

DIN EN ISO 17636-2

ICS 25.160.40

Ersatz für
DIN EN ISO 17636-2:2013-05

**Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen –
Durchstrahlungsprüfung –
Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen
Detektoren (ISO 17636-2:2022, korrigierte Fassung 2023-02);
Deutsche Fassung EN ISO 17636-2:2022**

Non-destructive testing of welds –

Radiographic testing –

Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors (ISO 17636-2:2022, Corrected
version 2023-02);

German version EN ISO 17636-2:2022

Essais non destructifs des assemblages soudés –

Contrôle par radiographie –

Partie 2: Techniques par rayons X ou gamma à l'aide de détecteurs numériques
(ISO 17636-2:2022, Version corrigée 2023-02);

Version allemande EN ISO 17636-2:2022

Gesamtumfang 82 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 17636-2:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument enthält in Abschnitt 4, in 6.8, in 7.8, in 7.9.3 sowie in Abschnitt B.1 Nationale Fußnoten, die ergänzende oder erläuternde Hinweise zur Anwendung des Dokumentes geben.

DIN EN ISO 17636 besteht unter dem allgemeinen Titel *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung* aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit Filmen*
- *Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren*

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

ISO 5579	siehe	DIN EN ISO 5579
ISO 5580	siehe	DIN EN 25580
ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 10675-1	siehe	DIN EN ISO 10675-1
ISO 10675-2	siehe	DIN EN ISO 10675-2
ISO 16371-2	siehe	DIN EN ISO 16371-2
ISO 17636-1	siehe	DIN EN ISO 17636-1
ISO 19232-1	siehe	DIN EN ISO 19232-1
ISO 19232-2	siehe	DIN EN ISO 19232-2
ISO 19232-3	siehe	DIN EN ISO 19232-3
ISO 19232-4	siehe	DIN EN ISO 19232-4
ISO 19232-5	siehe	DIN EN ISO 19232-5
ISO/TS 25107:2019	siehe	DIN CEN ISO/TS 25107:2022-04

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 17636-2:2013-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) die Bilder wurden aktualisiert;
- c) die manuelle und automatische Prüfung mit DDA wurde in 6.6, 6.7 und 7.8 betrachtet;
- d) die Verweisungen auf Bild 1 bis Bild 19 wurden im gesamten Dokument aktualisiert;
- e) in 6.7 a) wurde die Zulässigkeit einer sichtbaren Drahtlänge kürzer als 10 mm für Rohre mit einem äußeren Durchmesser < 50 mm hinzugefügt;
- f) in 6.7.1 wurde die Verwendung von ASTM-Drähten und anderen BPK nach Vereinbarung der Vertragspartner hinzugefügt;
- g) 6.8, „Auswertung der Bildgüte“ für die digitale Radiographie, wurde hinzugefügt;
- h) in 6.9 und 7.2.2 wurde die untere Dickengrenze für Se-75-Anwendungen gestrichen;
- i) in 6.8, 6.9 und 7.3.1 wurde die Verwendung der BPK für DWDI-Technik präziser formuliert;
- j) in 7.3.1 wurde ein reduziertes SNR_N gestattet, wenn die Röhrenspannung auf < 80 % der in Bild 20 angegebenen Werte reduziert wird oder energieauflösende Detektoren verwendet werden;
- k) in 7.3.2 wurde das Kompensationsprinzip II (CP II) auf drei Drahtpaare ohne Vereinbarung der Vertragspartner erweitert;
- l) Anhang C wurde gekürzt, um Doppelungen mit ISO 19232-5 zu vermeiden;
- m) in D.2 wurde eine neue Anmerkung zum „Fading“ hinzugefügt;
- n) ein neuer Anhang F wurde hinzugefügt;
- o) ein neuer Anhang G wurde hinzugefügt.

Diese korrigierte Fassung der ISO 17636-2:2022 enthält die folgenden Korrekturen:

- die Gleichungen in 3.11, 3.13, Gleichung (D.1) und Bild D.2 wurden aktualisiert, um die Einheiten für die Konstante c einzubeziehen;
- Gleichung (6) und Gleichung (7) wurden überarbeitet und D_d definiert als „diagonale Größe der Detektorfläche“.

Frühere Ausgaben

DIN 1914: 1935-08
 DIN 54111: 1954x-08
 DIN 54111-1: 1973-11, 1977-03, 1988-05
 DIN EN 1435: 1997-10, 2002-09
 DIN EN 1435 Berichtigung 1: 2004-05
 DIN EN ISO 17636-2: 2013-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN CEN ISO/TS 25107:2022-04, *Zerstörungsfreie Prüfung — Leitfaden für Ausbildungs-Syllabus der zerstörungsfreien Prüfung (ISO/TS 25107:2019); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 25107:2019*

DIN EN 25580, *Zerstörungsfreie Prüfung — Betrachtungsgeräte für die industrielle Radiographie — Minimale Anforderungen*

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

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

DIN EN ISO 10675-1, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen*

DIN EN ISO 10675-2, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Aluminium und seine Legierungen*

DIN EN ISO 16371-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien — Teil 2: Grundlagen für die Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen*

DIN EN ISO 17636-1, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit Filmen*

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

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

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

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

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

Deutsche Fassung

**Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen —
Durchstrahlungsprüfung —
Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen
Detektoren (ISO 17636-2:2022, korrigierte Fassung 2023-02)**

Non-destructive testing of welds —
Radiographic testing —
Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital
detectors
(ISO 17636-2:2022, Corrected version 2023-02)

Essais non destructifs des assemblages soudés —
Contrôle par radiographie —
Partie 2: Techniques par rayons X ou gamma à l'aide de
détecteurs numériques
(ISO 17636-2:2022, Version corrigée 2023-02)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. August 2022 angenommen.

Diese Europäische Norm wurde korrigiert und vom CEN-CENELEC-Management-Zentrum am 01. März 2023 neu herausgegeben.

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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	13
5 Klassifizierung der Durchstrahlungstechniken und Kompensationsprinzipie	15
5.1 Klassifizierung	15
5.2 Kompensationsprinzipie CP I, CP II oder CP III	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Kompensationsprinzip I (CP I)	16
5.2.3 Kompensationsprinzip II (CP II)	16
5.2.4 Kompensationsprinzip III (CP III)	16
5.2.5 Theoretischer Hintergrund	16
6 Allgemeine Vorbereitungen und Anforderungen	16
6.1 Schutz vor ionisierender Strahlung	16
6.2 Oberflächenvorbehandlung und Herstellungsstufe	16
6.3 Lage der Schweißnaht auf der Durchstrahlungsaufnahme	17
6.4 Zuordnung von Durchstrahlungsbildern	17
6.5 Kennzeichnung	17
6.6 Überlappung der digitalen Durchstrahlungsaufnahmen	17
6.7 Typ und Lage der Bildgüteprüfkörper (BPK)	17
6.7.1 Allgemeines	17
6.7.2 Doppeldraht-BPK	18
6.7.3 Draht- oder Stufe/Loch-BPK	18
6.8 Auswertung der Bildgüte	19
6.9 Mindestbildgütezahlen	20
6.10 Personalqualifizierung	21
7 Empfohlene Vorgehensweise	21
7.1 Aufnahmeanordnungen	21
7.1.1 Allgemeines	21
7.1.2 Einwandige Durchstrahlung ebener Prüfgegenstände (siehe Bild 1)	22
7.1.3 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfgegenstände mit der Strahlenquelle außerhalb des Prüfgegenstands (siehe Bild 2 bis Bild 4)	23
7.1.4 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfgegenstände mit der Strahlenquelle innerhalb des Prüfgegenstands für eine Zentral-Aufnahme (Panoramaaufnahme) (siehe Bild 5 bis Bild 7)	24
7.1.5 Einwandige Durchstrahlung gekrümmter Prüfgegenstände mit exzentrischer Strahlenquelle innerhalb des Prüfgegenstands (siehe Bild 8 bis Bild 10)	25
7.1.6 Doppelwand-Doppelbild-Durchstrahlungstechnik (DWDI) bei Rohren mit Ellipsentechnik, Strahlenquelle und Detektor außerhalb des Prüfgegenstandes (siehe Bild 11)	26
7.1.7 Doppelwand-Doppelbild-Durchstrahlungstechnik (DWDI) mit Senkrechtechnik, Strahlenquelle und Detektor außerhalb des Prüfgegenstandes (siehe Bild 12)	26

7.1.8	Doppelwand-Einbild-Durchstrahlungstechnik (DWSI) gekrümmter Prüfgegenstände zur Bewertung der detektornahen Wand (siehe Bild 13 bis Bild 16)	27
7.1.9	Durchstrahlung von Prüfgegenständen mit unterschiedlichen Werkstoffdicken (siehe Bild 17 bis Bild 19).....	28
7.2	Auswahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle.....	29
7.2.1	Röntgenstrahler für bis zu 1 000 kV.....	29
7.2.2	Andere Strahlenquellen	30
7.3	Detektorsysteme und metallische Aufnahmefolien	31
7.3.1	Normiertes Mindest-Signal-Rausch-Verhältnis (SNR_N)	31
7.3.2	Kompensationsprinzip CP II.....	34
7.3.3	Metallische Aufnahmefolien für IP und Abschirmung.....	35
7.4	Ausrichtung des Strahlers	35
7.5	Verminderung der Streustrahlung	36
7.5.1	Metallfilter und Kollimatoren (Blenden)	36
7.5.2	Abschirmung von rückgestreuter Strahlung.....	36
7.6	Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand.....	36
7.7	Geometrische Vergrößerungstechnik	43
7.8	Maximaler Prüfbereich für eine einzelne Aufnahme	45
7.9	Verarbeitung	45
7.9.1	Abtasten und Auslesen der Bilder	45
7.9.2	Korrektur der aufgenommenen DDA-Bilder.....	45
7.9.3	Interpolation der Bad-Pixel.....	46
7.9.4	Bildverarbeitung	46
7.10	Betrachtungsbedingungen am Monitor und Speicherung der digitalen Durchstrahlungsaufnahmen	47
8	Prüfbericht.....	47
Anhang A (normativ) Anzahl der Aufnahmen für eine ausreichende Prüfung einer stumpfgeschweißten Rundnaht.....		49
Anhang B (normativ) Mindestbildgütezahlen (BZ oder Mindest-BPK-Werte)		54
B.1	Allgemeines	54
B.2	Einwandige Durchstrahlung — BPK strahlerseitig.....	54
B.3	Doppelwandige Durchstrahlung — Doppelbild-Auswertung (DWDI): BPK strahlerseitig.....	58
B.4	Doppelwandige Durchstrahlung — Einbild-Auswertung (DWSI) oder Doppelbild-Auswertung (DWDI): BPK detektorseitig.....	60
B.5	Unschärfe.....	62
Anhang C (normativ) Bestimmung der Basis-Ortsauflösung		64
Anhang D (informativ) Bestimmung der Mindest-Grauwerte für die Anwendung der Computer-Radiographie.....		66
D.1	Bestimmung von SNR_N aus dem gemessenen SNR	66
D.2	Bestimmung der Mindest-Grauwerte	67
Anhang E (informativ) Grauwerte — Allgemeine Anmerkungen.....		71
E.1	Allgemeines	71
E.2	Rauschkontrolle.....	71
Anhang F (informativ) Berücksichtigung der Detektorunschärfe für f_{min}		73
Anhang G (informativ) Berechnung der empfohlenen Röntgenröhrenspannungen aus Bild 20		77
Literaturhinweise.....		78

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 17636-2:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ 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 April 2023, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2023 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.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 17636-2:2013.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, 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.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 17636-2:2022, korrigierte Fassung 2023-02 wurde von CEN als EN ISO 17636-2:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44, *Welding and allied processes*, Unterkomitee SC 5, *Testing and inspection of welds*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 121, *Schweißen und verwandte Verfahren*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 17636-2:2013), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- die Bilder wurden aktualisiert;
- die manuelle und automatische Prüfung mit DDA wurde in 6.6, 6.7 und 7.8 betrachtet;
- die Verweisungen auf Bild 1 bis Bild 19 wurden im gesamten Dokument aktualisiert;
- in 6.7 a) wurde die Zulässigkeit einer sichtbaren Drahtlänge kürzer als 10 mm für Rohre mit einem äußeren Durchmesser < 50 mm hinzugefügt;
- in 6.7.1 wurde die Verwendung von ASTM-Drähten und anderen BPK nach Vereinbarung der Vertragspartner hinzugefügt;
- 6.8, „Auswertung der Bildgüte“ für die digitale Radiographie, wurde hinzugefügt;
- in 6.9 und 7.2.2 wurde die untere Dickengrenze für Se-75-Anwendungen gestrichen;

- in 6.8, 6.9 und 7.3.1 wurde die Verwendung der BPK für DWDI-Technik präziser formuliert;
- in 7.3.1 wurde ein reduziertes SNR_N gestattet, wenn die Röhrenspannung auf $< 80 \%$ der in Bild 20 angegebenen Werte reduziert wird oder energieauflösende Detektoren verwendet werden;
- in 7.3.2 wurde das Kompensationsprinzip II (CP II) auf drei Drahtpaare ohne Vereinbarung der Vertragspartner erweitert;
- Anhang C wurde gekürzt, um Doppelungen mit ISO 19232-5 zu vermeiden;
- in D.2 wurde eine neue Anmerkung zum „Fading“ hinzugefügt;
- ein neuer Anhang F wurde hinzugefügt;
- ein neuer Anhang G wurde hinzugefügt.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 17636 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden. Offizielle Auslegungen von Dokumenten aus dem ISO/TC 44, falls vorhanden, sind auf dieser Internetseite verfügbar: <https://committee.iso.org/sites/tc44/home/interpretation.html>.

Diese korrigierte Fassung der ISO 17636-2:2022 enthält die folgenden Korrekturen:

- die Gleichungen in 3.11, 3.13, Gleichung (D.1) und Bild D.2 wurden aktualisiert, um die Einheiten für die Konstante c einzubeziehen;
- Gleichung (6) and Gleichung (7) wurden überarbeitet und D_d definiert als „diagonale Größe der Detektorfläche“.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Techniken der digitalen Durchstrahlungsprüfung mit dem Ziel fest, zufriedenstellende und wiederholbare Ergebnisse zu erreichen. Die Techniken beruhen auf allgemein anerkannten Vorgehensweisen und den grundlegenden Theorien zum Thema.

Dieses Dokument ist anwendbar für die digitale Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen in metallischen Werkstoffen. Es ist anwendbar für Schweißverbindungen von Platten und Rohren. Neben der konventionellen Bedeutung werden in diesem Dokument unter der Benennung „Rohr“ auch andere zylindrische Körper wie Druckleitungen, Kesseltrommeln und Druckbehälter verstanden.

Dieses Dokument legt die Anforderungen an die digitale Durchstrahlungsprüfung von Schweißverbindungen an Metallplatten und -rohren mit Röntgen- und Gammastrahlen unter Anwendung entweder der Computer-Radiographie (CR) oder der Radiographie mit digitalen Matrixdetektoren (DDA, en: Digital Detector Arrays) fest, die dem Nachweis von Unregelmäßigkeiten dient. Es umfasst die manuelle und automatische Prüfung mittels DDA.

Digitale Detektoren liefern ein Bild mit digitalen Grauwerten, das mit einem Computer betrachtet und ausgewertet werden kann (Anhang E). Dieses Dokument legt die empfohlenen Verfahren für die Auswahl des Detektors und der Durchstrahlungstechnik fest. Die Auswahl von Computer, Software, Monitor, Drucker und Betrachtungsbedingungen ist von Bedeutung, bildet jedoch nicht den Schwerpunkt dieses Dokuments. Das in diesem Dokument festgelegte Verfahren enthält die Mindestanforderungen an das Durchstrahlungsverfahren zur Gewinnung digitaler Durchstrahlungsaufnahmen mit einer Empfindlichkeit für den Nachweis von Unregelmäßigkeiten, die der Radiographie mit Filmen (festgelegt in ISO 17636-1) gleichwertig ist.

Dieses Dokument legt keine Zulässigkeitsgrenzen für Anzeigen in den digitalen Durchstrahlungsaufnahmen fest. ISO 10675 enthält Informationen über Zulässigkeitsgrenzen bei der Prüfung von Schweißnähten (Schweißverbindungen).

Wenn die Vertragspartner niedrigere Prüfkriterien verwenden, ist es möglich, dass die erreichte Güte deutlich niedriger ist als bei strikter Anwendung von diesem Dokument.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

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

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

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

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

ISO 19232-5, *Non-destructive testing — Image quality of radiographs — Part 5: Determination of the image unsharpness and basic spatial resolution value using duplex wire-type image quality indicators*

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

EN 12679, *Zerstörungsfreie Prüfung — Durchstrahlungsprüfung — Bestimmung der Strahlergrößen von industriell genutzten Radio-Nukliden*

ASTM E747, *Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology*

JIS Z2306, *Radiographic image quality indicators for non-destructive testing*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5576 und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1
Computer-Radiographie
CR, en: Computed Radiography
vollständiges System, das aus einer *Speicherfolie* (IP) (3.2) und der zugehörigen Ausleseeinheit (Abtastsystem bzw. Scanner) besteht, mit der die Informationen aus der IP in ein digitales Bild umgewandelt werden

3.2
Speicherfolie
IP, en: Imaging Plate
photo-stimulierbares lumineszierendes Material, das in der Lage ist, eine latente Durchstrahlungsaufnahme des untersuchten Werkstoffs zu speichern und das bei Anregung mit einer roten Lichtquelle geeigneter Wellenlänge Lumineszenzlicht proportional zur absorbierten Röntgenstrahlung erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der *Computer-Radiographie* (3.1) wird anstelle eines Films eine IP verwendet. Bei der Festlegung von Techniken im Zusammenhang mit der *Größe der Strahlenquelle* (3.20) oder Aufnahmegeometrien wird die IP als Detektor bezeichnet, d. h. *Abstand Strahlenquelle – Detektor* (3.21).

3.3
digitaler Matrixdetektor
DDA, en: digital detector array
elektronisches Gerät, das ionisierende oder durchdringende Strahlung in eine diskrete Matrix analoger Signale umwandelt, die anschließend digitalisiert und an einen Computer übertragen werden, um dort als digitales Bild angezeigt zu werden, das der örtlichen radiologischen Energieverteilung entspricht, die auf die strahlungsempfindliche Fläche des Geräts wirkt

3.4
Strukturrauschen
<Speicherfolie> lokale Schwankungen der Empfindlichkeit, verursacht durch Inhomogenitäten in der empfindlichen Schicht (Struktur, 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 höchste erreichbare Bildgüte von digitalen CR-Bildern und ist mit der Körnigkeit in Filmbildern vergleichbar.

3.5

Strukturrauschen

<digitaler Matrixdetektor> lokale Schwankungen der Empfindlichkeit, verursacht durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Detektorelemente (Pixels)

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach dem Auslesen des bestrahlten, nicht korrigierten Bildes des *digitalen Matrixdetektors* (DDA) (3.3) erscheinen diese Inhomogenitäten des DDA als festes Störmuster (Strukturrauschen) im digitalen Bild. Deshalb erfordern sämtliche DDA nach dem Auslesen eine softwarebasierte Bildkorrektur (Software und Anleitung werden durch den Hersteller bereitgestellt). Ein geeignetes Korrekturverfahren verringert dieses Strukturrauschen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Bildkorrektur wird in anderen Dokumenten auch als „Kalibrierung“ bezeichnet.

3.6

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.

Anmerkung 2 zum Begriff: In Bezug auf weiterführende Informationen siehe Anhang E.

3.7

linearisierter Grauwert

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.

3.8

Basis-Ortsauflösung des digitalen Detektors

SR_b^{detector}

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Messung wird der Doppeldraht-BPK direkt auf den *digitalen Matrixdetektor* (3.3) oder die Speicherfolie aufgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messung der Bildunschärfe ist in ISO 19232-5 beschrieben. Siehe auch ASTM E1000 und ASTM E2736.

3.9

Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes

SR_b^{image}

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Messung wird der Doppeldraht-BPK direkt auf die der Strahlenquelle zugewandte Seite des Prüfgegenstandes aufgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Messung der Bildunschärfe ist in ISO 19232-5 beschrieben. Siehe auch ASTM E1000 und ASTM E2736.

3.10

Signal-Rausch-Verhältnis

SNR, en: Signal-to-Noise Ratio

Quotient aus dem Mittelwert der *linearisierten Grauwerte* (3.7) und der Standardabweichung der linearisierten Grauwerte (Rauschen) in einem bestimmten *Prüfbereich* (3.25) auf einem digitalen Bild

3.11

normiertes Signal-Rausch-Verhältnis

SNR_N

Signal-Rausch-Verhältnis (3.10), normiert mit der *Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes* SR_b^{image} , (3.9) und aus dem gemessenen Signal-Rausch-Verhältnis wie folgt berechnet:

$$SNR_N = SNR \cdot \frac{c}{SR_b^{image}}$$

Dabei ist

c eine Konstante (0,088 6 mm);

SR_b^{image} die Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes, in mm.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Doppeldraht-BPK ohne einen Prüfgegenstand direkt auf den Detektor aufgelegt wird, ist SR_b^{image} gleich der gemessenen $SR_b^{detector}$, der anstelle von SR_b^{image} verwendet werden kann.

3.12

Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR, en: Contrast-to-Noise Ratio

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Signalstärken werden in *Grauwerten* (3.6) oder *linearisierten Grauwerten* (3.7) gemessen.

Anmerkung 2 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* ist für eine digitale Durchstrahlungsaufnahme auch eine angemessene Unschärfe bzw. Basis-Ortsauflösung nötig, um die gewünschten interessierenden Merkmale aufzulösen.

3.13

normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis

CNR_N

Kontrast-Rausch-Verhältnis (3.12), normiert mit der Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes, SR_b^{image} , (3.9), wie direkt im digitalen Bild mit dem Doppeldraht-BPK auf der dem Prüfgegenstand zugewandten Seite gemessen und aus dem gemessenen Kontrast-Rausch-Verhältnis, *CNR*, berechnet, d. h.

$$CNR_N = CNR \cdot \frac{c}{SR_b^{image}}$$

Dabei ist

c eine Konstante (0,088 6 mm);

SR_b^{image} die Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes, in mm.

3.14

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.

3.15

Cluster-Kernel-Pixel

CKP

Bad-Pixel (3.29), das nicht mindestens fünf korrekt funktionierende Nachbapixel aufweist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe ASTM E2597 für Details bezüglich Bad-Pixel und CKP-Beschreibung.

3.16

Nenndicke

t

Dicke des Grundwerkstoffs nur für Fälle, in denen Herstellungsabweichungen nicht berücksichtigt werden müssen

3.17

Änderung der durchstrahlten Dicke

Δt

Änderung der *durchstrahlten Dicke* (3.18) bezogen auf die *Nenndicke* (3.16) aufgrund des Strahlwinkels

3.18

durchstrahlte Dicke

w

Dicke des Werkstoffs in Strahlungsrichtung, berechnet aus der *Nenndicke* (3.16) aller durchstrahlten Wände

3.19

Abstand Prüfgegenstand – Detektor

b

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In anderen Dokumenten wird die Abkürzung ODD verwendet.

3.20

Größe der Strahlenquelle

d

Strahler- oder Brennfleckgröße der eingesetzten Strahlenquelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe EN 12543 oder EN 12679.

3.21

Abstand Strahlenquelle – Detektor

SDD, en: Source-to-Detector Distance

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

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

Dabei ist

f der Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand (3.22);

b der Abstand Prüfgegenstand – Detektor (3.19).

3.22

Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand

f

Abstand zwischen der Strahlenquelle und der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstands, gemessen in Richtung des Zentralstrahles

Anmerkung 1 zum Begriff: In anderen Dokumenten wird die Abkürzung SOD verwendet.

3.23

äußerer Durchmesser

D_e

Nennwert des äußeren Durchmessers des Rohres

3.24

geometrische Vergrößerung

v

Quotient aus dem Abstand Strahlenquelle – Detektor (3.21) und dem Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand (3.22)

3.25

Bildbereich

RoI, en: Region of Interest

definierte Gruppe von Pixeln, aus der Messwerte oder statistische Daten oder beides abgeleitet werden können

3.26

zu bewertender Prüfbereich der Schweißnaht

WAE, en: weld area to evaluate

auf der Durchstrahlungsaufnahme zu bewertender Bereich, der die Schweißnaht und die *Wärmeeinflusszone* (3.30) auf beiden Seiten enthält

3.27

auszuwertender Prüfbereich

AoI, en: Area of Interest

Mindestbereich, der auf der Durchstrahlungsaufnahme ausgewertet werden sollte und die Schweißnaht, die *Wärmeeinflusszone* (3.30) auf beiden Seiten und alle Bleibuchstaben, Marker und Bildgüteprüfkörper (BPK) enthält

3.28

Rohbild

mit *digitalen Matrixdetektoren* (3.3) oder Computer-Radiographie (3.1)-Systemen aufgenommene Bilder nach Bildkorrektur, falls eine Korrektur durchgeführt wurde

3.29

Bad-Pixel

Detektorelement (Pixel) eines *digitalen Matrixdetektors* (3.3) mit ungenügender Leistung

Anmerkung 1 zum Begriff: Bad-Pixel sind in ASTM E2597 beschrieben.

3.30

Wärmeeinflusszone

WEZ

Bereich neben der Schweißnaht, der durch den Erwärmungs- und Abkühlungsprozess des Schweißvorgangs beeinflusst wird und als die beiden Bereiche neben der Schweißnaht betrachtet wird, die jeweils die gleiche Breite wie die Decklage haben, aber mindestens 10 mm breit sind, um für die Bewertung in Betracht gezogen zu werden

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole und Abkürzungen.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol oder Abkürzung	Definition
α	Winkel, der von der Hälfte der Umfangslänge des AoI in der Rohrmitte eingeschlossen wird, siehe Bild 22 a)
AoI	auszuwertender Prüfbereich
β	Öffnungswinkel des Röhrenfensters oder Kollimators relativ zum Zentralstrahl
b	Abstand Prüfgegenstand - Detektor
b'	Abstand Prüfgegenstand – Detektor, senkrecht zum Prüfgegenstand
b_{ed}	maximaler Abstand von der dem ebenen Detektor nächstgelegenen Oberfläche des Prüfgegenstandes zur am weitesten vom Detektor entfernten Oberfläche des Prüfgegenstandes im zu bewertenden Prüfbereich der Schweißnaht (WAE) des Rohres, siehe Bild 2 b), Bild 8 b), Bild 13 b), Bild 14 b) und Bild 22
b_{gap}	Abstand zwischen der strahlungsempfindlichen Detektorschicht und der äußeren Rohroberfläche, siehe Bild 2 b) und Bild 22
C_i	Faktor zur Korrektur von f_{min} bei Verwendung ebener Detektoren für gekrümmte Prüfgegenstände, wenn $b > t$
CKP	Cluster-Kernel-Pixel
CNR	Kontrast-Rausch-Verhältnis
CNR_N	normiertes Kontrast-Rausch-Verhältnis
CR	Computer-Radiographie
d	Strahler- oder Brennfleckgröße (siehe Normenreihe EN 12543 und EN 12679)
D	Detektor
D_d	diagonale Größe der Detektorfläche
D_e	äußerer Durchmesser
DDA	digitaler Matrixdetektor
DWDI	Doppelwand-Durchstrahlung / Doppelbild-Auswertung
DWSI	Doppelwand-Durchstrahlung / Einbild-Auswertung
f	Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand

Symbol oder Abkürzung	Definition
$f_{\min}$	Mindestabstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand
$f_{\min}^*$	Mindestabstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand für die Prüfung gekrümmter Prüfgegenstände mit ebenen Detektoren
f'	Abstand Strahlenquelle - Prüfgegenstand, senkrecht zur Prüfgegenstandsoberfläche
GV	Grauwert
WEZ	Wärmeeinflusszone
IP	Speicherfolie
BPK	Bildgüteprüfkörper, (entspricht IQI, en: image quality indicator)
r_e	äußerer Radius
r_i	innerer Radius
RoI	Bildbereich
S	Strahlenquelle
SDD	Abstand Strahlenquelle – Detektor
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis
SNR_N	normiertes Signal-Rausch-Verhältnis
SR_b	Basis-Ortsauflösung, die SR_b^{image} oder SR_b^{detector} sein kann
SR_b^{detector}	Basis-Ortsauflösung des digitalen Detektors
SR_b^{image}	Basis-Ortsauflösung eines digitalen Bildes
t	Nenndicke
Δt	Änderung der durchstrahlten Dicke
u_G	geometrische Bildunschärfe
u_d	inhärente Bildunschärfe des Detektorsystems ohne geometrische Bildunschärfe, gemessen im Digitalbild mit einem Doppeldraht-BPK direkt am Detektor
u_{Im}	Bildunschärfe, gemessen im Digitalbild mit einem Doppeldraht-BPK in der Prüfgegenstandsebene
u_T	Gesamt-Bildunschärfe (einschließlich der geometrischen Bildunschärfe), gemessen im Digitalbild in der Detektorebene mit einem Doppeldraht-BPK in der Prüfgegenstandsebene
v	geometrische Vergrößerung
v_o	optimale Vergrößerung
w	durchstrahlte Dicke
WAE	zu bewertender Prüfbereich der Schweißnaht

ANMERKUNG Der Abstand Strahlenquelle – Detektor (SDD, en: source-to-detector-distance), wie er in der digitalen Radiographie verwendet wird, entspricht SFD^{N1} (en: source-to-film distance) (siehe ISO 17636-1) in der Filmradiographie.

5 Klassifizierung der Durchstrahlungstechniken und Kompensationsprinzipie

5.1 Klassifizierung

Die radiographischen Techniken werden in zwei Prüfklassen eingeteilt:

- Prüfklasse A: Grundtechniken;
- Prüfklasse B: verbesserte Prüftechniken.

Techniken der Prüfklasse B werden angewendet, wenn Techniken der Prüfklasse A nicht ausreichend empfindlich sind.

Durchstrahlungstechniken, die eine höhere Empfindlichkeit als Prüfklasse B bieten, sind möglich und dürfen zwischen den Vertragspartnern unter Festlegung aller geeigneten Prüfparameter vereinbart werden.

Die Wahl der digitalen radiographischen Technik muss zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Die Erkennbarkeit von Fehlern in der digitalen Radiographie ist äquivalent zur Filmradiographie, wenn die jeweilige Technik der Prüfklasse A bzw. der Prüfklasse B eingesetzt wird. Die Erkennbarkeit muss durch Einsatz von BPK nach ISO 19232-1 oder ISO 19232-2 und ISO 19232-5 nachgewiesen werden.

Wenn es technisch oder industriell nicht möglich ist, eine der für die Prüfklasse B festgelegten Prüfbedingungen, wie den Typ der Strahlenquelle oder den Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand f , einzuhalten, darf zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, dass die gewählte Prüfbedingung, die nach Prüfklasse A festgelegt sein kann. Der Verlust an Empfindlichkeit muss durch eine Erhöhung des Mindest-Grauwerts (GV) und des SNR_N für die CR bzw. des SNR_N für die DDA-Technik kompensiert werden (empfohlene Erhöhung des SNR_N um einen Faktor $> 1,4$). Aufgrund der gegenüber Prüfklasse A höheren Prüfempfindlichkeit dürfen die Prüfabschnitte als nach Prüfklasse B geprüft angesehen werden, wenn die ordnungsgemäße BPK-Empfindlichkeit erreicht wird. Dies gilt nicht, wenn die besonderen SDD-Verringerungen nach 7.6 für die Prüfanordnungen 7.1.4 und 7.1.5 (Bild 5 bis Bild 10) verwendet werden.

5.2 Kompensationsprinzipie CP I, CP II oder CP III

5.2.1 Allgemeines

Drei Kompensationsprinzipie (siehe 5.2.2 bis 5.2.4) werden in diesem Dokument angewendet, um eine ausreichende Kontrastempfindlichkeit zu erzielen.

Dies erfordert das Erreichen eines Mindest-Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR_N), normiert auf die Basis-Ortsauflösung des Detektors je detektierbare Material-Dickendifferenz Δw . Wenn das geforderte normierte Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR_N je Δw) nicht erreicht werden kann aufgrund eines ungenügenden Wertes von einem der folgenden Parameter, kann dieses durch ein erhöhtes Signal-Rausch-Verhältnis kompensiert werden.

^{N1} Nationale Fußnote: SFD wird im Deutschen auch als FFA (Film-Fokus-Abstand) bezeichnet.

5.2.2 Kompensationsprinzip I (CP I)

Kompensation des reduzierten Kontrasts (z. B. durch erhöhte Röhrenspannung) durch erhöhtes SNR (z. B. durch erhöhten Röntgenröhrenstrom oder Belichtungszeit).

5.2.3 Kompensationsprinzip II (CP II)

Kompensation ungenügender Abbildungsschärfe des Detektors (der Wert von SR_b ist höher als gefordert) durch erhöhtes SNR (d. h. eine Verbesserung der Bildgütezahl um jeweils einen Wert des Draht- oder Stufe/Loch-BPK für jeden fehlenden Doppeldraht-BPK-Wert). SR_b ist SR_b^{detector} für die Auswahl des Detektors (BPK ohne einen Prüfgegenstand am Detektor) oder SR_b^{image} für die Auswertung der Bildgüte einer Durchstrahlungsaufnahme mit dem BPK auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstandes.

5.2.4 Kompensationsprinzip III (CP III)

Kompensation einer erhöhten lokalen Interpolationsunschärfe aufgrund der Bad-Pixel-Korrektur für DDAs durch ein erhöhtes SNR .

5.2.5 Theoretischer Hintergrund

Diese Kompensationsprinzipie basieren auf der in Gleichung (1) angeführten Näherung für kleine Fehler ($\Delta w \ll w$):

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

Dabei ist

c eine Konstante (0,088 6 mm);

μ_{eff} der effektive Schwächungskoeffizient, äquivalent zum spezifischen Kontrast des Materials, in mm^{-1} ;

CNR_N das normierte CNR , wie im Digitalbild gemessen;

SR_b^{image} die Basis-Ortsauflösung des Bildes, in mm.

6 Allgemeine Vorbereitungen und Anforderungen

6.1 Schutz vor ionisierender Strahlung

WARNUNG — Die Exposition jeglicher Teile des menschlichen Körpers gegenüber Röntgen- oder Gammastrahlen kann hochgefährlich für die Gesundheit sein. Bei der Anwendung von Röntgenstrahlung oder radioaktiven Strahlenquellen müssen die zutreffenden Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen beachtet werden.

ANMERKUNG Lokale, nationale und internationale Vorschriften und Sicherheitsvorkehrungen enthalten zusätzliche Informationen.

6.2 Oberflächenvorbehandlung und Herstellungsstufe

Im Allgemeinen ist eine Oberflächenvorbehandlung nicht notwendig; wenn jedoch Unregelmäßigkeiten der Oberfläche oder Beschichtungen Schwierigkeiten beim Nachweis von Fehlern verursachen können, muss/müssen die Oberfläche geglättet oder die Beschichtungen entfernt werden.

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

6.3 Lage der Schweißnaht auf der Durchstrahlungsaufnahme

Wenn die digitale Durchstrahlungsaufnahme die Schweißnaht nicht zeigt, müssen auf beiden Seiten der Schweißnaht außerhalb des zu bewertenden Prüfbereiches der Schweißnaht (WAE) Markierungszeichen von hoher Materialdichte gelegt werden.

6.4 Zuordnung von Durchstrahlungsbildern

Auf jedem Bereich des Prüfgegenstands, der digital zu durchstrahlen ist, müssen Markierungszeichen angebracht werden. Wenn möglich, müssen die Abbildungen dieser Zeichen auf der digitalen Durchstrahlungsaufnahme außerhalb des WAE erscheinen und müssen eine eindeutige Zuordnung des Bereichs sicherstellen. Ein anderes Identifikationssystem darf Teil der Vertragsvereinbarung sein.

6.5 Kennzeichnung

Zur genauen Lokalisierung jeder Durchstrahlungsaufnahme muss eine dauerhafte Kennzeichnung auf dem Prüfgegenstand angebracht werden, beispielsweise Nullpunkt, Richtung, Identifizierung, Positionsmarkierungen.

Wenn die Art des Werkstoffs und/oder dessen Betriebsbedingungen eine dauerhafte Kennzeichnung nicht zulassen, darf die Lage mit Hilfe genauer Skizzen oder Fotografien oder von automatischen Positioniersystemen aufgezeichnet werden.

6.6 Überlappung der digitalen Durchstrahlungsaufnahmen

Wird ein Bereich mit zwei oder mehr separaten digitalen Detektoren (Speicherfolien) durchstrahlt, müssen die Detektoren sich gegenseitig ausreichend überlappen um sicherzustellen, dass der gesamte WAE jeweils durchstrahlt wird. Dies muss durch einen Marker hoher Materialdichte auf der Oberfläche des Prüfgegenstands nachgewiesen werden, der auf jedem digitalen Bild erscheint. Werden die Durchstrahlungsaufnahmen sequentiell mit CR oder DDA aufgenommen, müssen die Marker hoher Materialdichte auf jeder der Durchstrahlungsaufnahmen sichtbar sein.

Das gilt auch für DDA bei der manuellen Prüfung und bei der automatischen Prüfung im Start-Stopp-Modus. Das gilt nicht für die automatische Prüfung im kontinuierlichen Modus. Im letzteren Fall sollten die Verwendung und die Anzahl der Marker hoher Materialdichte Gegenstand einer Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern sein.

6.7 Typ und Lage der Bildgüteprüfkörper (BPK)

6.7.1 Allgemeines

Die Güte von Durchstrahlungsaufnahmen muss durch Anwendung von Bildgüteprüfkörpern (BPK) nach ISO 19232-5 und ISO 19232-1 oder ISO 19232-2 nachgewiesen werden. BPK nach ASTM E747 oder JIS Z2306 dürfen stattdessen verwendet werden, wenn ihre Werkstoffgruppe besser zum Prüfobjekt oder zur Prüfkomponente passt. Tabellen zur Umrechnung der Drahtnummern von ASTM E 747, JIS Z2306 und ISO 19232-1 können diesen Dokumenten entnommen werden. Nach Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern dürfen auch andere BPK mit der gleichen Strahlenschwächung wie der Prüfgegenstand und den gleichen Maßen, wie sie in ISO 19232-1 oder ISO 19232-2 festgelegt sind, verwendet werden.

6.7.2 Doppeldraht-BPK

Nach dem in Anhang C beschriebenen Verfahren ist ein Referenzbild erforderlich, um die Basis-Ortsauflösung des digitalen Detektorsystems (SR_b^{detector}) zu überprüfen. Für diesen Fall muss der Doppeldraht-BPK (ISO 19232-5) direkt auf dem digitalen Detektor positioniert werden. Die Basis-Ortsauflösung oder der Doppeldraht-BPK-Wert muss bestimmt werden, um zu überprüfen, ob die eingesetzte Gerätetechnik die Anforderungen nach Tabelle B.13 und Tabelle B.14 in Abhängigkeit von der durchstrahlten Materialdicke erfüllt. Für eine Doppelwand-/Doppelbild-Auswertung muss die Basis-Ortsauflösung des Detektors (SR_b^{detector}) den Werten aus Tabelle B.13 und Tabelle B.14 entsprechen, die auf der Grundlage gewählt werden, dass die durchstrahlte Dicke der doppelten Nenndicke einer Wand entspricht.

Die Verwendung eines Doppeldraht-BPK (ISO 19232-5) auf dem Prüfgegenstand für Durchstrahlungsaufnahmen ist erforderlich, wenn die geometrische Vergrößerungstechnik (siehe 7.7) mit $v > 1,2$ angewendet wird. Der Wert der Basis-Ortsauflösung, gemessen im digitalen Bild (siehe Anhang C), darf die in Tabelle B.13 oder Tabelle B.14 in Abhängigkeit der durchstrahlten Materialdicke angegebenen Höchstwerte von SR_b^{image} nicht überschreiten. Automatische DDA-Prüfsysteme dürfen einen Detektionsmodus in Form einer kontinuierlichen Bewegung (z. B. Translation oder Rotation) oder einer Start-Stopp-Erfassung verwenden. Die Bildunschärfe von sich bewegenden oder Start-Stopp-Systemen darf die Werte von Tabelle B.13 oder Tabelle B.14 nicht überschreiten.

Für die Einbild-Auswertung wird die einfache Wanddicke als durchstrahlte Werkstoffdicke verwendet. Für eine Doppelwand-/Doppelbild-Auswertung nach 7.1.6 und 7.1.7 (Bild 11 oder Bild 12) mit dem Doppeldraht-BPK auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Rohres wird der Rohrdurchmesser als Wert b für die Bestimmung von $f_{\min}$ und für die Bestimmung der notwendigen Basis-Ortsauflösung (SR_b^{image}) aus Tabelle B.13 und Tabelle B.14 verwendet. Die Basis-Ortsauflösung des Detektors (SR_b^{detector}) für eine Doppelwand-/Doppelbild-Auswertung muss den Werten aus Tabelle B.13 und Tabelle B.14 basierend auf der doppelten Nenndicke als durchstrahlte Werkstoffdicke entsprechen.

Der Doppeldraht-BPK muss mit einer Neigung von einigen Grad (2° bis 5°) gegenüber den Zeilen oder Spalten des digitalen Bildes angeordnet werden.

In alten Fällen, in denen der BPK mit einem Winkel von 45° zu den digitalen Zeilen oder Spalten angeordnet wurde, muss der erhaltene BPK-Wert um einen Wert von eins reduziert werden.

6.7.3 Draht- oder Stufe/Loch-BPK

Die Kontrastempfindlichkeit der digitalen Bilder muss durch Anwendung der BPK entsprechend der jeweiligen Anwendung nach Tabelle B.1 bis Tabelle B.12 (siehe auch ISO 19232-1 oder ISO 19232-2) nachgewiesen werden.

Die eingesetzten Draht- oder Stufe/Loch-BPK müssen auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstands, im Zentrum des auszuwertenden Prüfbereichs (AoI), auf dem Grundwerkstoff neben der Schweißnaht angeordnet werden. Die Identifizierungssymbole und, falls benutzt, das Bleizeichen „F“ dürfen nicht in dem WAE liegen, es sei denn, die geometrische Konfiguration lässt nichts Anderes zu. Die BPK müssen sich in engem Kontakt zur Oberfläche des Prüfgegenstands befinden. Sie müssen in einem Bereich gleichmäßiger Dicke liegen, der durch einen gleichmäßigen Grauwert (Mittelwert) im digitalen Bild charakterisiert ist.

Je nach verwendetem BPK-Typ müssen die Fälle a) und b) betrachtet werden:

- a) Wenn ein Draht-BPK verwendet wird, müssen die Drähte senkrecht zur Schweißnaht ausgerichtet werden, und durch seine Lage muss sichergestellt sein, dass mindestens 10 mm der Drahtlänge in einem Bereich mit gleichmäßigem Grauwert GV oder SNR_N liegen, wobei dieser Bereich üblicherweise in der Schweißnaht benachbarten Grundwerkstoff liegt. Bei Durchstrahlungsaufnahmen nach 7.1.6 und 7.1.7

(Bild 11 und Bild 12) sollte der BPK mit den Drähten quer zur Rohrachse gelegt werden; die Projektion der Drähte sollte nicht in das Bild der Schweißnaht hineinragen. Bei äußeren Durchmessern des Rohres kleiner als 50 mm darf die sichtbare Drahtlänge kürzer als 10 mm sein. In diesem Fall muss die sichtbare Drahtlänge $\geq 20\%$ des äußeren Durchmessers des Rohres betragen.

- b) Wenn ein Stufe/Loch-BPK verwendet wird, muss er so gelegt werden, dass sich das geforderte Loch dicht an der Schweißnaht befindet.

Bei Einwanddurchstrahlungsaufnahmen nach 7.1.4 und 7.1.5 (Bild 5 bis Bild 10) darf der verwendete BPK entweder auf die der Strahlenquelle (Tabelle B.1 bis Tabelle B.4 verwenden) oder die dem Detektor zugewandte Seite gelegt werden. Wenn die BPK nicht auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite angeordnet werden können, werden sie auf die dem Detektor zugewandte Seite gelegt, und die Bildgüte muss mindestens einmal unter den gleichen Bedingungen durch eine Vergleichsaufnahme mit einem BPK auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite und einem zweiten BPK auf der dem Detektor zugewandten Seite bestimmt werden. Werden Filter vor dem Detektor verwendet, muss der BPK vor dem Filter angeordnet werden.

Bei Doppelwanddurchstrahlungsaufnahmen nach 7.1.6 und 7.1.7 (Bild 11 und Bild 12) muss der verwendete BPK auf die der Strahlenquelle zugewandte Seite gelegt werden (Tabelle B.5 bis Tabelle B.8 verwenden). Nach Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern darf der BPK auf der dem Detektor zugewandten Seite angeordnet werden (Tabelle B.9 bis Tabelle B.12 verwenden).

Bei Doppelwanddurchstrahlungsaufnahmen nach 7.1.8 (Bild 13 bis Bild 16) darf der verwendete BPK auf der dem Detektor zugewandten Seite angeordnet werden. Wenn der BPK auf der dem Detektor zugewandten Seite gelegt wird, ist auf Tabelle B.9 bis Tabelle B.12 Bezug zu nehmen.

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

Die Identifizierungszeichen und, falls benutzt, das Bleizeichen „F“ dürfen nicht in dem WAE liegen, es sei denn, die geometrische Konfiguration lässt nichts Anderes zu.

Wenn sichergestellt wurde, dass digitale Durchstrahlungsaufnahmen von gleichartigen Prüfgegenständen und -bereichen mit identischer Aufnahme- und Verarbeitungstechnik hergestellt werden und keine Unterschiede in der Bildgütezahl wahrscheinlich sind, braucht die Bildgüte nicht für jede digitale Aufnahme nachgewiesen zu werden. In diesem Falle sollte der Umfang des Bildgütenachweises zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

Bei Durchstrahlungsaufnahmen von Rohren mit einer zentral angeordneten Strahlenquelle sollten mindestens drei BPK gleichmäßig auf dem Umfang verteilt werden. Die digitale(n) Durchstrahlungsaufnahme(n), die Bilder der BPK enthalten, werden dann als repräsentativ für den gesamten Umfang angesehen.

6.8 Auswertung der Bildgüte

Die digitalen Bilder müssen auf einem Monitor ausgewertet werden. Der Monitor und die Betrachtungsbedingungen müssen die Anforderungen von 7.10 erfüllen.

Bei der Prüfung^{N2} der Abbildung des Draht- oder Stufe/Loch-BPK auf der Durchstrahlungsaufnahme muss die Nummer des kleinsten erkennbaren Drahtes oder Loches bestimmt werden. Die Abbildung eines Drahtes gilt als zulässig, wenn dieser in einem Bereich gleichmäßiger Grauwerte auf mindestens 10 mm Länge

^{N2} Nationale Fußnote: Mit Prüfung ist hier die Auswertung der Abbildung des Draht- oder Stufe/Loch-BPK gemeint.

zusammenhängend eindeutig sichtbar ist, üblicherweise in der WEZ nahe der Schweißnaht [in Bezug auf Rohre mit kleineren Durchmessern siehe 6.7.3 a)]. Wenn beim Stufe/Loch-BPK zwei Löcher mit gleichem Durchmesser vorliegen, müssen beide erkennbar sein, damit die Stufe als sichtbar angesehen werden kann. Siehe auch 6.7.3 a), für die Ausnahme der DWDI-Auswertung von kleinen Rohren.

Die Auswertung des Doppeldraht-BPK muss mit der Profilkfunktion des Bildverarbeitungssystems im Bild mit linearen oder linearisierten Grauwerten erfolgen, wie in Anhang C und ISO 19232-5 angegeben.

Die Bildgüte muss im unbearbeiteten Bild, das auch Rohbild genannt wird, bestimmt werden. Als unbearbeitetes (Roh-)Bild wird das aufgenommene Bild nach Bildkorrektur (Kalibrierung) durch Offset- und „Weiß“-Bilder und/oder Firmware-Korrekturen betrachtet. Werden die Bilder nach Anwendung von digitalen Filtern ausgewertet, müssen die Draht- oder Stufe/Loch-BPK bewertet werden, und die erzielten Werte müssen die Anforderungen der entsprechenden Tabellen in Anhang B erfüllen.

Die erhaltene Bildgütezah (BZ)^{N3} muss im Prüfbericht der Durchstrahlungsprüfung angegeben werden. In jedem Fall muss der Typ des verwendeten Prüfkörpers deutlich erkennbar sein, wie er auf dem BPK sichtbar ist.

6.9 Mindestbildgütezahlen

Tabelle B.1 bis Tabelle B.14 zeigen die Mindestbildgütezahlen für metallische Werkstoffe. Für andere Werkstoffe dürfen diese oder entsprechende andere Anforderungen zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden und müssen im Bericht vermerkt werden. Die Anforderungen müssen nach ISO 19232-4 bestimmt werden.

Falls Ir 192 oder Se 75 als Strahlenquellen für Kupferbasislegierungen, Stahl oder Nickelbasislegierungen verwendet werden, dürfen Bildgütezahlen schlechter als jene in Tabelle B.1 bis Tabelle B.12 in Ausnahmefällen wie folgt akzeptiert werden. Dies muss im Bericht vermerkt werden.

Für DWDI-Techniken(en: double wall, double image, DWDI) dürfen die Mindestbildgütezahlen aus Tabelle B.5 bis Tabelle B.12 sowohl Prüfklasse A als auch Prüfklasse B ($w = 2t$):

- $10\text{ mm} < w \leq 25\text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezah verringert oder um eine Stufe/Loch-Bildgütezah erhöht werden für Ir 192;
- $w \leq 12\text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezah verringert oder um eine Stufe/Loch-Bildgütezah erhöht werden für Se 75.

Für Einwand/Einbild- und Doppelwand ($w = 2t$)/Einbild-Techniken dürfen die Mindestbildgütezahlen aus Tabelle B.1, Tabelle B.2, Tabelle B.9 und Tabelle B.10, Prüfklasse A:

- $10\text{ mm} < w \leq 24\text{ mm}$: um zwei Draht-Bildgütezahlen verringert oder um zwei Stufe/Loch-Bildgütezahlen erhöht werden für Ir 192;
- $24\text{ mm} < w \leq 30\text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezah verringert oder um eine Stufe/Loch-Bildgütezah erhöht werden für Ir 192;
- $w \leq 24\text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezah verringert oder um eine Stufe/Loch-Bildgütezah erhöht werden für Se 75.

^{N3} Nationale Fußnote: In deutschen Normen wird der Begriff „Bildgütezah“ (BZ) für den englischen Begriff „IQI value“ (formal übersetzt: Bildgüteprüfkörperwert) verwendet, um die erreichte Bildqualität zu quantifizieren.

Für Einwand/Einbild- und Doppelwand/Einbild-Techniken dürfen Mindestbildgütezahlen aus Tabelle B.3, Tabelle B.4, Tabelle B.11 und Tabelle B.12, Prüfklasse B:

- $10 \text{ mm} < w \leq 40 \text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezahl verringert oder um eine Stufe/Loch-Bildgütezahl erhöht werden für Ir 192;
- $w \leq 20 \text{ mm}$: um eine Draht-Bildgütezahl verringert oder eine Stufe/Loch-Bildgütezahl erhöht werden für Se 75.

Bei Se 75 und durchstrahlten Dicken unter 12 mm kann es schwierig sein, die für die Prüfklasse B geforderten Bildgütezahlen zu erreichen. Der Verlust an Empfindlichkeit muss durch eine Erhöhung des Mindest-Grauwerts und des SNR_N für die CR bzw. des SNR_N für die DDA-Technik kompensiert werden. Die Erhöhung des SNR_N muss $> 1,4$ sein.

Wenn die Bildgütezahlen bei Se 75 und durchstrahlten Dicken unter 12 mm nicht wie beschrieben erreicht werden können, müssen die geforderten Bildgütezahlen und Prüfbedingungen auf der Grundlage von ISO 19232-4 zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden.

6.10 Personalqualifizierung

Personal, das zerstörungsfreie Prüfungen nach diesem Dokument durchführt, muss nach ISO 9712 oder einem gleichwertigen international oder national anerkannten Zertifizierungssystem auf einer geeigneten Stufe für den relevanten Industriesektor für die Durchstrahlungsprüfung zertifiziert sein. Das Personal muss einen Nachweis über eine zusätzliche Ausbildung in digitaler industrieller Radiologie erbringen (siehe Lehrpläne in ISO/TS 25107:2019, Abschnitt 5).

7 Empfohlene Vorgehensweise

7.1 Aufnahmeanordnungen

7.1.1 Allgemeines

Nach Möglichkeit müssen Durchstrahlungstechniken nach 7.1.2 bis 7.1.9 (Bild 1 bis Bild 19) angewendet werden.

Die Ellipsentechnik (Doppelwand und Doppelbild) nach 7.1.6 (Bild 11) sollte nur für äußere Durchmesser $D_e \leq 100 \text{ mm}$ und Wanddicken $t \leq 8 \text{ mm}$ und Schweißnahtbreiten $\leq D_e/4$ angewendet werden. Zwei um 90° versetzte Aufnahmen sind ausreichend für $t/D_e < 0,12$, anderenfalls werden drei Ellipsenaufnahmen benötigt. Der Abstand zwischen den beiden abgebildeten Schweißnähten muss ungefähr einer Schweißnahtbreite entsprechen. Aufgrund des höheren Dynamikbereichs digitaler Detektoren gegenüber der Filmradiographie dürfen D_e und t die angegebenen Werte um 10 % überschreiten.

Wenn es nicht möglich ist, bei $D_e \leq 100 \text{ mm}$ eine Ellipsentechnik durchzuführen, darf die Senkrechtechnik nach 7.1.7 (Bild 12) angewendet werden. In diesem Fall sind drei um 120° oder 60° gegeneinander versetzte Aufnahmen erforderlich, je nach den räumlichen Zugänglichkeiten um das Rohr herum.

Bei den Aufnahmeanordnungen nach 7.1.8 (Bild 13 und Bild 14) muss die Neigung des Strahls so gering wie möglich und so gerichtet sein, dass eine Überlagerung der beiden Abbildungen vermieden wird. Der Abstand Strahlenquelle – Prüfgegenstand, f , für die Technik nach Bild 13 und Bild 14 muss nach 7.6 so klein wie möglich sein. Der BPK muss zusammen mit einem Bleibuchstaben „F“ auf die dem Detektor zugewandten Seite detektornah platziert werden.