

DIN EN 12681-2

ICS 77.040.20

**Gießereiwesen –
Durchstrahlungsprüfung –
Teil 2: Technik mit digitalen Detektoren;
Deutsche Fassung EN 12681-2:2017**

Founding –
Radiographic testing –
Part 2: Techniques with digital detectors;
German version EN 12681-2:2017

Fonderie –
Contrôle par radiographie –
Partie 2: Techniques à l'aide de détecteurs numériques;
Version allemande EN 12681-2:2017

Gesamtumfang 65 Seiten

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12681-2:2017) 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.

Die Normenreihe EN 12681, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung* besteht aus

- *Teil 1, Filmtechniken* und
- *Teil 2, Technik mit digitalen Detektoren*

Deutsche Fassung
Gießereiwesen —
Durchstrahlungsprüfung —
Teil 2: Technik mit digitalen Detektoren

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. Juli 2017 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	13
5 Einteilung der radiographischen Techniken und Kompensationsprinzipien	14
5.1 Einteilung	14
5.2 Kompensationsprinzipien	14
6 Allgemeine Vorbereitungen und Anforderungen	15
6.1 Schutz vor ionisierender Strahlung	15
6.2 Oberflächenvorbehandlung und Herstellungsstufe	15
6.3 Vereinbarungen	15
6.4 Qualifizierung des Personals	16
7 Aufnahmeanordnungen	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Einwandige Durchstrahlung ebener Prüfbereiche	16
7.3 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfbereiche	17
7.4 Doppelwanddurchstrahlung ebener und gekrümmter Prüfbereiche	17
7.5 Wahl der Aufnahmeanordnungen bei komplexen Geometrien	17
7.6 Zulässige Maße von Prüfbereichen	17
8 Wahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle	22
8.1 Röntgenstrahler für bis zu 1 000 kV	22
8.2 Andere Strahlenquellen	23
9 Metallfolien für IP und Abschirmung	24
10 Verminderung der Streustrahlung	26
10.1 Metallfilter und Kollimatoren	26
10.2 Abschirmung von rückgestreuter Strahlung	26
11 Position Strahlenquelle – Prüfgegenstand und Detektor	27
11.1 Allgemeines	27
11.2 Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand bei Vergrößerung $< 1,5$	27
11.3 Bedingungen bei Vergrößerung $\geq 1,5$	30
11.4 Zuordnung von Bild und Prüfbereich, Detektorlageplan	31
12 Datenverarbeitung	32

12.1	Abtasten und Auslesen der Bilder	32
12.2	Kalibrierung der DDA	32
12.3	Interpolation der Bad-Pixel	32
12.4	Bildverarbeitung	33
13	Betrachtungsbedingungen am Monitor und Speicherung der digitalen Bilder	33
14	Techniken zur Erhöhung des abgedeckten Dickenbereiches	34
14.1	Allgemeines	34
14.2	Kontrastminderung durch höhere Strahlungsenergie	34
14.3	Aufhärtung	35
14.4	Dickenausgleich	35
15	Anforderungen an Bilder	35
15.1	Zuordnung von Bildern	35
15.2	Kennzeichnung der Prüfbereiche	35
15.3	Überlappung der digitalen Bilder	35
16	Bildgüte	36
16.1	Typen und Lagen der Bildgüteprüfkörper (BPK)	36
16.2	Mindestbildgütezahlen	36
16.3	Normiertes Mindest-Signal-Rausch-Verhältnis (SNR_N)	37
16.4	Kompensationsprinzip CP II	37
16.5	Regelmäßige Leistungsüberprüfung digitaler Durchstrahlungssysteme	38
17	Einfluss der Kristallstruktur	38
18	Annahmekriterien	38
18.1	Allgemeines	38
18.2	Gütestufen	38
18.3	Wandquerschnittszonen	39
19	Prüfbericht	39
Anhang A (normativ) Mindestbildgütezahlen		41
Anhang B (normativ) Gütestufen für Stahlgussstücke		44
Anhang C (normativ) Gütestufen für Gussstücke aus Gusseisen		46
Anhang D (normativ) Gütestufen für Gussstücke aus Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen		48
Anhang E (normativ) Gütestufen für Gussstücke aus Titan und Titanlegierungen		51
Anhang F (normativ) Bestimmung der Basis-Ortsauflösung		52
Anhang G (normativ) Bestimmung der Mindestgrauwerte für CR-Verfahren		56
Anhang H (informativ) Grauwerte, allgemeine Bemerkungen (übernommen aus EN ISO 17636-2:2013, Annex E)		61
Literaturhinweise		63

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 12681-2:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 190 „Gießereiwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2018 zurückgezogen werden.

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

Im Rahmen seines Arbeitsprogramms hat das Technische Komitee CEN/TC 190 die CEN/TC 190/WG 10 „Prüfung auf innere Ungängen“ mit Folgendem beauftragt:

- EN 12681:2003 zu überarbeiten in EN 12681-1, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Filmtechniken*;
- und die Vorbereitung einer weiteren Norm EN 12681-2, *Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Technik mit digitalen Detektoren*.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

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 zum zerstörungsfreien Nachweis 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.

Digitale Detektoren liefern ein digitales Grauwertbild, das betrachtet und mit dem Einsatz eines Computers 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 Computer, 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 Bilder für den Nachweis von Unvollkommenheiten mit einer Empfindlichkeit, die der in Teil 1 dieser Normenreihe festgelegten Durchstrahlungsprüfung mit Filmen gleichwertig ist.

Die vorliegende Norm berücksichtigt nicht die radiographische oder radioskopische Eignung zur Prüfung 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 spiegeln die Qualitätsanforderungen derzeitiger automatisierter und teilautomatisierter Durchstrahlungsprüfsysteme mit DDA und computergestützter oder bedienerbasierender Bildbewertung 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, wider.

Die festgelegten Verfahren gelten für nach einem beliebigen Gießverfahren hergestellte Gussstücke, insbesondere aus Stählen, 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 EN 12681-1:2017);
- Echtzeitprüfung mittels Radioskopie (siehe EN 13068-1; Radioskopie mit Bildverstärkern).

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 19232-1:2013)*

EN ISO 19232-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 2: Ermittlung der Bildgütezahl mit Stufe/Loch-Typ-Bildgüteprüfkörper (ISO 19232-2:2013)*

EN ISO 19232-4, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 4: Experimentelle Ermittlung von Bildgütezahlen und Bildgütetabellen (ISO 19232-4:2013)*

EN ISO 19232-5, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 5: Bestimmung der Bildunschärfezahl mit Doppeldraht-Typ-Bildgüteprüfkörpern (ISO 19232-5:2013)*

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, 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, 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, Begriff 3.22]

3.7

Abstand Strahlenquelle – Detektor

FDA

(en: source-to-detector distance SDD)

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, 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, Begriff 3.24]

3.9

Computer-Radiographie

CR

(en: computed radiography)

Phosphor-Speicher-Foliensystem

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, 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, 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, Begriff 3.3]

3.12

Strukturrauschen der Speicherfolie (IP)

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, Begriff 3.4]

3.13

Strukturrauschen des digitalen Matrixdetektor-Systems (DDA)

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, 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, Begriff 3.6]

3.15

linearisierter Grauwert

GV_{lin}

(en: linearized grey value)

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, Begriff 3.7]

3.16

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Detektors

$SR_{b, \text{detector}}$

(en: basic spatial resolution of a digital detector)

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 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, Begriff 3.8]

3.17

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes

$SR_{b, \text{image}}$

(en: basic spatial resolution of a digital 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, 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: normalised 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: $SNR_N = SNR_{measured} \times (88,6 \mu m / SR_b^{image})$

Anmerkung 2 zum Begriff: SR_b^{image} wird für Bilder mit Vergrößerung verwendet.

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, Begriff 3.12]

3.21

normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR_N

(en: normalised 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: $CNR_N = CNR \times (88,6 \mu m / SR_b^{image})$

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, Begriff 3.14]

3.23

Cluster-Kernel-Pixel

CKP

(en: cluster kernel pixels)

Bad-Pixel, die nicht mindestens fünf korrekt funktionierende Nachbarpixel aufweisen

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

[QUELLE: EN ISO 17636-2:2013, 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: $u_i = 2 \times SR_b^{\text{detector}}$

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

umfasst die geometrische und innere 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, ohne Berücksichtigung 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 Dokuments 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	3.4
f	Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand	3.6
$f_{\min}$	Mindestabstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand	11.1
S	Strahlenquelle	Bilder 1 bis 12
D	Detektor	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 detector array 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 Prüfung von Gussstücken hauptsächlich in der Serienproduktion 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 deckt keine Gebrauchseignungsprüfung ab für von den Tabellen A.1 bis A.3 abweichende BPK-Anforderungen.

Die automatisierte Prüfung 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 Bedingungen, z. B. Typ der Strahlenquelle oder Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand f , einzuhalten, darf zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, dass die jeweilige Bedingung nach Klasse A gewählt wird. Der Verlust an Empfindlichkeit muss durch eine Erhöhung des Mindestgrauwertes und des SNR_N für das CR-Verfahren oder SNR_N für das DDA-Verfahren kompensiert werden (empfohlene Erhöhung des SNR_N um einen Faktor $> 1,4$). Aufgrund der besseren Empfindlichkeit im Vergleich zu Klasse A dürfen die Gussstücke als nach Klasse B geprüft angesehen werden, wenn die ordnungsgemäße BPK-Empfindlichkeit erreicht wird. Das gilt nicht, wenn die besonderen FDA-Verringerungen, 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 digitalen Detektoren können drei Kompensationsprinzipien benutzt werden, um eine ausreichende Kontrastempfindlichkeit zu erzielen.

Dies erfordert, ein Mindest-Kontrast-Rausch-Verhältnis, normiert auf die Basis-Ortsauflösung des Detektors (CNR_N) 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 (Erhöhung des Einzel-Draht- oder Stufe/Loch-BPK für jeden fehlenden Doppeldrahtpaar-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 Ungängen ($\Delta w \ll w$), siehe Gleichung (1):

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

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 Ungängen verursachen können, muss die Oberfläche glattgeschliffen werden.

ANMERKUNG 1 Oberflächenrauheit und innere Körnigkeit der Prüfgegenstände erscheinen in digitalen Bildern ähnlich wie Bildrauschen. Das kann kleine Ungängen 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.

ANMERKUNG 2 Bei manchen Gusslegierungen aus Aluminium und Magnesium darf die Durchstrahlung vor der Wärmebehandlung erfolgen.

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.

Bei der Auftragsannahme müssen die folgenden Aspekte zwischen den Vertragspartnern vereinbart sein:

- 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) Kennzeichnung der Durchstrahlungsbilder;
- j) Annahmekriterien;
- k) alle anfallenden zusätzlichen Aspekte;
- l) alle besonderen Anforderungen, z. B. Mindestmaße der zu erkennenden Ungängen.

6.4 Qualifizierung des Personals

Sofern nicht anders vereinbart, muss die Prüfung von Personal, das nach EN ISO 9712 oder gleichwertig mit einer im relevanten Industriesektor geeigneten Stufe qualifiziert ist, durchgeführt werden. Das Personal muss einen Nachweis über eine zusätzliche Ausbildung und Qualifizierung in digitaler industrieller Radiographie 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 Querschnitt.

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 einzelzeiliger 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 der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstandes berücksichtigt wird (siehe 11.1).

7.4 Doppelwanddurchstrahlung ebener und gekrümmter Prüfbereiche

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

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.

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.

Die Doppelwanddurchstrahlung im Sinne von Übersichtsaufnahmen entsprechend Bild 7 muss angewendet werden, wenn die geometrischen Bedingungen 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.

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.

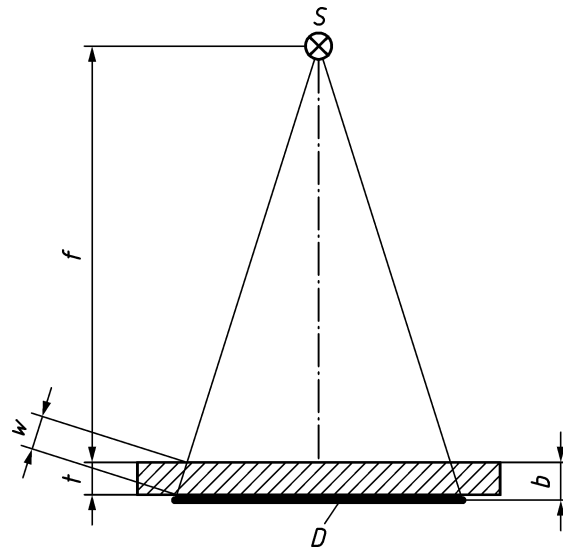
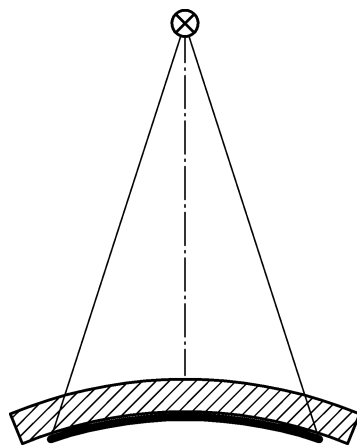
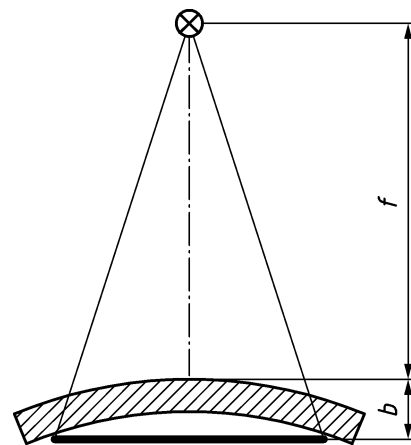


Bild 1 — Aufnahmeanordnung für einwandige Durchstrahlung ebener Bereiche

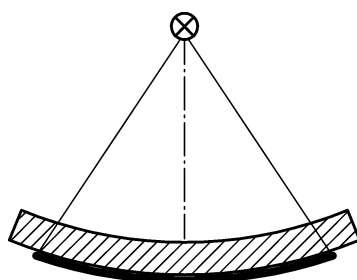


a) mit flexiblen Detektoren

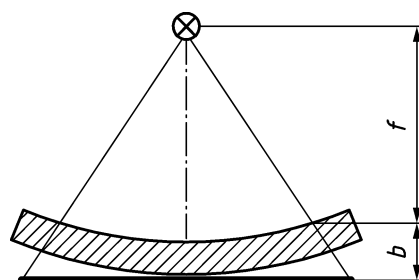


b) mit starren Detektoren

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