR_b image, entweder direkt im digitalen Bild gemessen und/oder aus dem gemessenen $SNR_{measured}$ berechnet

Anmerkung 1 zum Begriff: $SNR_N = SNR_{measured} \times (88,6 \mu m / SR_b \text{ image})$

3.20

Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR

(en: contrast-to-noise ratio)

Quotient aus der Differenz der mittleren Grauwerte von zwei Bildbereichen und der gemittelten Standardabweichung der Grauwerte

Anmerkung 1 zum Begriff: Das CNR beschreibt eine Komponente der Bildgüte und hängt näherungsweise vom Produkt aus radiographischem Schwächungskoeffizienten und SNR ab. Zusätzlich zu einem angemessenen CNR muss ein digitales Durchstrahlungsbild auch eine angemessene Unschärfe bzw. Basis-Ortsauflösung aufweisen, um die gewünschten interessierenden Merkmale aufzulösen.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.12]

3.21

normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR_N

(en: normalized contrast-to-noise ratio)

CNR, normiert mit der Basis-Ortsauflösung SR_b image, entweder direkt im digitalen Bild gemessen und/oder aus dem gemessenen CNR berechnet

Anmerkung 1 zum Begriff: $CNR_N = CNR \times (88,6 \mu m / SR_b \text{ image})$

3.22

Aliasing

Artefakte, die im Bild erscheinen, wenn die Ortsfrequenz am Eingang des digitalen Systems die am Ausgang reproduzierbare Ortsfrequenz überschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Aliasing erscheint häufig in Form von gezackten oder stufigen Abschnitten in einer Zeile oder als Moiré-Muster.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.14]

3.23

Cluster-Kernel-Pixel

CKP

(en: cluster kernel pixel)

Bad-Pixel, das nicht mindestens fünf korrekt funktionierende Nachbapixel aufweisen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe ASTM E 2597 für Details bezüglich Bad-Pixel und CKP-Beschreibung.

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013-01, Begriff 3.15]

3.24

innere Unschärfe

u_i

Unschärfe des Detektorsystems, ausgenommen jede geometrische Unschärfe, gemessen im digitalen Bild mit einem Doppeldraht-BPK direkt am Detektor

Anmerkung 1 zum Begriff: $u_i = 2 \text{ SR}_b^{\text{detector}}$

3.25

Bildunschärfe

u_{im}

Unschärfe, gemessen im digitalen Bild in der Prüfgegenstandsebene mit einem Doppeldraht-BPK in dieser Ebene

3.26

Gesamt-Bildunschärfe

u_T

einschließlich der geometrischen und inneren Unschärfe, gemessen im digitalen Bild in der Detektorebene mit einem Doppeldraht-BPK in der Prüfgegenstandsebene

Anmerkung 1 zum Begriff: u_T wird berechnet nach $u_T = \sqrt{u_G^2 + u_i^2}$

3.27

geometrische Unschärfe

u_G

Unschärfe, gemessen im digitalen Bild in der Detektorebene mit einem Doppeldraht-BPK in der Prüfgegenstandsebene mit einem hochauflösenden Detektor, ausgenommen der inneren Detektorunschärfe

Anmerkung 1 zum Begriff: u_G wird berechnet nach $u_G = \frac{b}{f} \cdot d$

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die Symbole und Abkürzungen nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol oder Abkürzung	Benennung	Abschnitt, Bild
w	durchstrahlte Dicke	3.3
t	Wanddicke	3.1
t_n	Nennwanddicke	3.2
b	Abstand Prüfgegenstand – Detektor	3.5
d	Größe der Strahlenquelle (Strahlergröße), Brennfleckgröße	3.4
f	Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand	3.6
$f_{\min}$	Mindestabstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand	11.1
S	Strahlenquelle	Bilder 1 bis 12
D	Detektor	12.4, Bilder 1 bis 12
FDA (en: SDD)	Abstand Strahlenquelle – Detektor (en: source-to-detector distance)	3.7
v	geometrische Vergrößerung	3.8
CR	Computer-Radiographie	3.9
IP	Phosphor-Speicherfolie (en: imaging plate)	3.10
DDA	digitales Matrixdetektor-System (en: digital array detector system)	3.11
GV	Grauwert (en: grey value)	3.14
GV_{lin}	Linearisierter Grauwert (en: linearized grey value)	3.15
BPK (en: IQI)	Bildgüteprüfkörper (en: image quality indicator)	Abschnitt 16
SR_b^{detector}	Basis-Ortsauflösung eines digitalen Detektors (en: basic spatial resolution of a digital detector)	3.16
SR_b^{image}	Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes (en: basic spatial resolution of a digital image)	3.17
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis (en: signal-to-noise ratio)	3.18
SNR_N	normiertes Signal-Rausch-Verhältnis (en: normalized signal-to-noise ratio)	3.19
CNR	Kontrast-Rausch-Verhältnis (en: contrast-to-noise ratio)	3.20
CNR_N	normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis (en: normalised contrast-to-noise ratio)	3.21
u_G	geometrische Unschärfe	3.27
CKP	Cluster-Kernel-Pixel	3.23
u_i	innere Unschärfe	3.24
u_{im}	Bildunschärfe	3.25
u_T	Gesamt-Bildunschärfe	3.26

5 Einteilung der radiographischen Techniken und Kompensationsprinzipien

5.1 Einteilung

Die radiographischen Techniken für den Filmersatz werden in zwei Klassen eingeteilt:

- Klasse A: Grundtechniken;
- Klasse B: verbesserte Techniken.

Die Techniken für automatisierte DDA-basierte Prüfungen werden in zwei Klassen eingeteilt:

- Klasse A_A: automatisierte Grundtechniken;
- Klasse B_A: verbesserte automatisierte Prüftechniken.

ANMERKUNG In der Industrie werden automatisierte DDA-Techniken für die schnelle Inspektion von Gussstücken hauptsächlich in der Serienprüfung angewendet. Diese automatisierten Techniken gelten nicht als Ersatz für die Filmtechnik.

Falls nicht anders im Auftrag festgelegt, wird empfohlen, die Prüfung nach Klasse A oder A_A durchzuführen; Prüfungen nach Klasse B oder B_A werden angewendet, wenn Klasse A oder A_A zu unempfindlich sein könnte. Diese Norm behandelt keine Gebrauchstauglichkeitsprüfungen für von den Tabellen A.1 bis A.3 abweichende BPK-Anforderungen.

Die automatisierte Inspektion in den Klassen A_A und B_A muss die Anforderungen an die Kontrastempfindlichkeit (Tabellen A.1 und A.2) von Klasse A oder B, jedoch die reduzierten Unschärfeanforderungen nach Tabelle A.4, erfüllen.

Wenn es technisch oder industriell nicht möglich ist, eine der für die Klasse B festgelegten Prüfbedingungen, z. B. Typ der Strahlenquelle oder Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand f , einzuhalten, darf zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, dass die jeweilige Prüfbedingung nach Klasse A gewählt wird. Der Verlust an Empfindlichkeit muss durch eine Erhöhung des Mindestgrauwertes und des SNR_N kompensiert werden (empfohlene Erhöhung des SNR_N um einen Faktor $> 1,4$). Aufgrund der besseren Empfindlichkeit im Vergleich zu Klasse A dürfen die Prüfabschnitte als nach Klasse B geprüft angesehen werden, wenn die ordnungsgemäße BPK-Empfindlichkeit erreicht wird. Das gilt nicht, wenn die besonderen FDA-Veränderungen festgelegt in Abschnitt 11 für die Aufnahmeanordnungen entsprechend Bild 3 und Bild 4 verwendet werden.

5.2 Kompensationsprinzipien

In dieser Norm für die Durchstrahlung mit Digitaldetektoren können drei Kompensationsprinzipie benutzt werden, um eine ausreichende Kontrastempfindlichkeit zu erzielen.

Das erfordert, ein Mindest-Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR_N), normiert auf die Basis-Ortsauflösung des Detektors je detektierbarer Werkstoffdickendifferenz Δw , zu erzielen. Wenn das geforderte normierte Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR_N je Δw) aufgrund eines ungenügenden Wertes von einem der folgenden Parameter nicht erreicht werden kann, kann das mit einem erhöhten Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) kompensiert werden:

- CP I:** Kompensation des reduzierten Kontrasts (z. B. durch erhöhte Röhrenspannung) durch erhöhtes SNR (z. B. durch erhöhten Röhrenstrom oder längere Aufnahmezeit).
- CP II:** Kompensation ungenügender Abbildungsschärfe des Detektors (der Wert der Basis-Ortsauflösung SR_b^{image} ist höher als festgelegt) durch erhöhtes SNR (d. h. eine Verbesserung der Bildgütezahl um jeweils 1 am Einzel-Draht- oder Stufe/Loch-BPK für jeden fehlenden Doppeldraht-paar-Wert).
- CP III:** Kompensation einer erhöhten lokalen Interpolationsunschärfe aufgrund der Bad-Pixel-Korrektur für DDA durch ein erhöhtes SNR.

Diese Kompensationsprinzipien basieren auf der folgenden Näherung für kleine Fehler ($\Delta w \ll w$), siehe Gleichung (1):

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = \text{const} \cdot \frac{\mu_{eff} \cdot SNR}{SR_b^{image}} \quad (1)$$

Dabei ist

μ_{eff} der effektive Schwächungskoeffizient, äquivalent zum spezifischen Kontrast des Werkstoffes;

CNR_N das normierte CNR, wie im digitalen Bild gemessen.

6 Allgemeine Vorbereitungen und Anforderungen

6.1 Schutz vor ionisierender Strahlung

Bei der Anwendung ionisierender Strahlung müssen lokale, nationale oder internationale Sicherheitsvorschriften strikt eingehalten werden.

WARNUNG — Die Exposition von Teilen des menschlichen Körpers gegenüber Röntgen- oder Gammastrahlen kann stark gesundheitsschädigend sein. Bei der Anwendung von Röntgenstrahlung oder radioaktiven Strahlenquellen müssen die zutreffenden gesetzlichen Anforderungen beachtet werden.

6.2 Oberflächenvorbehandlung und Herstellungsstufe

Im Allgemeinen ist eine Oberflächenvorbehandlung nicht notwendig; wenn jedoch Unvollkommenheiten der Oberfläche Schwierigkeiten beim Nachweis von Fehlern verursachen können, muss die Oberfläche glattgeschliffen werden.

ANMERKUNG Oberflächenrauheit und innere Körnigkeit der Prüfgegenstände erscheinen in digitalen Bildern ähnlich wie Bildrauschen. Das kann kleine Fehler verdecken und die BPK-Empfindlichkeit verringern.

Sofern nicht anders festgelegt, muss die digitale Durchstrahlungsprüfung nach der letzten Herstellungsstufe, z. B. Schleifen oder Wärmebehandlung, durchgeführt werden.

6.3 Vereinbarungen

Gussstücke von komplizierter geometrischer Gestalt können Bereiche enthalten, die nicht oder nur teilweise mittels Durchstrahlung geprüft werden können. Solche Bereiche müssen vor Beginn der Durchstrahlungsprüfung festgestellt werden. Mittels Durchstrahlung nicht prüfbare Bereiche müssen von allen Vertragspartnern vermerkt und im Aufnahmeplan gekennzeichnet werden.

Die folgenden Punkte müssen vereinbart werden:

- a) Herstellungsstufe;
- b) Prüfumfang;
- c) Prüfbereiche;
- d) Oberflächenbeschaffenheit;
- e) Prüfklasse;
- f) Angaben zum Detektorlageplan;
- g) Kennzeichnung der Prüfbereiche auf dem Gussstück;
- h) Bildgüteanforderungen (Draht- oder Draht/Stufe-BPK, SR_b^{image} , SR_b^{detector} , SNR_N);
- i) Abweichungen von den Bildgüteanforderungen, wenn Gebrauchstauglichkeitskriterien anzuwenden sind, z. B. Mindestmaße der unterschiedlichen nachzuweisenden Fehler;
- j) Kennzeichnung der Durchstrahlungsbilder;
- k) Annahmekriterien;
- l) zusätzliche Punkte müssen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden;
- m) besondere Anforderungen.

Bei der Auftragsannahme müssen alle Anforderungen zwischen den Vertragspartnern vereinbart sein.

6.4 Qualifizierung des Personals

Sofern nicht anders vereinbart, muss die Prüfung von Personal, das nach EN ISO 9712 oder einem gleichwertigen Dokument auf einer geeigneten Stufe für den relevanten Industriesektor qualifiziert ist, durchgeführt werden. Das Personal muss einen Nachweis über eine zusätzliche Ausbildung und Qualifizierung in digitaler industrieller Radiologie erbringen.

7 Aufnahmeanordnungen

7.1 Allgemeines

Bei CR-Systemen müssen die Aufnahmeanordnungen übereinstimmen mit:

- den Bildern 1 bis 4: für Prüfbereiche bei einwandiger Durchstrahlung;
- den Bildern 5 bis 7: für Doppelwanddurchstrahlung;
- den Bildern 8 bis 12: für Prüfbereiche mit kompliziertem Querschnitt.

Wenn diese Anordnungen nicht anwendbar sind, dürfen andere Anordnungen angewendet werden.

Bei DDA-Systemen müssen die Prüfanordnungen übereinstimmen mit:

- den Bildern 1, 2 b), 3 b): für einwandige Durchstrahlung;
- den Bildern 5 bis 7: für Doppelwanddurchstrahlung;
- den Bildern 8 bis 12: für Prüfbereiche mit kompliziertem Abschnitt.

Wenn diese Anordnungen nicht anwendbar sind, dürfen andere Anordnungen angewendet werden.

Bei DDA-Systemen wird häufig eine geometrische Vergrößerungstechnik angewendet. Bild 4 für zentrale Panoramaprojektion ist für DDA nicht anwendbar. Alternativ darf ein Detektorarray mit einzeliger Abtastung oder ein DDA mit mehrzeiliger Abtastung verwendet werden.

7.2 Einwandige Durchstrahlung ebener Prüfbereiche

Die Aufnahmeanordnung für die einwandige Durchstrahlung ebener Prüfbereiche muss mit Bild 1 übereinstimmen.

7.3 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfbereiche

Die Aufnahmeanordnung für die einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfbereiche muss mit einem der Bilder 2, 3 oder 4 übereinstimmen.

ANMERKUNG Starre Detektoren oder IP in Kassetten können verwendet werden, wenn die entsprechende Zunahme von b bei der Berechnung des Abstandes f zwischen der Strahlenquelle und der Bestrahlungsseite des Prüfgegenstandes berücksichtigt wird (siehe 11.1).

7.4 Doppelwanddurchstrahlung ebener und gekrümmter Prüfbereiche

Die Aufnahmeanordnung für die Doppelwanddurchstrahlung ebener und gekrümmter Prüfbereiche muss mit einem der Bilder 5, 6 oder 7 übereinstimmen.

Die Doppelwanddurchstrahlung im Sinne von Übersichtsaufnahmen entsprechend Bild 7 muss angewendet werden, wenn die geometrischen Verhältnisse andere Aufnahmeanordnungen erschweren oder wenn mit dieser Technik eine bessere Erkennung von Ungängen erreicht wird. Es muss sichergestellt werden, dass nicht annehmbare Ungängen mit ausreichender Sicherheit erkannt werden. Die geforderte Bildgüte muss eingehalten werden.

Bei den Aufnahmeanordnungen entsprechend den Bildern 6 und 7 ist der Einteilung von Ungängen die einfache Wanddicke zu Grunde zu legen. Bei unterschiedlichen Wanddicken ist die geringere Wanddicke zu Grunde zu legen.

Bei der Aufnahmeanordnung entsprechend Bild 5 muss der Abstand der Strahlenquelle von der Prüfoberfläche minimiert werden, vorausgesetzt, dass die Anforderungen an die BPK und Unschärfe eingehalten werden.

7.5 Wahl der Aufnahmeanordnungen bei komplexen Geometrien

Wenn nicht anders vereinbart, müssen die Aufnahmeanordnungen für Bereiche mit komplexen Geometrien mit denen in den Bildern 8 bis 12 (wie zutreffend) übereinstimmen.

7.6 Zulässige Maße von Prüfbereichen

Der mit einem Durchstrahlungsbild zu erfassende Prüfbereich sollte so begrenzt werden, dass die im interessierenden Bereich erforderliche Mindest-SNR_N (siehe Tabellen 3 und 4) oder die erforderlichen Mindestgrauwerte (nur bei CR, siehe Anhang G) erreicht werden.

In Ergänzung zu den zuvor aufgeführten Anforderungen darf der Einfallwinkel der Strahlung höchstens 30° betragen.

ANMERKUNG Dieser Wert kann höher sein, wenn auf diese Weise besondere Ungängenlagen erkannt werden können oder wenn das der einzige Weg ist, sonst nicht prüfbare Bereiche zu erfassen.

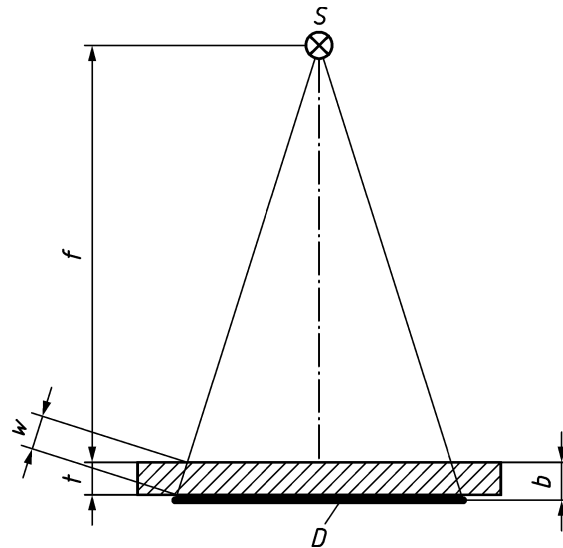
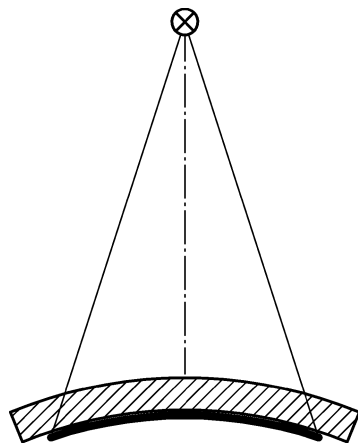
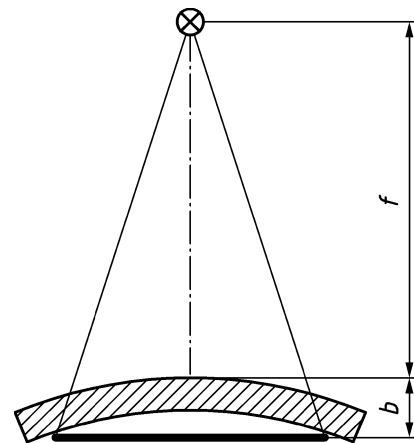


Bild 1 — Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung ebener Bereiche

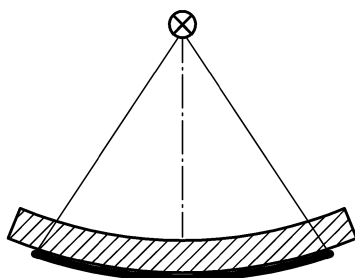


a) mit flexiblen Detektoren

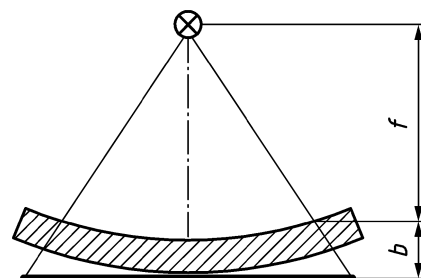


b) mit starren Detektoren

Bild 2 — Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit der Strahlenquelle auf der konvexen Seite und dem Detektor auf der konkaven Seite des Prüfbereiches



a) mit flexiblen Detektoren



b) mit starren Detektoren

Bild 3 — Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit exzentrischer Position der Strahlenquelle auf der konkaven Seite und dem Detektor auf der konvexen Seite des Prüfbereiches

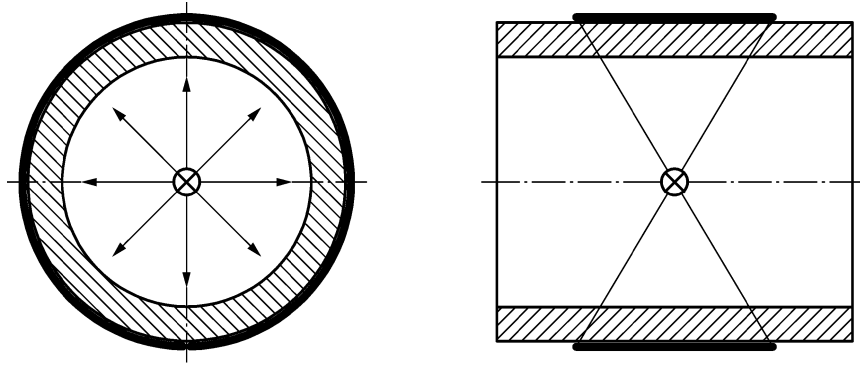


Bild 4 — Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung gekrümmter Bereiche mit zentrischer Position der Strahlenquelle auf der konkaven Seite und dem Detektor auf der konvexen Seite des Prüfbereiches, nicht für starre Detektoren

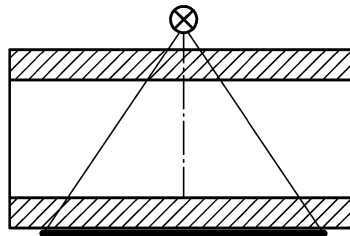


Bild 5 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; nur die detektorseitige Wand zur Beurteilung abgebildet

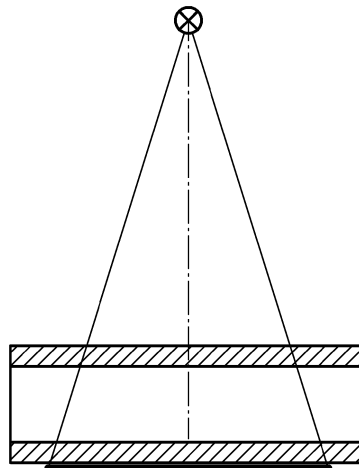


Bild 6 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; mehrere Aufnahmen; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; beide Wände zur Beurteilung abgebildet

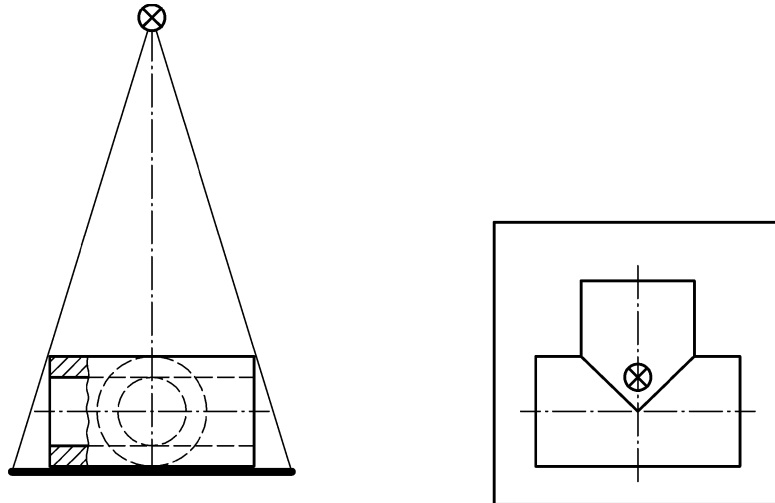
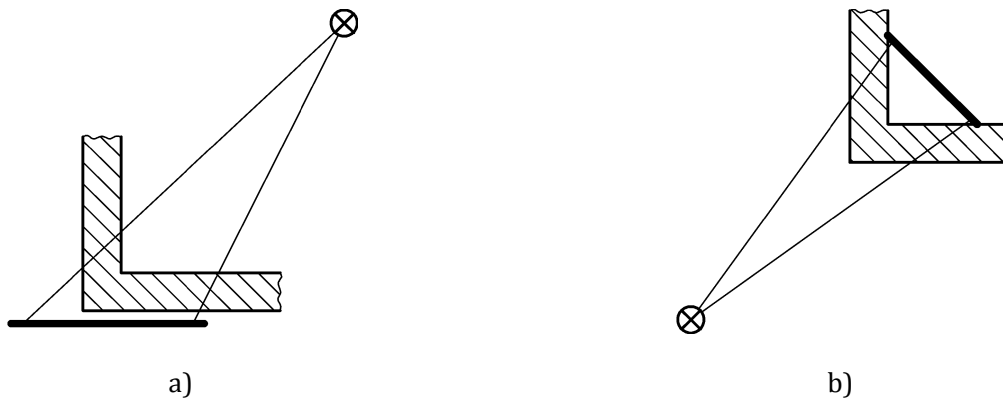
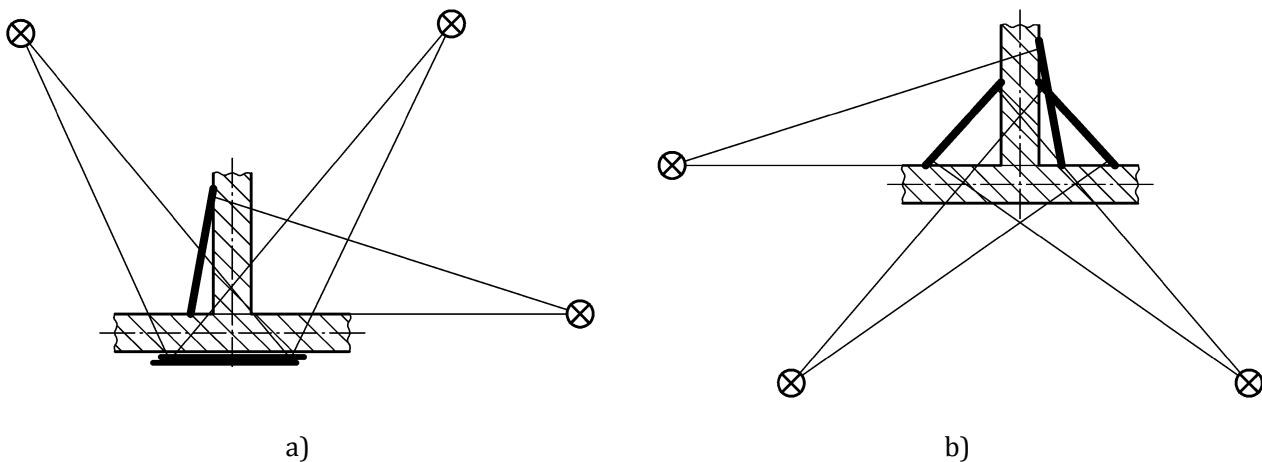


Bild 7 — Aufnahmeanordnung für Doppelwanddurchstrahlung ebener oder gekrümmter Prüfbereiche; Übersichtsaufnahme; Strahlenquelle und Detektor befinden sich außerhalb des Prüfbereiches; beide Wände zur Beurteilung abgebildet



b) sollte nur benutzt werden, wenn a) nicht möglich ist.

Bild 8 — Beispiele für Kanten und Flansche



b) sollte nur benutzt werden, wenn a) nicht möglich ist.

Bild 9 — Beispiele für Rippen

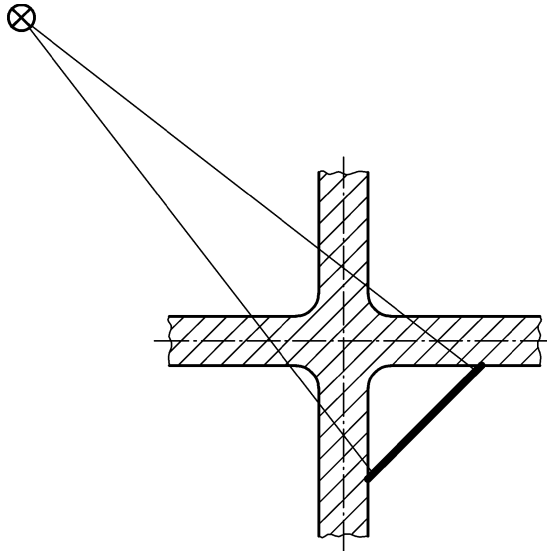


Bild 10 — Beispiel für kreuzförmige Geometrien

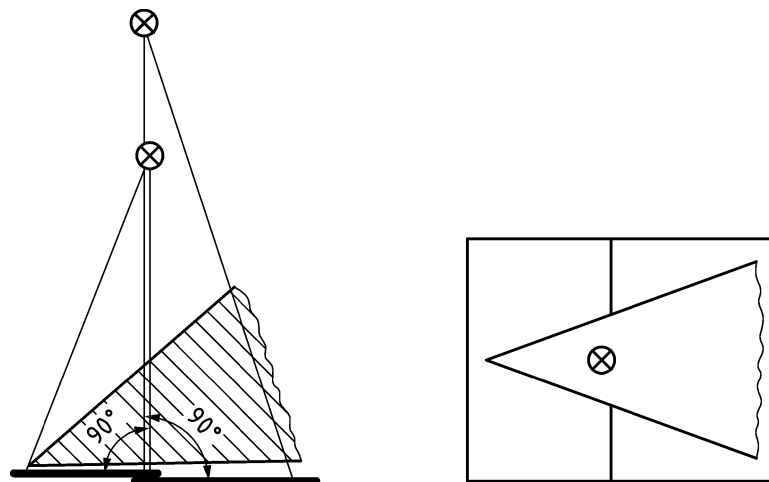


Bild 11 — Beispiel für keilförmige Geometrien

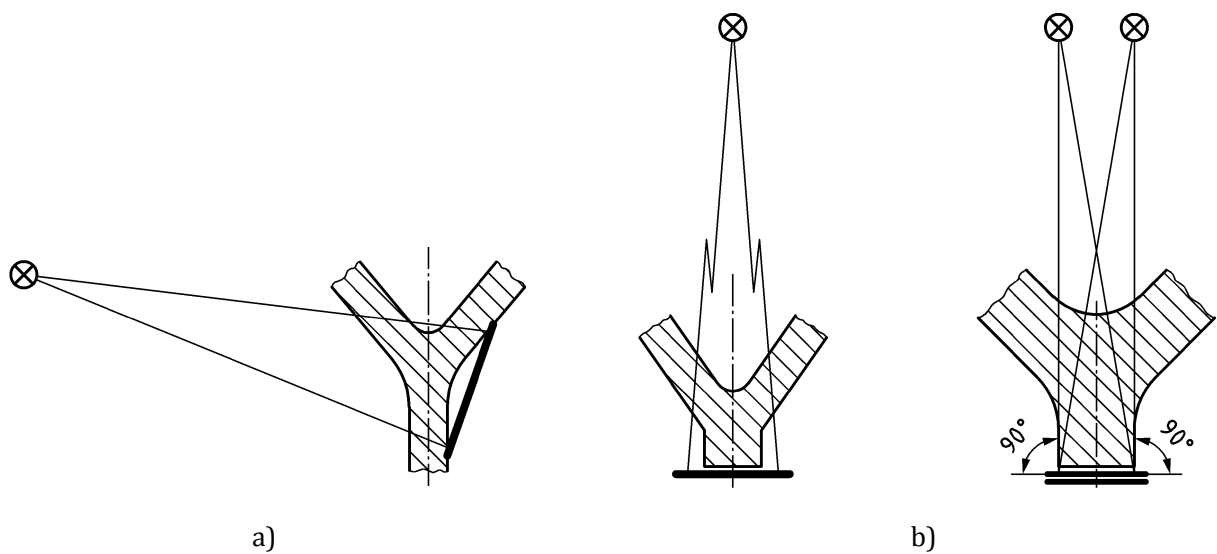


Bild 12 — Beispiel für Rippen und Abstützungen

8 Wahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle

8.1 Röntgenstrahler für bis zu 1 000 kV

Um eine gute Fehlernachweisempfindlichkeit zu erhalten, sollte die Röntgenröhrenspannung möglichst niedrig und das SNR_N im digitalen Bild möglichst hoch sein. Die empfohlenen Höchstwerte der Röntgenröhrenspannung in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke sind in Bild 13 angegeben. Bei diesen Höchstwerten handelt es sich um bewährte Praxiswerte für die Filmradiographie.

DDA können nach einer genauen Kalibrierung auch bei wesentlich höheren Röntgenröhrenspannungen als in Bild 13 gezeigt eine ausreichende Bildgüte liefern.

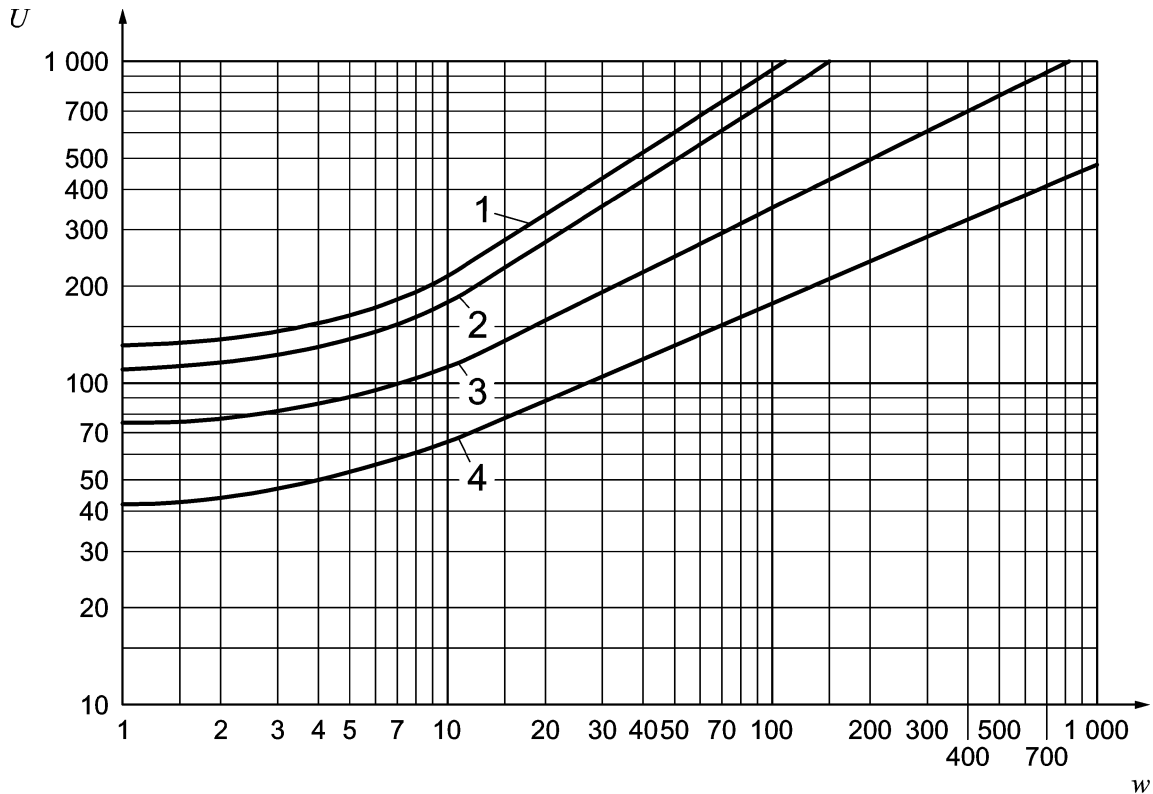
Speicherfolien mit hohem Strukturrauschen in der empfindlichen IP-Schicht (grobkörnig); sollten für die Prüfung nach Klasse B mit einer gegenüber Bild 13 um etwa 20 % geringeren Röntgenröhrenspannung eingesetzt werden. Hochauflösende Speicherfolien, die ähnlich wie Röntgenfilme bestrahlt werden und ein niedriges Strukturrauschen aufweisen (feinkörnig), können mit den Röntgenröhrenspannungen nach Bild 13 oder, sofern das SNR_N ausreichend erhöht wird, mit wesentlich höheren Spannungen eingesetzt werden.

ANMERKUNG Kompensationsprinzip I (CP I)

Eine Verbesserung der Kontrastempfindlichkeit kann erreicht werden durch:

- eine Erhöhung des Kontrasts bei einem konstanten SNR_N (durch Verringerung der Röhrenspannung und Kompensation durch eine höhere Bestrahlung (z. B. mA·min));
- ein erhöhtes SNR_N (durch Erhöhung der Bestrahlung (z. B. mA·min)) bei konstantem Kontrast (konstante Röhrenspannung).

Eine erhöhte Röhrenspannung (bei konstanter Bestrahlung (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 Kontrastverringerng durch die höhere Energie.



Legende

- 1 Kupfer/Nickel und deren Legierungen
- 2 Stahl und Gusseisen
- 3 Titan und dessen Legierungen
- 4 Aluminium und dessen Legierungen
- w durchstrahlte Dicke, in mm
- U Röntgenröhrenspannung, in kV

**Bild 13 — Empfohlene Röhrenspannung U von Röntgenstrahlern bis 1 000 kV
in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke w und vom Werkstoff**

Für einige Anwendungen von Gussstücken, bei denen sich die Dicke über den durchstrahlten Bereich des Prüfgegenstandes ändert, darf die Vorgehensweise verändert werden, indem eine höhere Spannung verwendet wird; es sollte jedoch beachtet werden, dass eine übermäßig hohe Röhrenspannung zu einem Verlust der Fehlernachweisempfindlichkeit führt. Wenn mit einer Aufnahme unterschiedliche Dicken erfasst werden, kann ein Mittelwert dieser Dicken verwendet werden.

8.2 Andere Strahlenquellen

In Tabelle 2 sind die empfohlenen Bereiche der durchstrahlten Dicke für Gammastrahler und Röntgenstrahler über 1 MeV für Stahl, Gusseisen, Cobalt, Kupfer und Nickelbasislegierungen angegeben.

Bei der Prüfung von Aluminium, Magnesium, Titan und Zink mit Se 75 beträgt die durchstrahlte Dicke $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$ für Klasse A.

Gammastrahlenquellen von Se 75, Ir 192 und Co 60 erzeugen digitale Durchstrahlungsbilder mit einer geringeren Fehlernachweisempfindlichkeit als solche, die unter Anwendung von Röntgenstrahlung mit geeigneter Technik gewonnen wurden. Da die Strahlungsdosis bei Gammastrahlern geringer ist, ist deren Kontrast-Rausch-Verhältnis schlechter. Wegen der Vorteile von Gammastrahlenquellen bezüglich Handhabbarkeit und Zugänglichkeit ist in Tabelle 2 trotzdem ein zulässiger Dickenbereich für jede dieser Gammastrahlenquellen angegeben, die verwendet werden dürfen, wenn der Einsatz von Röntgenröhren schwierig ist.

Wenn zwischen den Vertragspartnern vereinbart, darf die durchstrahlte Werkstoffdicke für Ir 192 weiter auf 10 mm und für Se 75 auf 5 mm verringert werden. Für bestimmte Anwendungen dürfen größere Werkstoffdickenbereiche gestattet werden, wenn eine ausreichende Bildgüte erreicht werden kann.

In den Fällen, in denen digitale Durchstrahlungsbilder mit CR und Gammastrahlen erzeugt werden, darf die Gesamtzeit für die Bewegung zur und von der Position der Strahlenquelle höchstens 10 % der gesamten Aufnahmezeit betragen. Werden DDA verwendet, muss die Belichtungszeit beginnen, sobald sich die Strahlenquelle in ihrer Position befindet, und enden, bevor die Quelle von dieser Position wegbewegt wird.

Tabelle 2 — Bereich der durchstrahlten Dicke für Gamma- und Röntgenstrahler mit Energien über 1 MeV für Stahl, Gusseisen, Cobalt, Kupfer und Nickelbasislegierungen

Strahlenquelle	Durchstrahlte Dicke ^a	
	w mm Klasse A	Klasse B
Se 75	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
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	$w \geq 50^b$	$w \geq 70^b$
Röntgenstrahler mit Energien über 12 MeV	$w \geq 80^b$	$w \geq 100^b$
^a Wenn mit einer Aufnahme verschiedene Dicken erfasst werden, kann ein Mittelwert dieser Dicken verwendet werden.		
^b Die durchstrahlte Mindestdicke darf bei Klasse A um 10 mm und bei Klasse B um 20 mm verringert werden, wenn die Bildgüteanforderungen eingehalten werden.		

9 Metallfolien für IP und Abschirmung

Bei der Verwendung von Frontfolien aus Metall ist ein guter Kontakt zwischen der empfindlichen Detektorschicht und den Folien erforderlich. Das kann 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 mit Bleifolien im Kontakt mit den IP 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 Stahl- oder Kupferabschirmung zu verwenden. Auch eine Stahl- oder Kupferabschirmung zwischen einer Rückstreu-Bleiplatte und der IP kann die Bildgüte verbessern. Moderne Kassetten- und Detektorkonstruktionen berücksichtigen diesen Effekt und können so konstruiert 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 der Verstärkungseffekt bei typischen Röntgenenergien nur zwischen 20 % und 100 % (im Vergleich zur Belichtung ohne Folie).

Der geringe Verstärkungseffekt durch eine Bleifolie im Kontakt mit der IP kann durch eine längere Aufnahmezeit oder einen höheren mA-min-Wert kompensiert werden, wenn keine Bleifolien verwendet werden. Da Bleifolien im Kontakt mit den IP 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 Folienmaterialien und -dicken für verschiedene Strahlenquellen angegeben. Andere Foliendicken dürfen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, vorausgesetzt, die erforderliche Bildgüte wird erreicht. Die Verwendung von Metallfolien als Vorderfolien für IP wird empfohlen; beim Einsatz mit DDA können sie auch den Einfluss von Streustrahlung verringern.

Tabelle 3 — Mindest-SNR_N-Werte (CR und DDA) und Vorderfolien aus Metall (Folien nur für CR) für die digitale Durchstrahlungsprüfung von Stahl, Gusseisen, Cobalt, Kupfer und Nickelbasislegierungen

Strahlenquelle	Durchstrahlte Werkstoffdicke w mm	Mindest-SNR _N		Art und Dicke der Vorderfolien aus Metall mm
		Klasse A	Klasse B	
Spannung des Röntgenstrahlers ≤ 50 kV		100	150	Keine
Spannung des Röntgenstrahlers ^a > 50 kV bis 150 kV		70	120	0 bis 0,1 (Pb))
Spannung des Röntgenstrahlers ^a > 150 kV bis 250 kV		70	100	0 bis 0,1 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^a > 250 kV bis 350 kV	≤ 50	70	100	0 bis 0,3 (Pb)
	> 50	70	70	0 bis 0,3 (Pb)
Spannung des Röntgenstrahlers ^a > 350 kV bis 1 000 kV	≤ 50	70	100	0 bis 0,3 (Pb)
	> 50	70	70	0 bis 0,3 (Pb)
Ir 192 ^a , Se 75 ^a	≤ 50	70	100	0 bis 0,3 (Pb)
	> 50	70	70	0,1 bis 0,4 (Pb)
Co 60 Spannung des Röntgenstrahlers ^{b,c} > 1 MV bis 5 MV	≤ 100	70	100	0,3 bis 0,8 (Fe oder Cu) 0,6 bis 2 (Pb)
	> 100	70	70	
Spannung des Röntgenstrahlers ^{b,c} > 5 MV	≤ 100	70	100	0,6 bis 4 (Fe, Cu oder Pb)
	> 100	70	70	

^a Bleifolien können komplett oder teilweise durch Fe- oder Cu-Folien ersetzt werden. Die äquivalente Dicke für Fe- oder Cu-Folien entspricht der 3-fachen Bleidicke.

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

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

Tabelle 4 — Mindest-SNR_N-Werte (CR und DDA) und Vorderfolien aus Metall (Folien nur für CR) für die digitale Durchstrahlungsprüfung von Aluminium, Magnesium und Zink

Strahlenquelle	Mindest-SNR _N		Art und Dicke der Vorderfolien aus Metall 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
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.

10 Verminderung der Streustrahlung

10.1 Metallfilter und Kollimatoren

Um die Wirkung von rückgestreuter Strahlung zu verringern, muss die direkte Strahlung durch Kollimatoren weitestgehend auf den Prüfbereich begrenzt werden.

Bei Se 75-, Ir 192-, Co 60-Strahlenquellen oder Röntgenspannungen über 120 kV oder bei Randüberstrahlung kann eine Bleifolie als Filter für energiearme Streustrahlung zwischen dem Prüfgegenstand und der Kassette oder DDA verwendet werden. Die Dicke dieser Folie beträgt in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke 0,5 mm bis 2 mm. Zwischen Bleifolie und Detektor sollte eine dünne Stahl- oder Kupferfolie angeordnet werden.

10.2 Abschirmung von rückgestreuter Strahlung

Es muss sichergestellt werden, dass die Wirkung von rückgestreuter Strahlung minimiert ist.

Das Vorliegen von rückgestreuter Strahlung muss bei jeder neuen Aufnahmeanordnung für CR mit einem direkt hinter der Kassette angeordneten Bleibuchstaben B (mit einer Mindesthöhe von 10 mm und einer Mindestdicke von 1,5 mm) überprüft werden. Wenn die Abbildung dieses Zeichens als helleres Bild auf dem digitalen Durchstrahlungsbild erscheint (Negativdarstellung, d. h. reduzierter linearisierter Grauwert) muss es verworfen werden. Ist das Zeichen dunkler (erhöhter linearisierter Grauwert) oder unsichtbar, ist das digitale Durchstrahlungsbild annehmbar und weist einen guten Schutz gegen rückgestreute Strahlung auf.

Wenn erforderlich, muss der Detektor mit einem Filter aus Blei von mindestens 1 mm oder Zinn von mindestens 1,5 mm gegen rückgestreute Strahlung abgeschirmt werden, wobei dieser Filter hinter dem Detektor angeordnet wird. Eine zusätzliche Abschirmung aus Stahl oder Kupfer (etwa 0,5 mm dick) ist zwischen Bleiabschirmung und Detektor anzuordnen, um den Einfluss der Röntgenfluoreszenzstrahlung des Bleis zu verringern. Über 80 keV dürfen keine Bleifolien im Kontakt mit der Rückseite des Detektors verwendet werden.

11 Position Strahlenquelle – Prüfgegenstand und Detektor

11.1 Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand

Der Mindestabstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand $f_{\min}$ hängt von der Strahler- oder Brennfleckgröße d und vom Abstand Prüfgegenstand – Detektor b ab. Die Strahler- oder Brennfleckgröße d muss nach EN 12543 oder EN 12679 bestimmt werden.

Wenn die Strahler- oder Brennfleckgröße durch zwei Maße festgelegt ist, ist das größere der beiden anzusetzen.

Bei Aufnahmegeometrien mit Ausnahme der in Bild 2 b) und Bild 3 b) muss der Abstand f , wenn möglich, so gewählt werden, dass das Verhältnis dieses Abstands zur Strahlergröße d , d. h. f/d , die Werte nach den Gleichungen (2) und (3) nicht unterschreitet:

für Klasse A:

$$\frac{f}{d} \geq 7,5(b)^{2/3} \quad (2)$$

für Klasse B:

$$\frac{f}{d} \geq 15(b)^{2/3} \quad (3)$$

Dabei ist

b in Millimeter (mm) angegeben.

Wenn der Abstand $b < 1,2 \times t$ ist, muss das Maß b in den Gleichungen (2) und (3) und im Bild 14 durch die Wanddicke t ersetzt werden.

Zur Bestimmung des Abstands Strahlenquelle – Prüfgegenstand $f_{\min}$ darf das Leiterdiagramm in Bild 14 verwendet werden. Das Leiterdiagramm beruht auf den Gleichungen (2) und (3).

Bei Aufnahmegeometrien entsprechend Bild 2 b) und Bild 3 b) muss der Abstand f , wenn möglich, so gewählt werden, dass das Verhältnis dieses Abstands zur Strahlergröße d , d. h. f/d , die Werte nach den Gleichungen (4) und (5) nicht unterschreitet:

für Klasse A:

$$\frac{f}{d} \geq 7,5 \frac{b}{\sqrt[3]{t}} \quad (4)$$

für Klasse B:

$$\frac{f}{d} \geq 15 \frac{b}{\sqrt[3]{t}} \quad (5)$$

Dabei ist

t die zu untersuchende Wanddicke, in Millimeter (mm);

b der Abstand Prüfgegenstand - Detektor, in Millimeter (mm).

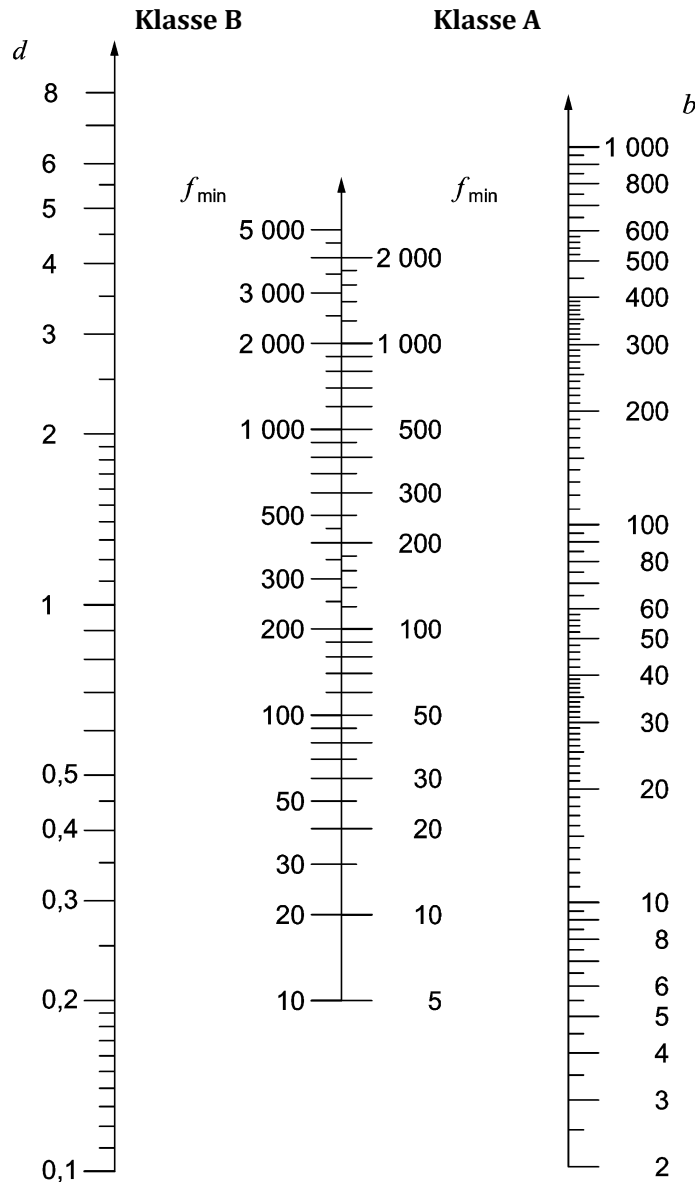
Wenn die Strahlenquelle im Innern des Prüfgegenstandes (Technik nach Bild 3) angeordnet werden könnte, um eine besser geeignete Bestrahlungsrichtung zu erreichen und wenn eine Doppelwandtechnik (siehe Bilder 5 bis 7) vermieden wird, sollte dieses Verfahren bevorzugt werden. Der Mindestabstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand sollte jedoch höchstens um 40 % verringert werden.

Wenn die Strahlenquelle zentrisch im Innern des Prüfgegenstandes und der Detektor außerhalb angeordnet ist (Technik nach Bild 4) und vorausgesetzt, die BPK-Anforderungen werden eingehalten, darf dieser Prozentwert erhöht werden. Der Mindestabstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand darf jedoch höchstens um 50 % verringert werden.

ANMERKUNG Sowohl die innere Unschärfe ($u_i = 2 \times SR_b^{\text{detector}}$) des digitalen Detektorsystems als auch die geometrische Unschärfe (u_G) tragen wie folgt zur Gesamt-Bildunschärfe (u_T) im Bild bei, wenn sie nicht durch die geometrische Vergrößerung korrigiert wurden (siehe Gleichung (6)):

$$u_T = \sqrt{u_i^2 + u_G^2} \quad (6)$$

Daher wird empfohlen, den Abstand $f_{\min}$ zu vergrößern, um eine zusätzliche Unschärfe des Detektorsystems zu kompensieren.



Legende

b Abstand Prüfgegenstand - Detektor, in mm

d Strahlergröße, in mm

$f_{\min}$ Mindestabstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand, in mm

Bild 14 — Leiterdiagramm für die Bestimmung des Mindestabstandes Strahlenquelle - Prüfgegenstand $f_{\min}$ in Bezug auf den Abstand Prüfgegenstand - Detektor b und die Strahlergröße d

11.2 Geometrische Vergrößerungstechnik

Ein Hindernis bei der Anwendung von CR- und DDA-Systemen in der Gussradiographie besteht in der großen ($\geq 50 \mu\text{m}$) Pixelgröße der meisten digitalen Matrixdetektoren und IP-Abtastsysteme im Vergleich zur geringen Korngröße von Filmen (die zu einer sehr hohen Ortsauflösung bei Filmen führt). Diese Schwierigkeit kann umgangen werden, indem die für DDA spezifische Eigenschaft ausgenutzt wird, das SNR_N (Kompensationsprinzip CP II) im Bild und/oder die geometrische Vergrößerung zu erhöhen, sofern erforderlich.

ANMERKUNG Die geometrische Vergrößerung unterscheidet sich von der digitalen Vergrößerung (Zoom) der dargestellten Bilder. Nur die geometrische Vergrößerung gestattet eine Verringerung der Bildunschärfe.

Wenn die erforderliche BPK-Empfindlichkeit (nachgewiesen durch Einzel-Draht- oder Stufe/Loch-BPK) und Basis-Ortsauflösung (nachgewiesen mit Doppeldraht-BPK, siehe auch Anhang F) nicht die Anforderungen in den zutreffenden Tabellen A.1 bis A.4 erfüllen, besteht eine Möglichkeit darin, das Signal-Rausch-Verhältnis des Bildes zu erhöhen (siehe 16.4, Kompensationsprinzip CP II).

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung der geometrischen Vergrößerungstechnik mit größerem Abstand zwischen der IP bzw. DDA und dem Prüfgegenstand unter Verwendung einer Röntgenröhre mit kleinem Brennfleck.

Werden trotzdem, auch nach Anwendung dieser beiden Verfahren, die geforderten BPK-Zahlen nicht erreicht, kann das betreffende CR-System bzw. dieser DDA nicht für diese Prüfung eingesetzt werden.

Die richtige Wahl der Vergrößerung ist durch Einsatz des Doppeldraht-BPK auf dem Prüfgegenstand nachzuweisen.

Wenn $2 \times SR_b^{\text{detector}} > d$ ist, dann muss der Doppeldraht-BPK auf der Seite des Prüfgegenstands angeordnet werden, die sich näher am Detektor befindet.

Wenn $2 \times SR_b^{\text{detector}} \leq d$ ist, dann muss der Doppeldraht-BPK auf der Seite des Prüfgegenstands angeordnet werden, die sich näher an der Strahlenquelle befindet.

Bei Anwendung einer automatischen Fehlererkennung können die BPK digitale Bilder stören. Werden für eine Serie von Durchstrahlungsbildern in der Routineprüfung keine BPK verwendet, muss die Bildgüte in regelmäßigen Abständen durch Vergleichsbilder mit Draht- bzw. Stufe/Loch- und Doppeldraht-BPK nachgewiesen werden.

Die Bildunschärfe u_{im} kann nach Gleichung (7) aus der Vergrößerung v , der geometrischen Unschärfe u_G (Gleichung (8)) und der Basis-Ortsauflösung des Detektors SR_b^{detector} berechnet werden:

$$u_{\text{im}} = \frac{1}{v} \sqrt{u_G^2 + (2 \times SR_b^{\text{detector}})^2} \quad (7)$$

mit:

$$u_G = \left(\frac{SDD}{f} - 1 \right) \cdot d = (v - 1) \cdot d \quad (8)$$

Dabei ist

SR_b^{detector}	die Basis-Ortsauflösung des Detektors;
SDD	der Abstand Strahlenquelle – Detektor;
f	der Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand;
u_G	die geometrische Unschärfe;
d	die Brennfleck- oder Strahlergröße nach EN 12543 oder EN 12679;
v	die geometrische Vergrößerung als Verhältnis SDD/f ;
u_{im}	die zulässige maximale Bildunschärfe nach Tabelle A.4 für die Prüfung nach Klasse A oder Klasse B.

Die Vergrößerung muss erhöht und/oder die Brennfleckgröße verringert werden, um die Bildunschärfe soweit zu verringern, dass sie einen kleineren oder einen gleichen entsprechenden Wert erreicht, der in Tabelle A.4 festgelegt ist. Das ist mit einem auf dem Prüfgegenstand angebrachten Doppeldraht-BPK, wie zuvor festgelegt, nachzuweisen.

Üblicherweise ist der Vergrößerungsfaktor für die der Strahlenquelle und die dem Detektor zugewandten Seite des Prüfgegenstandes verschieden. Daher sollte die Vergrößerung v für die Mitte des Prüfgegenstandes gewählt werden. Die Änderung des Vergrößerungswertes zwischen der der Strahlenquelle und der dem Detektor zugewandten Seite sollte höchstens $\pm 25\%$ betragen. Geringere Vergrößerungswerte dürfen gewählt werden, wenn das Kompensationsprinzip CP II festgelegt in 16.4 angewendet wird.

11.3 Zuordnung von Durchstrahlungsbild und Prüfbereich, Detektorlageplan

Eine eindeutige Zuordnung des Prüfbereiches und des entsprechenden Durchstrahlungsbildes muss gegeben sein.

Bei Gussstücken, für die eine Vielzahl von Durchstrahlungsbildern erforderlich ist, muss ein Detektorlageplan oder eine Photodokumentation erstellt werden. Die Lage jedes Durchstrahlungsbildes und die entsprechenden Prüfbereiche müssen eindeutig festgelegt sein.

In Fällen, in denen die Angabe der Nummer der Aufnahmeanordnung nach dieser Europäischen Norm keine eindeutige Aussage über die Position der Strahlenquelle macht, ist entweder ein gesonderter Strahlenquellenplan zu erstellen oder die Position der Strahlenquelle im Detektorlageplan bzw. in einer Photodokumentation anzugeben.

12 Verarbeitung

12.1 Abtasten und Auslesen der Bilder

Detektoren bzw. Abtastsysteme (Scanner) werden entsprechend den vom Hersteller der Detektoren oder der Abtastsysteme gegebenen Empfehlungen eingesetzt, um die gewählte Bildgüte zu erreichen. Die digitalen Durchstrahlungsbilder sollten frei von Artefakten durch Abtastung und Verarbeitung oder anderer Ursachen sein, die die Auswertung stören würden.

12.2 Kalibrierung der DDA

Werden DDA eingesetzt, ist das vom Hersteller empfohlene Detektorkalibrierverfahren anzuwenden.

Der Detektor ist mit Hilfe eines „Schwarzbildes“ (Offsetbild des Untergrundes ohne Strahlung) und mindestens eines „Weiß-Bildes“ (Röntgenstrahlung eingeschaltet gleichmäßig bestrahlt) zu kalibrieren. Eine Kalibrierung mit verschiedenen Weißbildern (Multigain-Kalibrierung) erhöht das erreichbare SNR_N und die Linearität, erfordert jedoch mehr Zeit. Alle Kalibrierbilder sind mit einer Bestrahlungsdosis ($mA \cdot min$ oder $GBq \cdot min$) aufzunehmen, die mindestens doppelt so hoch ist wie die in der anschließenden Durchstrahlungsprüfung eingesetzte Belichtungsgröße, um den Rauscheintrag durch die Kalibrierung zu minimieren. Diese kalibrierten Bilder sollten für die Qualitätssicherung als Originalrohbilder betrachtet werden, sofern das Kalibrierverfahren dokumentiert wurde. Die Kalibrierung muss regelmäßig sowie bei signifikanten Änderungen der Aufnahmebedingungen durchgeführt werden.

12.3 Interpolation der Bad-Pixel

„Bad-Pixel“ sind DDA-Detektorelemente mit ungenügender Leistung. Sie sind in ASTM E 2597 festgelegt.

Bei Anwendung von DDA ist ein Mapping des Detektors erforderlich, um die „Bad-Pixel-Map“ entsprechend der Anleitung durch den Hersteller zu bestimmen. Diese Bad-Pixel-Map ist zu dokumentieren. Eine Interpolation der defekten Pixel ist zulässig und ist ein wesentliches Verfahren in der Radiographie mit DDA. Es wird empfohlen, nur Detektoren zu verwenden, die im interessierenden Bereich (ROI, en: region of interest) keine Cluster-Kernel-Pixel (CKP) enthalten.

DDA ohne CKP und CR sind für die Durchstrahlungsprüfung anzuwenden, wenn die Basis-Ortsauflösung des Detektors (SR_b^{detector}) gleich oder kleiner als der geforderte Wert in Tabelle A.4 ist. Wird die Vergrößerungstechnik angewendet, dann muss die SR_b^{image} im gemessenen Bild wie in Anhang F festgelegt bestimmt werden, aber mit dem Doppeldraht-BPK direkt auf dem Prüfgegenstand (siehe 11.2). Dieser SR_b^{image} -Wert muss gleich oder kleiner als der in Tabelle A.4 angegebene Wert sein. Wenn der Wert von SR_b^{detector} oder SR_b^{image} größer als der in Tabelle A.4 festgelegte Wert ist, darf das Kompensationsprinzip II (CP II), wie in 16.4 festgelegt, angewendet werden.

Werden DDA oder Speicherfolien für die Prüfung auf Fehler im Größenbereich der Basis-Ortsauflösung im Bild SR_b^{image} eingesetzt, muss das erforderliche SNR_N signifikant erhöht werden. Diese Prüfung ist auf der Grundlage einer Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern durchzuführen. Die festgelegte Erhöhung des SNR_N kann die lokal erhöhte Unschärfe durch die Bad-Pixel-Interpolation kompensieren.

Die Bad-Pixel-Analyse des DDA muss regelmäßig durchgeführt werden.

ANMERKUNG In Analogie zum Kompensationsprinzip CP II kompensiert das erhöhte SNR_N auch die durch die Interpolation der Bad-Pixel verursachte örtliche Unschärfe. Das gilt als Kompensationsprinzip CP III.

12.4 Bildverarbeitung

Die digitalen Daten des radiographischen Detektors sind mit Hilfe der linearisierten Grauwertdarstellung zu bewerten, bei der die Grauwerte proportional zur Strahlungsdosis für die Bestimmung des SNR , SR_b^{image} , SR_b^{detector} und des SNR_N sind. Für eine optimale Bildwiedergabe sollten Kontrast und Helligkeit interaktiv einstellbar sein. In die Software zur Bilddarstellung und -auswertung sollten optionale Filterfunktionen, Profilplots und ein Modul zur SNR - SNR_N -Messung integriert sein. Für die kritische Bildanalyse muss der Anwender das Bild mit einem Vergrößerungsfaktor zwischen 1:1 (d. h. ein Pixel des digitalen Durchstrahlungsbildes wird durch 1 Monitorpixel dargestellt) und 1:2 (d. h. ein Pixel des digitalen Durchstrahlungsbildes wird durch 4 Monitorpixel dargestellt) auswerten.

Weitere an den gespeicherten Rohdaten vorgenommene Bildverarbeitung (z. B. Hochpassfilterung für die Bildwiedergabe) ist zu dokumentieren, muss wiederholbar sein und zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Erfolgt bei der Bewertung von Einzel-Draht- oder Stufe/Loch-BPK-Zahl eine weitere Bildverarbeitung (z. B. Hochpassfilterung), müssen die gleichen Filterparameter bei der Bewertung der Schweißnaht als auch bei der Bestimmung der BPK-Zahl verwendet werden.

13 Betrachtungsbedingungen am Monitor und Speicherung der digitalen Durchstrahlungsbilder

Bei der Auswertung muss der Anwender die digitalen Durchstrahlungsbilder in einem abgedunkelten Raum untersuchen; die Monitoreinstellungen sind mit einem geeigneten Testbild zu verifizieren.

Der Monitor für die Bildauswertung muss die folgenden Mindestanforderungen erfüllen:

- a) Mindesthelligkeit von 250 cd/m^2 ;
- b) Anzeige von mindestens 256 Graustufen;
- c) mindestens darstellbares Lichtintensitätsverhältnis von 1:250; und
- d) Darstellung von mindestens 2 Megapixel mit einer Pixelgröße $< 0,3 \text{ mm}$.

Die Originalbilder (interessierender Bereich) sind in der durch das Detektorsystem bereitgestellten vollen Auflösung zu speichern. Bevor die Rohdaten gespeichert werden, darf nur die Bildverarbeitung angewendet werden, die mit der Detektorkalibrierung im Zusammenhang steht (z. B. Offset- und Weissbildkorrektur zur Detektorkalibrierung und Bad-Pixel-Interpolation, siehe ASTM E 2597 für mehr Details), um artefaktfreie Detektorbilder zu liefern.

Die Datenspeicherung muss redundant sein und durch geeignete Sicherungsstrategien zur Langzeitspeicherung nur mit einer verlustlosen Datenkompression unterstützt werden.

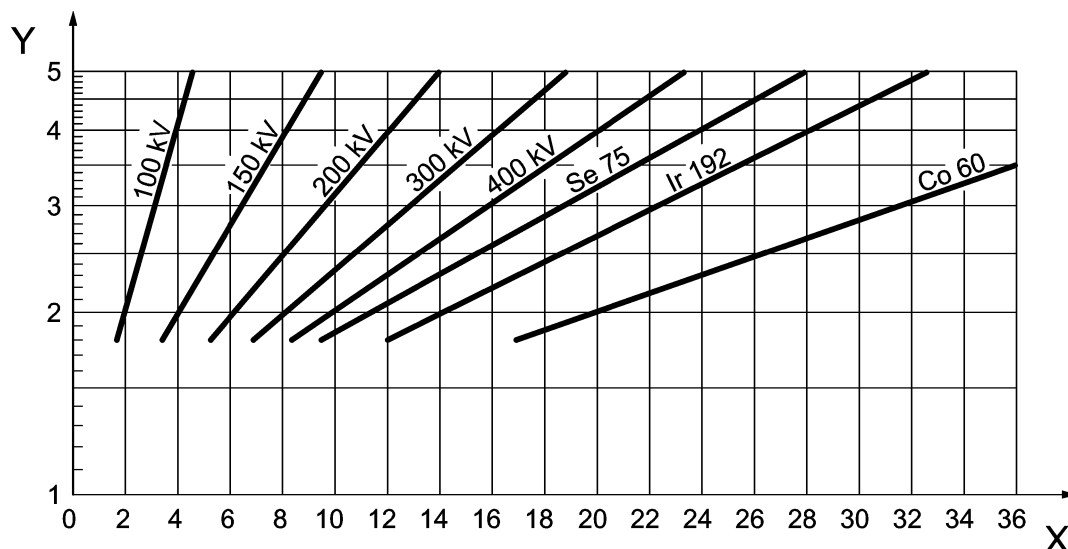
14 Techniken zur Erhöhung des abgedeckten Dickenbereichs

14.1 Allgemeines

In vielen Anwendungsfällen ist es nützlich, einen größeren Dickenbereich innerhalb der vorgegebenen Detektorgrenzen mit einer Aufnahme abzubilden. Das kann mit einer der folgenden Techniken durchgeführt werden:

- Kontrastminderung durch höhere Strahlungsenergie oder Aufhärtung;
- Dickenausgleich;
- Bildintegration bei höherer Bitauflösung mit entsprechend kalibrierten DDA.

Der mögliche abgedeckte Dickenbereich innerhalb eines bestimmten linearisierten Grauwertverhältnisses für digitale Detektoren kann nach Bild 15 für verschiedene Röntgenröhrenspannungen und Gammastrahlenquellen abgeschätzt werden. Der linearisierte Grauwert $GV_{\min}$ entspricht dem Wert der zu bewertenden größten durchstrahlten Dicke. Die erforderlichen SNR_N -Werte nach den Tabellen 3 und 4 müssen für alle Bereiche der linearisierten Grauwerte mit $GV \geq GV_{\min}$ erreicht werden.



Legende

X Dickenbereich, in Millimeter (mm)
Y Quotient $GV_{\max}/GV_{\min}$

Bild 15 — Abschätzung des möglichen Dickenbereichs für unterschiedliche Strahlungsenergien für Stahl und Gusseisen

14.2 Kontrastminderung durch höhere Strahlungsenergie

Für Röntgenstrahler bis 1 MV darf die empfohlene zulässige Röhrenspannung nach Bild 13 überschritten werden, vorausgesetzt, die erforderliche Bildgüte wird erreicht. Zur Steigerung des Dickenbereichs dürfen auch Röntgenstrahler durch Gammastrahler oder Linearbeschleuniger ersetzt werden.

Die Bildgüteanforderung(en) nach den Tabellen A.1 bis A.4 muss/müssen eingehalten werden.

14.3 Aufhärtung

Eine Kontrastminderung durch Aufhärtung ist zulässig, wenn die Bildgüteanforderung(en) nach den Tabellen A.1 bis A.4 eingehalten wird/werden.

14.4 Dickenausgleich

Die Abbildung unterschiedlicher Wanddicken mit einer Aufnahme in einem Durchstrahlungsbild ist dadurch möglich, dass der Bereich geringerer Wanddicke — der auf dem Durchstrahlungsbild mit höherem digitalen Grauwert abgebildet wird — mit einem den Dickenunterschied ausgleichenden Material abgedeckt wird, sodass die Anforderungen SNR_N nach 16.3 für den gesamten Dickenbereich eingehalten werden.

Das Ausgleichsmaterial muss frei von Ungängen und Grobstrukturen sein und darf keine Störung des Bildes hervorrufen, die eine gute Auswertung des Prüfbereiches beeinträchtigen könnte.

Bei der Digitalradiographie sollte darauf geachtet werden, dass keine freie Strahlung den Detektor trifft, ohne einen Prüfgegenstand zu durchstrahlen. Sorgfältiges Maskieren sollte eine Übersättigung des Digitaldetektors verhindern.

15 Durchstrahlungsbilder

15.1 Zuordnung von Durchstrahlungsbildern

Auf jedem zu durchstrahlenden Bereich des Prüfgegenstandes müssen Zeichen angebracht werden. Wenn möglich, müssen die Abbildungen dieser Zeichen im Durchstrahlungsbild außerhalb des interessierenden Bereiches erscheinen und eine eindeutige Zuordnung des Abschnitts sicherstellen, außer bei der automatisierten Prüfung.

15.2 Kennzeichnung der Prüfbereiche

Zur genauen Lokalisierung jedes Durchstrahlungsbildes muss eine dauerhafte Kennzeichnung auf dem zu untersuchenden Prüfgegenstand angebracht werden, außer bei der automatisierten Prüfung.

Wenn die Art des Werkstoffes und/oder dessen Betriebsbedingungen keine dauerhafte Kennzeichnung gestatten, darf die Lage mit Hilfe genauer Skizzen oder Photographien aufgezeichnet werden.

15.3 Überlappung der digitalen Durchstrahlungsbilder

Bei der digitalen Durchstrahlung eines Bereiches, wenn 100 % geprüft werden sollen, mit mindestens zwei getrennten Detektoren (z.B. Speicherfolien), müssen sich die Detektoren gegenseitig ausreichend überlappen, um sicherzustellen, dass der gesamte interessierende Bereich digital durchstrahlt wird. Das muss mit Kennzeichen hoher Dichte auf der Oberfläche des Prüfgegenstandes nachgewiesen werden, die auf jedem digitalen Bild erscheinen. Werden die Durchstrahlungsbilder sequentiell aufgenommen, müssen die Kennzeichen hoher Dichte auf jedem der Durchstrahlungsbilder sichtbar sein.

16 Bildgütenachweis

16.1 Typen und Lagen der Bildgüteprüfkörper (BPK)

Wenn nicht anders vereinbart, muss die Bildgüte BPK nach EN ISO 19232-1 und EN ISO 19232-5 oder EN ISO 19232-2 und EN ISO 19232-5 nachgewiesen werden.

Für die Überprüfung der Basis-Ortsauflösung des digitalen Detektorsystems ist ein Vergleichsbild erforderlich. Um zu überprüfen, ob die eingesetzte Gerätetechnik die Anforderungen nach Tabelle A.4 in Abhängigkeit der durchstrahlten Werkstoffdicke erfüllt, muss die Basis-Ortsauflösung oder der Doppeldraht-BPK-Wert bestimmt werden.

Der Doppeldraht-BPK ist um einige Grad (2° bis 5°) geneigt zu den Zeilen oder Spalten des digitalen Bildes anzuordnen. Wird der BPK im Winkel von 45° zu den digitalen Zeilen oder Spalten angeordnet, muss der erhaltene BPK-Wert um eins verringert werden.

Wenn die geometrische Vergrößerung $\leq 1,2$ beträgt (wie bei CR-Systemen), muss der Doppeldraht-BPK direkt am Digitaldetektor angebracht werden.

Wenn die geometrische Vergrößerungstechnik (siehe 11.2) mit $v > 1,2$ angewendet wird, dann muss der Doppeldraht-BPK (EN ISO 19232-5) für alle geometrischen Vergrößerungen (z. B. 2, 2,5 oder 3) verwendet werden. Der Doppeldraht-BPK muss an einem gleich dicken Block angeordnet sein.

Die Verwendung eines Doppeldraht-BPK (nach EN ISO 19232-5) für Durchstrahlungsbilder in der Routineprüfung ist nicht obligatorisch. Die Forderung zur Verwendung eines Doppeldraht-BPK zusätzlich zum Einzel-Draht-BPK für Durchstrahlungsbilder in der Routineprüfung darf Teil einer Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern sein. Für Durchstrahlungsbilder in der Routineprüfung muss der Doppeldraht-BPK an einem repräsentativen Prüfgegenstand angeordnet sein.

Sofern nicht anders vereinbart, muss die Kontrastempfindlichkeit der digitalen Bilder mit BPK nach EN ISO 19232-1 oder EN ISO 19232-2 überprüft werden. Die Bildgüteanforderung(en) nach den Tabellen A.1 bis A.3 ist/sind zu erfüllen. Wenn die BPK nicht entsprechend diesen Normen auf dem Gusstück angebracht werden können, muss die Bildgüte mit einem repräsentativen Prüfgegenstand, auf dem mindestens ein BPK angebracht ist, mit dem gleichen Detektor überprüft werden. Wenn eine Vielzahl von digitalen Bildern unter den gleichen Bedingungen mit einer Aufnahme je Position anzufertigen ist, muss die Bildgüte mit mindestens einem BPK an mindestens einem Detektor überprüft werden. Wenn ein Bereich mit unterschiedlichen Waddicken durchstrahlt werden soll, muss der BPK auf dem Prüfbereich mit der größten Waddicke angebracht werden. Wenn ein Einzel-Draht-BPK verwendet wird, muss dessen Lage sicherstellen, dass mindestens 10 mm der Drahtlänge in einem Abschnitt mit gleichmäßigem Grauwert oder SNR_N liegen.

Der BPK muss auf der der Strahlerseite zugewandten Seite des Prüfgegenstandes angeordnet werden. Wenn das nicht möglich ist, muss er detektorseitig angeordnet und mit „F“ mit einem stark absorbierenden Material gekennzeichnet werden. Die Kennnummer und der Bleibuchstabe „F“, falls verwendet, dürfen nicht im interessierenden Bereich liegen, es sei denn, eine solche geometrische Anordnung ist unpraktisch.

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 jedes digitale Durchstrahlungsbild nachzuweisen. Der Umfang des Bildgütenachweises sollte zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Bei Aufnahmen von runden Prüfgegenständen mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm und einer zentral angeordneten Strahlenquelle müssen mindestens drei BPK gleichmäßig verteilt auf dem Umfang angeordnet werden.

16.2 Mindestbildgütezahlen

In den Tabellen A.1 bis A.3 sind die Mindestbildgütezahlen für metallische Werkstoffe angegeben. Für andere Werkstoffe dürfen diese Anforderungen oder entsprechende Anforderungen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden. Die Anforderungen müssen nach EN ISO 19232-4 bestimmt werden.

16.3 Normiertes Mindest-Signal-Rausch-Verhältnis (SNR_N)

Für die digitale Durchstrahlungsprüfung müssen Mindest- SNR_N -Werte nach Tabelle 3 und Tabelle 4 oder Mindestgrauwerte (nur bei CR) erreicht werden. Anhang G legt das Verfahren für die Messung des SNR_N fest und enthält eine Umwandlungstabelle für Anwender, die es vorziehen, anstelle der normierten SNR_N -Werte unnormierte, gemessene SNR-Werte anzusetzen.

Anstelle der Mindest- SNR_N -Werte dürfen äquivalente Mindestgrauwerte für die CR verwendet werden, wenn sie entsprechend dem Verfahren nach Anhang G für die eingesetzten IP, das verwendete Abtastsystem und dessen Einstellungen sowie das erforderliche SNR_N nach den Tabellen 3 und 4 bestimmt werden.

Der SNR_N -Wert ist im dickeren Teil des Gusstückes in einem Bereich mit homogener Waddicke und homogenen Grauwerten zu messen. Da die Rauheit des Werkstoffes das Bildrauschen und das SNR_N beeinflusst, handelt es sich bei den Werten nach Tabelle 3 und Tabelle 4 nur um Empfehlungswerte. Die Werte können bis zu 20 % kleiner als die Werte nach Tabelle 3 und Tabelle 4 sein, vorausgesetzt, die nach den Tabellen A.1 bis A.4 erforderliche Bildgüte wird eingehalten.