Auswahlkriterien und Klassifizierung digitaler Detektoren für die technische Radiographie

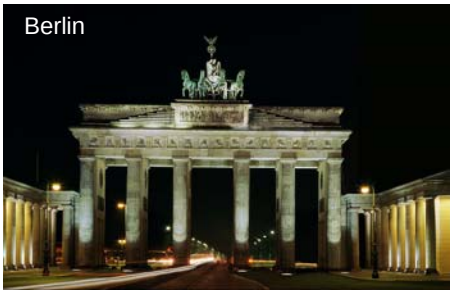
Uwe ZSCHERPEL*, Uwe EWERT*, Sylke BÄR*, Mirko JECHOW*
* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
(Fachbereich 8.3, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin)

Kurzfassung

Der Ersatz von Röntgenfilmen durch digitale Detektoren wurde in den letzten 10 Jahren kontrovers diskutiert. Nach der Erfolgsgeschichte der digitalen Fotografie und der fast vollständigen Ablösung der Filmtechnik in der Fotografie, wurde erwartet, dass sich der Übergang von der Filmradiographie zur digitalen Radiographie schnell vollziehen sollte. Dieser Trend ist derzeit so noch nicht zu beobachten. Zur mobilen Prüfung wird in Europa immer noch vorrangig die Filmradiographie und nur teilweise die Speicherfolientechnik eingesetzt. Im Bereich der stationären Prüftechnik haben sich die Martixdetektoren weitgehend durchgesetzt, wobei es auch hier noch alternative Detektoren, wie Bildverstärker und Fluoroskope gibt. Mit Einführung der DIN EN ISO 17636-2 wird erstmalig geregelt, wie man einen digitalen Detektor für die technische Radiographie auswählen soll, um im Vergleich zur Filmradiographie eine äquivalente Bildqualität zu erhalten. Hauptforderung ist die Basis-Ortsauflösung und das erreichbare normierte Signal-zu-Rauschverhältnis. Auch die Empfindlichkeit gegenüber Streustrahlung (µeff) ist bei der Auswahl der Röhrenspannung zu berücksichtigen. Diese Parameter bestimmen, ob die geforderte Bildgüte erreicht werden kann. Außer diesen essentiellen Parametern gibt es noch weitere Parameter, die wichtig für den praktischen Einsatz sind, wie Effizienz, erreichbarer Objektumfang und Lebensdauer. Die Messung dieser Parameter wird in anderen Standards beschrieben. Es wird ein Überblick gegeben, welche Parameter zum praktischen Einsatz wichtig sind und wie sie ermittelt werden.

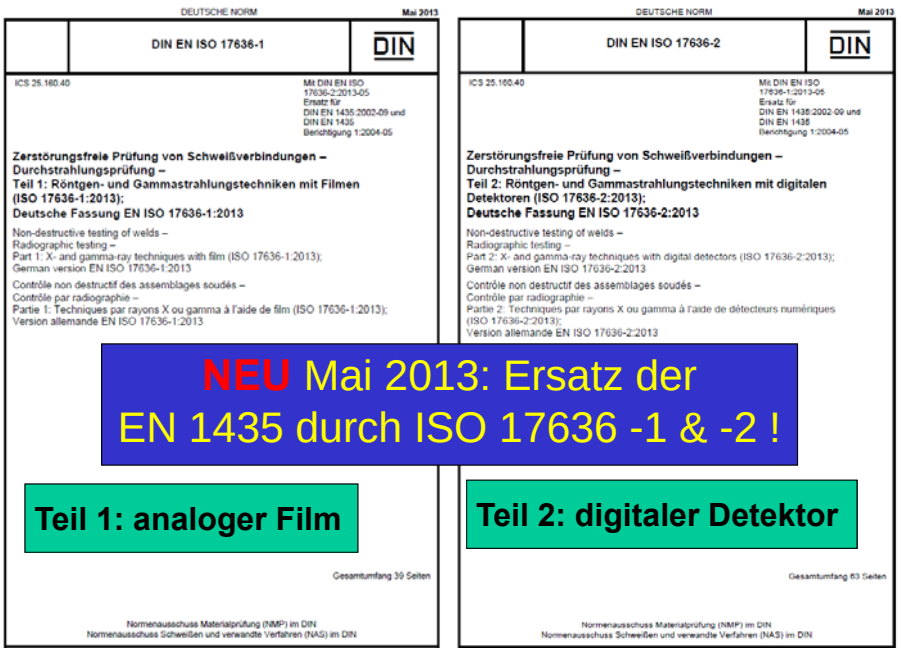
Lizenz: http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/

DGZfP – Jahrestagung Dresden, 6. – 8. Mai 2013



Auswahlkriterien und Klassifizierung digitaler Detektoren für die technische Radiographie

Uwe Zscherpel, Uwe Ewert, Sylke Bär, Mirko Jechow
BAM Fachbereich 8.3 “Radiologische Verfahren”



DEUTSCHE NORM Mai 2013

DIN EN ISO 17636-1 DIN

ICS 25.160.40

Mit DIN EN ISO 17636-2:2013-05
Ersatz für
DIN EN 1435:2002-09 und
DIN EN 1435
Berichtigung 1:2004-05

Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Durchstrahlungsprüfung – Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit Filmen (ISO 17636-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 17636-1:2013

Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 1: X- and gamma-ray techniques with film (ISO 17636-1:2013); German version EN ISO 17636-1:2013

Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par radiographie – Partie 1: Techniques par rayons X ou gamma à l'aide de film (ISO 17636-1:2013); Version allemande EN ISO 17636-1:2013

Gesamtumfang 39 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) im DIN

DEUTSCHE NORM Mai 2013

DIN EN ISO 17636-2 DIN

ICS 25.160.40

Mit DIN EN ISO 17636-1:2013-05
Ersatz für
DIN EN 1435:2002-09 und
DIN EN 1435
Berichtigung 1:2004-05

Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Durchstrahlungsprüfung – Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren (ISO 17636-2:2013); Deutsche Fassung EN ISO 17636-2:2013

Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors (ISO 17636-2:2013); German version EN ISO 17636-2:2013

Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par radiographie – Partie 2: Techniques par rayons X ou gamma à l'aide de détecteurs numériques (ISO 17636-2:2013); Version allemande EN ISO 17636-2:2013

Gesamtumfang 63 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) im DIN

NEU Mai 2013: Ersatz der EN 1435 durch ISO 17636 -1 & -2 !

Teil 1: analoger Film

Teil 2: digitaler Detektor

Historisches

Prüfung von Schweißverbindungen mit Durchstrahlungstechnik

Normentwicklung:

ab 1935: DIN 1914 (2 Seiten), Berthold/Vaupel

1954 - 1988: DIN 54 111 (16 Seiten), Vaupel/Mundry/Schnitger

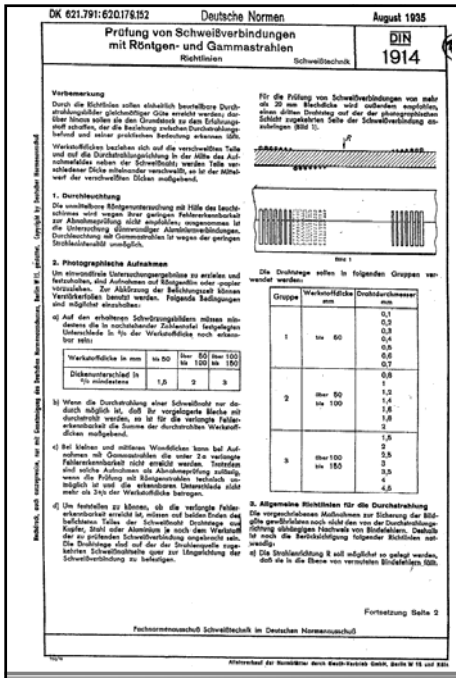
1997 - 2004: DIN EN 1435 (32 Seiten), Schnitger/Heidt/Ewert

ab 2013: DIN EN ISO 17636 (Teil 1 Film 39 Seiten, Teil 2 Digital 63 S.)
Heidt/Ewert/Zscherpel

Problem mit Ausbildung:

100 Seiten nicht in einer Woche zu schaffen, Aufteilung der Verfahren in
RT-F (Film) Stufe 1 und 2
RT-D (Digital) Stufe 1 und 2 aber RT Stufe 3: Film & Digital

1935


DK 621.791:620.176.152 Deutsche Normen August 1935

Prüfung von Schweißverbindungen mit Röntgen- und Gammastrahlen
Richtlinien
Schweißtechnik

DIN 1914

Vorbemerkung

1. Durchleuchtung

2. Photographische Aufnahmen

Fortsetzung Seite 2

Fachnormenausschuß Schweißtechnik im Deutschen Normenausschuß

Seite 2 DIN 1914

4. Besondere Richtlinien für die Durchstrahlung von Schweißverbindungen

6. Aufnahmeangaben

Auswahlkriterien digitaler Filmersatz-Systeme

Beispiele:

Speicherfoliensysteme (CR) und digitale Matrixdetektoren (DDA)

Prüfnorm für die Radiographie mit Speicherfolien und DDAs

- Die neue **ISO 17636-2** basiert auf einer Serie von ASTM- und CEN-Standards zur digitalen Radiologie mit Matrixdetektoren (DDA) und Speicherfolien (CR).
- In der neuen **ISO 17636-2** (ersetzt die EN 1435) werden dieselben Drahterkennbarkeiten und Stufe-Loch-Erkennbarkeiten wie bei der Filmradiographie gefordert (**ISO 17636-1, EN 462-3, EN 1435, ISO 19232-3)**.
- **Neu:** Referenzaufnahmen werden gefordert, um die Verwendbarkeit von digitalen Detektoren nachzuweisen.
- Neue **Ausnahmeregeln für die Gammaradiographie** werden eingeführt.
- Die Angabe der **maximal zulässigen Grenzenergie** (Film) wurde für die digitale Radiographie zu einer Empfehlung umformuliert.
- Die Anforderungen an das **zuerreichende SNR_N** wurden erhöht (im Vergleich zu EN 14784-1, -2: 2005 für Speicherfolien).
- Statt SNR_N kann bei Speicherfolien auch der minimal zu erreichende **Grauwert** spezifiziert werden. **Belichtungsdiagramme** basieren auf diesem Konzept.
- 3 **Kompensationsprinzipe** werden für digitale Detektoren berücksichtigt **(NEU!).**

Einsatz digitaler Filmersatz-Systeme vor Ort

Schiffsbau:
Meyerwerft Papenburg

7

Geforderte Draht und Stufe-Loch BPK-Erkennbarkeit

Bildgütezahlen wurden von EN1435 und EN 462 übernommen

Eckpunkte in ISO 17636:

- **Gleiche Bildgüteanforderungen** wie in EN 1435 und ISO 19232-3
- **Neue Ausnahmeregeln für Isotope bei Doppelwand-prüfung:**
  - **10 mm < w < 25 mm : 1 Draht oder Stufe-Lochwert weniger für Ir-192**
  - **5 mm < w < 12 mm: 1 Draht oder Stufe-Lochwert weniger für Se-75**

Tabellen B.1 und B.2 — Einwandige Durchstrahlung; BPK strahlerseitig

Tabelle B.1 — Drahtsteg-BPK | **Tabelle B.2 — Stufe/Loch-BPK**

Tabellen B.3 und B.4 — Einwandige Durchstrahlung; BPK strahlerseitig

Table B.3 — Drahtsteg-BPK | **Table B.4 — Stufe/Loch-BPK**

Bildgüteklasse A

Bildgüteklasse B Nenndicke t mm				BZ [a]
		bis	1,5	W 19
über	1,5	bis	2,5	W 18
über	2,5	bis	4	W 17
über	4	bis	6	W 16
über	6	bis	8	W 15
über	8	bis	12	W 14
über	12	bis	20	W 13
über	20	bis	30	W 12
über	30	bis	35	W 11
über	35	bis	45	W 10
über	45	bis	65	W 9
über	65	bis	120	W 8
über	120	bis	200	W 7
über	200	bis	350	W 6
über	350			W 5

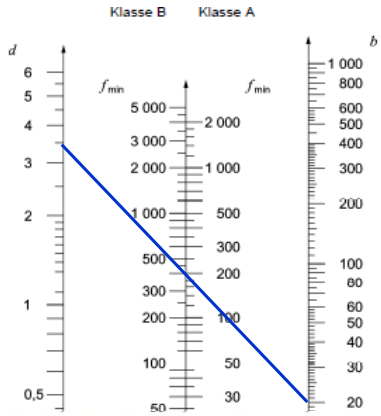
[a] Wenn ^{192}Ir-Strahler verwendet werden, sind schlechtere BPK-Werte als die angegebenen Werte wie folgt zulässig:
20 mm bis 40 mm: bis 1 BZ.

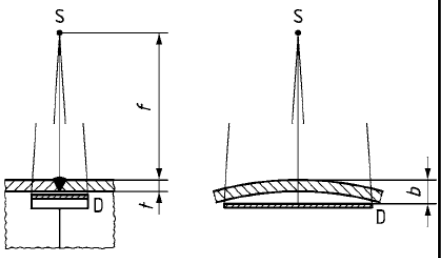
Bildgüteklasse A

Bildgüteklasse B Nenndicke t mm				BZ [a]
		bis	2,5	H 2
über	2,5	bis	4	H 3
über	4	bis	8	H 4
über	8	bis	12	H 5
über	12	bis	20	H 6
über	20	bis	30	H 7
über	30	bis	40	H 8
über	40	bis	60	H 9
über	60	bis	80	H 10
über	80	bis	100	H 11
über	100	bis	150	H 12
über	150	bis	200	H 13
über	200	bis	250	H 14

[a] Wenn ^{192}Ir-Strahler verwendet werden, sind schlechtere BPK-Werte als die angegebenen Werte wie folgt zulässig:
20 mm bis 40 mm: bis 1 BZ.

Mindestabstand f_{min}





b) with planar detectors

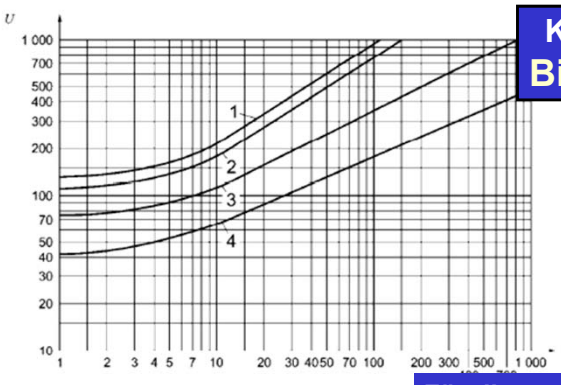
Klasse A: a = 7,5
Klasse B: a = 15

$$\frac{f}{d} = a \cdot \frac{b}{t^{1/3}}$$

d Größe des Brennflecks bzw. der jeweiligen Strahlenquelle, in mm
b maximaler Abstand zwischen Detektor und der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Prüfgegenstands, in mm

Bild 21 — Leiterdiagramm zur Ermittlung des Mindestabstands Strahlenquelle – Prüfgegenstand f_{min} in Bezug auf den Abstand Prüfgegenstand – Detektor und die Größe der Strahlenquelle

Wahl der Röhrenspannung und Einfluss des μ_{eff}



Kompensationsprinzip I:
Bildgüte = *f* (μ_{eff} ▪ SNR)

Diagramm zur maximalen Röhrenspannung gilt nur für Film!

Key
1 copper/nickel and alloys
2 steel
3 titanium and alloys
4 aluminium and alloys
w penetrated thickness in mm
U X-ray tube voltage in kV

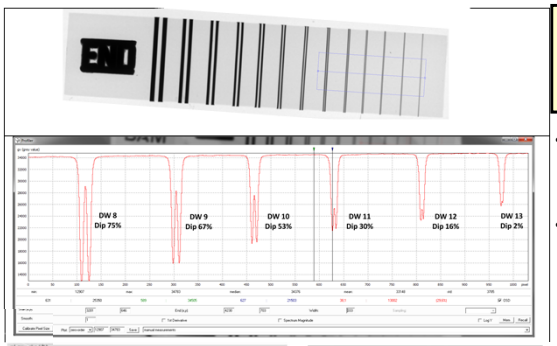
Für die maximale Röhrenspannung von digitalen Detektoren gilt :

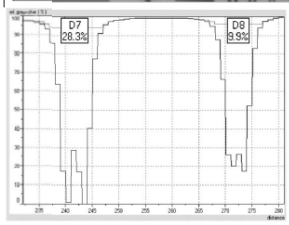
- **CR, Klasse B: kV um 20% absenken**
- **Gut kalibrierte DDAs: kV anheben**

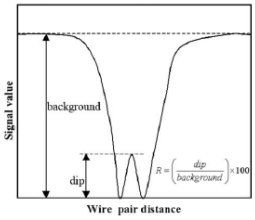
10

Messung der Basisortsauflösung zur Detektorklassifizierung

Doppeldraht-BPK, 90 kV, 1m Abstand, kleiner Fokus







Note—Schematic of the measurement is shown at lower right.

FIG. 3 Wire-Pair Image Analysis for Calculation of Basic Spatial Resolution

Doppeldraht-BPK
EN 462-5, ISO 19232-5, ASTM E 2002

- Bestimmung der Basisortsauflösung ist nicht für jede Aufnahme erforderlich.
- Die Detektorunschärfe u_i oder Detektor-Basisortsauflösung SR_b muss durch eine Referenzaufnahme mit Doppeldraht-BPK gemessen werden.
- Die Basisortsauflösung SR_b ergibt sich aus der Gesamt-Unschärfe u_T wie folgt:

$$SR_b = \frac{1}{2} \cdot u_{total}$$

$$u_{total} = \sqrt[2]{u_{detector}^2 + u_{geometry}^2}$$

Auswahl des geeigneten Detektors

Table B.13 — Maximum image unsharpness for all techniques Class A

Penetrated thickness w[a] mm	Im
$w \leq 1{,}0$	
$1{,}0 < w \leq 1{,}5$	
$1{,}5 < w \leq 2$	
$2 < w \leq 5$	
$5 < w \leq 10$	
$10 < w \leq 25$	
$25 < w \leq 55$	
$55 < w \leq 150$	
$150 < w \leq 250$	
$w > 250$	

[a] For double wall technique, single in
[b] The IQI reading for system selectio is used the IQI reading shall be perf

Table B.14 — Maximum image unsharpness for all techniques Class B

Image Quality Class B Duplex wire ISO 19232-5		
Penetrated thickness w[a] mm	Minimum IQI value and maximum unsharpness (ISO 19232-5)[b] mm	Maximum basic spatial resolution in mm (equivalent to wire thickness and spacing)[b]
$w \leq 1{,}5$	D 13+ 0,08	0,04
$1{,}5 < w \leq 4$	D 13 0,10	0,050
$4 < w \leq 8$	D 12 0,125	0,063
$8 < w \leq 12$	D 11 0,16	0,08
$12 < w \leq 40$	D 10 0,20	0,10
$40 < w \leq 120$	D 9 0,26	0,13
$120 < w \leq 200$	D 8 0,32	0,16
$w > 200$	D 7 0,40	0,20

[a] For double wall technique, single image, the nominal thickness t shall be used instead of the penetrated thickness w.

[b] The IQI reading for system selection (see Annex C) applies for contact radiography. If geometric magnification technique (see 7.7) is used the IQI reading shall be performed in the corresponding reference radiographs.

NOTE "D 13+" is achieved if the duplex wire pair D 13 is resolved with a dip larger than 20 %.

Kompensationsprinzip (II) in ISO 17636-2 falls Detektor-Unschärfe zu hoch ist

Kompensiere fehlende Ortsauflösung durch erhöhte Einzeldraht-Erkennbarkeit:

- ***Eine geringere Ortsauflösung, z.B. ein zu geringer Doppeldrahtwert (D) kann durch einen größeren Wert bei der Drahterkennbarkeit (W) kompensiert werden.***
- Maximal zwei (oder drei) Bildgütewerte dürfen gegeneinander kompensiert werden.

Prüfklasse B
10 mm Wanddicke

	Doppeldrahtwert	Einzeldrahtwert
Nicht OK	D12	W13
Gefordert:	D11	W14
OK:	D10	W15
OK	D 9	W16
Bedingt OK	D8	W17

Klassifizierung von Speicherfoliensystemen (CR) durch BAM Baumuster-Zertifikate (SR_b und Speed)

1 Seite:

BAM
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

CR-Speicherfolien-System

Zertifikat-Nr.: BAM/ZBA/009/08

2. Neufassung

Hiermit wird von der BAM-Zertifizierungsstelle bescheinigt, dass das

Industrielle CR-Speicherfolien-System

mit der Bezeichnung

HD-CR 35 NDT

bei Verwendung von Speicherfolien DÜRR NDT HD-IP Plus

des Zertifikatsinhabers

DÜRR NDT GmbH & Co. KG
74321 Bietigheim-Bissingen
Deutschland

die Anforderungen der höchsten Systemklasse IP 1 / 40 nach EN 14784-1 und IP Special / 40 nach ASTM E 2446 für industrielle Computer-Radiographie mit Phosphor-Speicherfolien in der Zerstörungsfreien Prüfung erfüllt, wenn die Belichtungsdosis von 4,8 mGy nicht unterschritten wird. Diese Dosis entspricht einer CEN-Empfindlichkeit und ISO-Speed von 200 bei einer Pixelgröße von 20 µm. Die erreichbare maximale Basisortsauflösung beträgt 40 µm. Andere Systemklassen (CEN: IP 2 / 40 bis IP 6 / 40; ASTM: IP 1 / 40 bis IP 10 / 40) ergeben sich bei geringeren Belichtungsdosiswerten (siehe Prüfbericht Nr. VIII.3/7159 vom 2010-12-09).

Die Zertifizierung erfolgt auf der Grundlage des Vertrages Nr. BAM-ZBA-0001-2006-Dürr, 1. Neufassung, entsprechend den Anforderungen der DIN EN 45011 (1998) und beinhaltet eine Baumusterprüfung (BAM-Zertifizierungssystem I).

Die von der BAM zertifizierten Produkte dürfen mit dem BAM-Zertifizierungszeichen „BAM Baumustergeprüft" bzw. "BAM Design-type tested" in Verbindung mit der Zertifikatsnummer gekennzeichnet werden.

Das Zertifikat ist gültig bis zum **31. Dezember 2012**.

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, **2011-01-01**

Dr. W. Schmidt
BAM-Zertifizierungsstelle
Ausfertigungsverfasser 1. Zertifizierungsstelle

Dr. U. Ewert
Bewerter
2. BAM-Zertifizierungsstelle

Die BAM-Zertifizierungsstelle ist eine durch die DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) anerkannte Stelle nach DIN EN 45011:1998 akreditierte Zertifizierungsstelle. Die Akreditierung gilt für die in der Urkunde D-PL-18-08-00 aufgeführten Zertifizierungsbereiche.

Zertifikate dürfen nur in vollem Wortlaut und ohne Zusätze veröffentlicht werden. Für veränderte Wiedergabe und Auszüge ist vorher die widerrufliche schriftliche Einwilligung der BAM einzuholen. Rechtsverbindlich ist die deutschsprachige Fassung. Gerichtsstand ist Berlin.

Sicherheit in Technik und Chemie

ZERTIFIKAT

17 Seiten:

BAM
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Industrial Computed Radiography with storage phosphor imaging plates – results of a classification of the system Dürr HD-CR 35 NDT scanner with blue HD-IP Plus imaging plates (HD-IP+)

BAM reference	BAM VIII.3 / 7159
Report date	December 9th 2010
Customer	Dürr NDT GmbH & Co. KG Höpfigheimer Straße 22 D-74321 Bietigheim-Bissingen Germany
Reference	Contract No. BAM ZBA-0001-2006-Dürr
Test samples	"HD-CR 35 NDT" scanner, serial number A212306002, 6 blue imaging plates "HD-IP+", 10x24 cm², batch "2009-10"
Receipt of samples	November 6th 2010
Test date	November 2010
Test location	BAM Berlin
Test procedure	Measurements for system classification of the CR system HD-CR 35 NDT scanner and HD-IP+ imaging plates, evaluation of image quality, CEN speed, basic spatial resolution and IP system classes depending on exposure dose according to the standards EN 14784-1 and ASTM E 2446 and E 2445
Test specifications	according to EN 14784-1 and ASTM E 2445 and E 2446

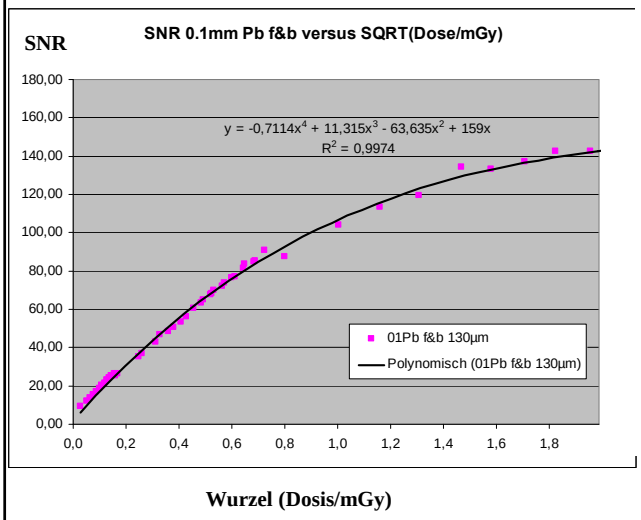
This test report consists of page 1 to 17 and enclosures 16 figures.

This test report may only be published in full and without any additions. A reasonable permission in writing has to be obtained from BAM for any amended reproduction of this certificate or the publication of any excerpts. The test results refer exclusively to the tested materials.
In case a German version of the test report is available, exclusively the German version is binding.

Safety and reliability in chemical and materials technologies

TEST REPORT

Beispiel: CR-System-Klassifikation (SR_b = 130 µm)



Andere System-begrenzungen als bei Film:

- **Basisortsauf-lösung** durch Folie, Scanner & Scanparameter bestimmt.
- Strukturrauschen begrenzt **SNR.**

15

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung radiologischer Verfahren — **Auswahlkriterien und Klassifizierung digitaler Detektoren** — Mai 2013 — BAM

Detektorklassifizierung: Beispiel YXLON/PerkinElmer

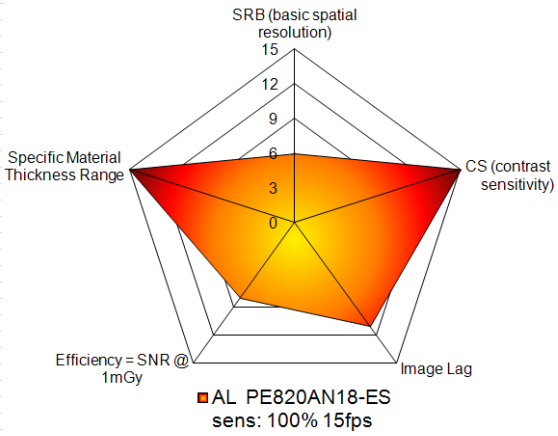
Parameter:

- SR_b
- SM Dickenbereich
- Effizienz
- „Image Lag“
- Kontrastempfindlichkeit

Effizienz: Prüfgeschwindigkeit

SR_b: effektive Pixelgröße, zur Auswahl des Wanddickenbereiches nach ISO 17636

AL PE820AN18-ES sens: 100% 15fps				high: 15; low: 0
Parameter	unit	Quality	measured	1,25992105
SRB (basic spatial resolution)	µm	6	238,48	
CS (contrast sensitivity)	%	15	0,058	
Image Lag	%	11	0,26	
Efficiency = SNR @ 1mGy	-	8	648	
Specific Material ∑Thickness Range	mm	15	135	

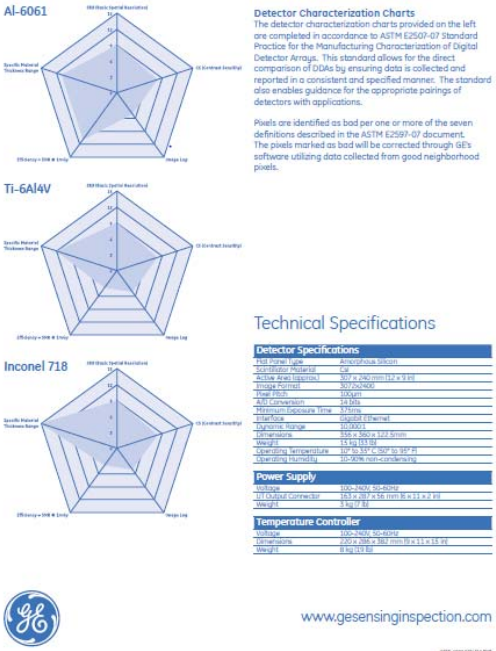


16

Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung radiologischer Verfahren — **Auswahlkriterien und Klassifizierung digitaler Detektoren** — Mai 2013 — BAM

Klassifizierung von DDAs durch Hersteller nach ASTM E 2597 (2010)

Beispiel eines Datenblatts von GE Inspection Technologies:



Al-6061

Ti-6Al4V

Inconel 718

Detector Characterization Charts

The detector characterization charts provided on the left are completed in accordance to ASTM E2597-07 Standard Practice for the Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays. This standard allows for the direct comparison of DDAs by ensuring data is collected and reported in a consistent and specified manner. The standard also enables guidance for the appropriate pairings of detectors with applications.

Pixels are identified as bad per one or more of the seven definitions described in the ASTM E2597-07 document. The pixels marked as bad will be corrected through GE's software utilizing data collected from good neighborhood pixels.

Technical Specifications

Detector Specifications	
Flat Panel Type	Amorphous Silicon
Scintillator Material	CsI
Active Area (approx)	307 x 240 mm (12 x 9 in)
Image Format	307x2400
Pixel Pitch	100µm
A/D Conversion	14 bits
Minimum Exposure Time	37ms
Interface	Gigabit Ethernet
Dynamic Range	10,000:1
Dimensions	558 x 380 x 122.5mm
Weight	15 kg (33 lb)
Operating Temperature	10° to 35° C (50° to 95° F)
Operating Humidity	10-90% non-condensing
Power Supply	
Voltage	100–240V, 50-60Hz
10' Output Connector	163 x 287 x 56 mm (6.4 x 11 x 2 in)
Weight	3 kg (7 lb)
Temperature Controller	
Voltage	100–240V, 50-60Hz
Dimensions	220 x 286 x 382 mm (9 x 11 x 15 in)
Weight	8 kg (19 lb)

www.gesensinginspection.com

17

Zusammenfassung

- Die ISO 17636-2 regelt den Einsatz digitaler Detektoren zur Schweißnahtprüfung
- in der digitalen Radiographie wird die Bildgüte durch das Kontrast-zu- Rausch-Verhältnis (CNR) und die Basis-Ortsunschärfe (SR_b) bestimmt.
- Betrachtungen zum Kontrast, ohne das Rauschen und die Ortsunschärfe zu berücksichtigen, sind in der digitalen Radiographie nicht sinnvoll.
- Unscharfe Detektoren können in Vergrößerungstechnik benutzt werden. In der Kontaktradiographie sind für digitale Detektoren größere FDAs erforderlich als bei der Filmradiographie (Röhren: Kontaktradiographie 1mm BF,1kW, Vergrößerung: 50 µm, 50W).
- Die Verwendbarkeit von digitalen Detektoren für die Prüfaufgabe ist vor der Prüfung mit einer Referenzaufnahme nachzuweisen.
- Unscharfe Detektoren können in der Kontaktradiographie nicht unterhalb einer Grenzwanddicke eingesetzt werden, die von der Detektorunschärfe und der Prüfklasse abhängt.
- Das Kompensationsprinzip II gestattet ausnahmsweise den Einsatz unscharfer Detektoren, wenn mit einer höheren Drahterkennbarkeit kompensiert werden kann.
- In der ZfP eingesetzte CR-Systeme besitzen eine feste Korrelation zwischen gemessenem SNR und Grauwert. Daher kann auch ein zu erreichender Mindest-Grauwert anstatt des zu erreichenden Mindest-SNR_N spezifiziert werden.

18