



uwe.ewert@bam.de

Zum Zusammenhang von Grauwerten und dem normierten und unnormierten Signal-Rauschverhältnis in der Digitalen Radiographie

- die neue Standardprozedur nach ISO/DIS 17636-2 und prEN 14784-2 -

U. Ewert, K. Heyne, B. Redmer, U. Zscherpel, M. Jechow, BAM - Berlin

VIII.3 **Neue Standards für die Digitale Radiographie** Juni, 2011  1

Motivation

- Anwender erreichen nicht immer die Klasse B (Drahtstegerkennbarkeit) beim Einsatz von Speicherfolien.
- Die Ursachen werden diskutiert.
- Drei essentielle Parameter bestimmen die Bildqualität bei der digitalen Radiographie:
 - *SNR*,
 - *Basisortsauflösung und*
 - *effektiver Kontrast*
- Der Normentwurf ISO/DIS 17636-2 regelt die Anwendung der Digitalen Radiographie für die Schweißnahtprüfung.
 - Es wird Computer-Radiographie (Speicherfolien) und Radiographie mit Flachdetektoren (DDA) in einem Standard geregelt.
 - Nicht alle Anwender können SNR messen. Daher wird die SNR-Messung auf eine Grauwertmessung zurückgeführt.

Standards für die Radiographie mit Speicherfolien und DDAs

- In den neuen Vorschlägen **zu prEN 14784-2** und der **ISO/DIS 17636-2** (äquivalent zu EN 1435-2) werden die selben Drahterkennbarkeiten und Stufe-Loch-Erkennbarkeiten wie bei der Filmmradiographie gefordert.
- Neue Ausnahmeregel für die Gammaradiographie werden eingeführt.
- Die Angabe der maximal zulässigen Grenzenergie wurde für die digitale Radiographie zu einer Empfehlung umformuliert.
- Die Anforderungen an das zu erreichende SNR_N wurden erhöht (im Vergleich zu EN 14784-1, -2).
- Statt SNR_N kann auch der minimale Grauwert spezifiziert werden.
- Die Anforderungen an die Detektorunschärfe wurden reduziert.
- Drei Kompensationsprinzipie regeln die Prüfung mit hohen Röhrensparnungen, unscharfen Detektoren, und interpolierten Pixeln.

Detektorunschärfe, Systemauswahl und Mindestabstände

Messung der Basisortsauflösung zur Detektorqualifikation

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

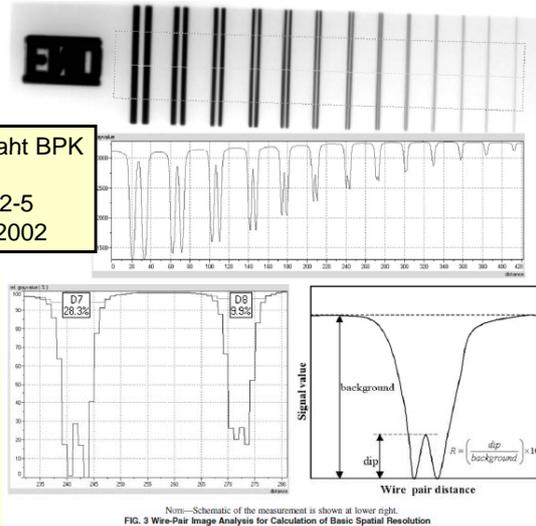


FIG. 3 Wire-Pair Image Analysis for Calculation of Basic Spatial Resolution

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

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

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

VIII.3

Neue Standards für die
Digitale Radiographie

Juni, 2011

BAM

5

Auswahl des geeigneten Detektors

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

Table B.13 — Maximum image unsharpness for all techniques Class A		Table B.14 — Maximum image unsharpness for all techniques Class B		
Penetrated thickness w^a mm	l_m	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
$w \leq 1,0$		$w \leq 1,5$	D 13+ 0,08	0,04
$1,0 < w \leq 1,5$		$1,5 < w \leq 4$	D 13 0,10	0,050
$1,5 < w \leq 2$		$4 < w \leq 8$	D 12 0,125	0,063
$2 < w \leq 5$		$8 < w \leq 12$	D 11 0,16	0,08
$5 < w \leq 10$		$12 < w \leq 40$	D 10 0,20	0,10
$10 < w \leq 25$		$40 < w \leq 120$	D 9 0,26	0,13
$25 < w \leq 55$		$120 < w \leq 200$	D 8 0,32	0,16
$55 < w \leq 150$		$w > 200$	D 7 0,40	0,20
$150 < w \leq 250$				
$w > 250$				

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

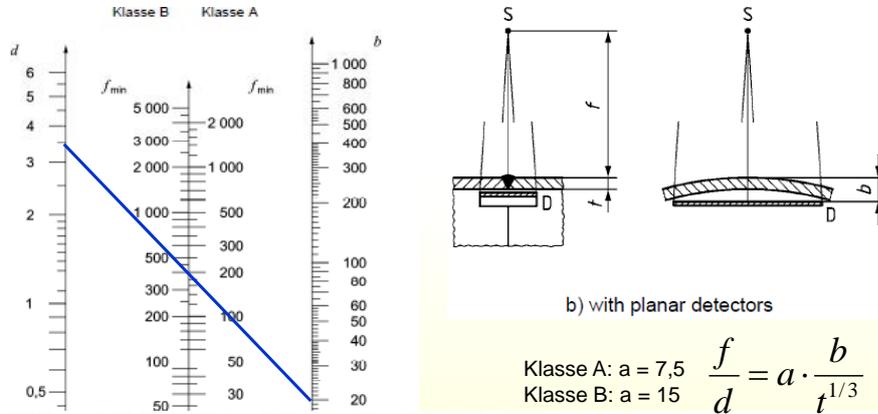
^a For double wall technique, single image, the nominal thickness t shall be used instead of the penetrated thickness w .
^b The IQI reading for system selection (see Annex C) applies for contact radiography. If geometric magnification technique (see 7.7) is used the IQI reading shall be performed in the corresponding reference radiographs.

NOTE

SR_b Konzept aus EN14784-1
IQI Anforderungen im Vergleich zu EN14784-2

VIII.3

Mindestabstand



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



Neue Standards für die
Digitale Radiographie

Juni, 2011

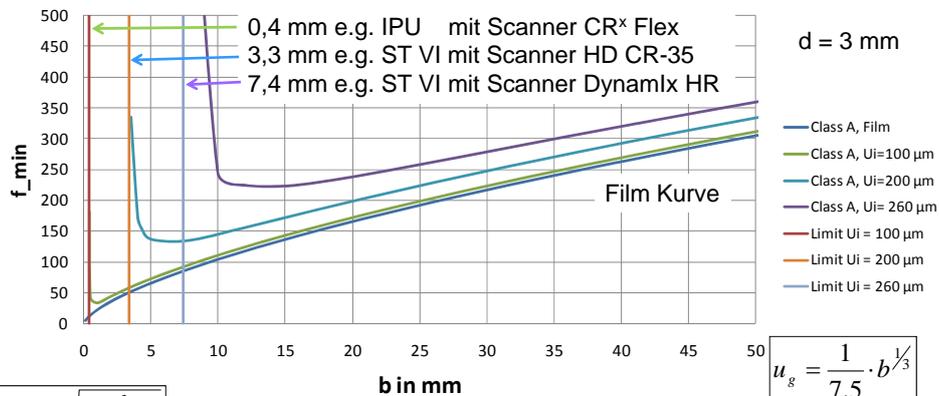


7

Größerer Mindestabstand bei Kontaktradiographie

- Die Bildschärfe bei digitalen Detektoren ist durch u_i begrenzt.
- Daher ist eine Abstandsvergrößerung (FOA) gegenüber der Filmradiographie erforderlich.
- Eine Abstandsvergrößerung ist nur sinnvoll, wenn $u_i < u_{g_max}$

Mindestabstand Klasse A, ISO 17636-2



$$f_{min} = d \cdot \sqrt{\frac{b^2}{\frac{b^{2/3}}{7.5^2} - u_i^2}}$$

Neue Standards für die
Digitale Radiographie

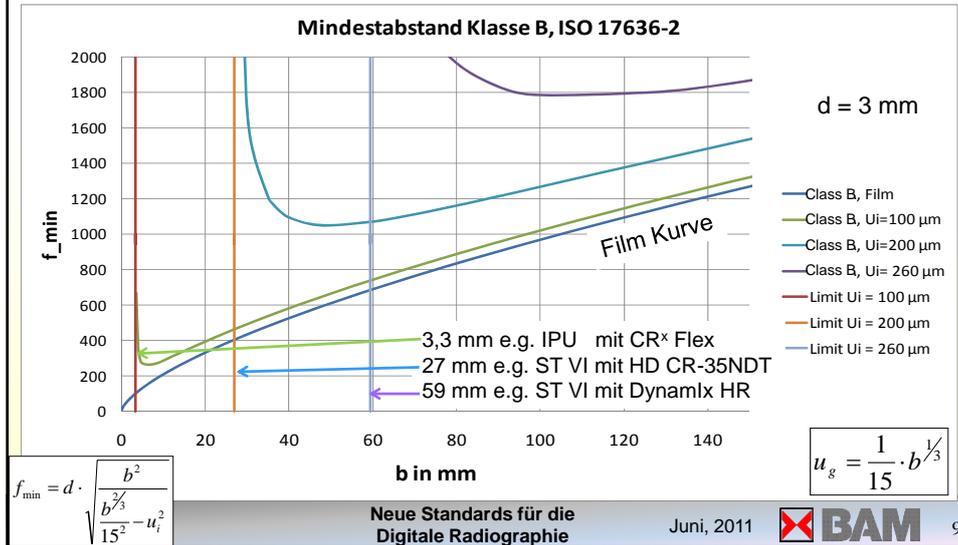
Juni, 2011



8

Größerer Mindestabstand bei Kontaktradiographie

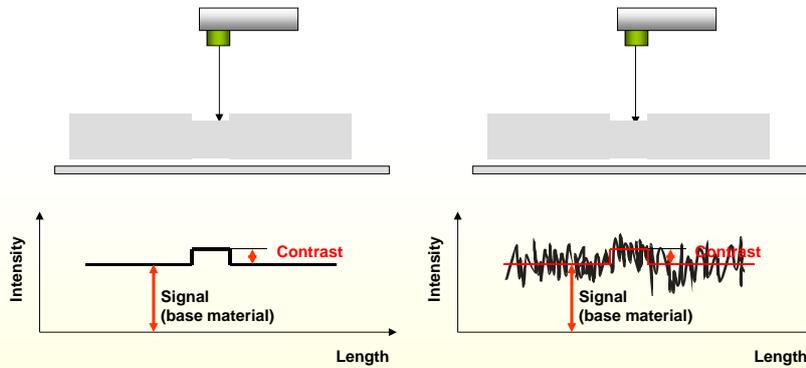
- Die Bildschärfe bei digitalen Detektoren ist durch u_i begrenzt.
- Eine Abstandsvergrößerung (f) ist nur erfolgreich, wenn $u_i < u_{g_max}$.



Erkennbarkeit von Bildgüteprüfkörpern

Signal-zu-Rausch-Verhältnis SNR
 Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis CNR

Einfluss des Bildrauschens auf die Detailerkennbarkeit



Nute sichtbar!

**Kontrast/Rauschen ist hoch
Signal/Rauschen ist hoch**

Nute nicht sichtbar!

**Kontrast/Rauschen ist niedrig
Signal/Rauschen ist niedrig**

Essentielle Parameter die die Bildqualität in der digitalen Radiographie bestimmen

Die 3 essentiellen Parameter:

Kombinierte Parameter

- *Signal-zu-Rausch-verhältnis (SNR)*
 - *Spezifischer Kontrast (μ_{eff})*
 - *Basisortsaufösung (SR_b)*
- *Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis (CNR)*
 ➤ *Normalisiertes SNR (SNR_N)*

Erkennbarkeit von Löchern

Operator basierte Bewertung:

Die **Erkennbarkeit** basiert auf dem Prinzip der „Scene Brightness“

Der Schwellwert (PT), bei dem wir eine Anzeige erkennen, ergibt sich zu:

$PT = d \cdot CNR$

mit $d = \text{Durchmesser}$

1. A. Rose, "A unified approach to the performance of photographic film, television pickup tubes and the human eye," J. Soc. Motion Pict. Eng. 47, 273-294 (1946).
2. A. Rose, "The sensitivity performance of the human eye on an absolute scale," J. Opt. Soc. Am. 38, 196-203 (1948).
3. A. Rose, "Television pickup tubes and the problem of vision," in *Advances in Electronics and Electron Physics*, L. Marton, ed. (Academic, New York, 1948), Vol. 1, pp. 131-166.

Einflussparameter zur Berechnung des erkennbaren BPK-Durchmessers

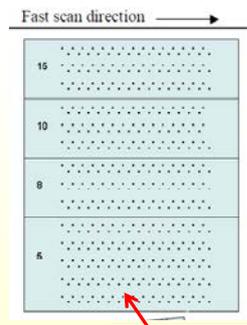
Die essentiellen Einflussparameter sind: μ_{eff} , SNR and SR_b ?

Neue Formel

$$d_{visible} = PT \cdot \sqrt{\frac{SR_b^{image}}{\mu_{eff} \cdot SNR}}$$

Abhängig von der Hardware
Vergrößerung, FFA
Brennfleckgröße

US Bildgütestestkörper



ASTM E 746

Material, keV, Strahlertyp
Streustrahlung
Folien und Filter

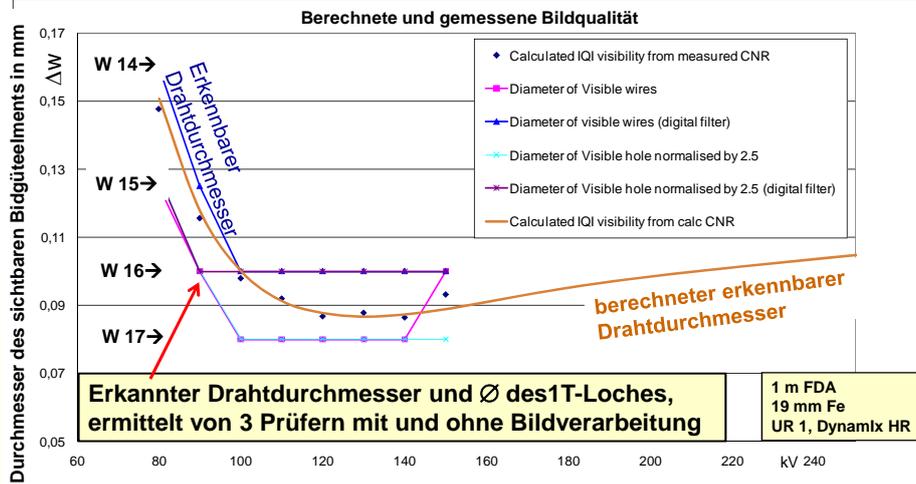
Belichtungszeit, FFA
Röhrenstrom, Aktivität
Detektorempfindlichkeit

$PT \approx 2,8$ für 1T-Löcher ; schwankt etwas mit Betrachtungsbedingungen und Operator

Übereinstimmung von berechneter und gemessener Bildqualität

PT_{Draht} ≈ 1,1; PT_{1T-Loch} ≈ 2,8
19 mm Fe

$$\Delta w = \text{const} / \text{Wurzel}(\mu(kV, w) \cdot \text{SNR}(GV))$$



VIII-3

Neue Standards für die
Digitale Radiographie

Juni, 2011



BAM

15

Kompensationsprinzip (II) in ISO/DIS 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.

Doppeldrahtwert	Nicht OK D13 W13	Gefordert: D12 W14	OK: D11 W15	OK: D10 W16	Bedingt OK D9 W17
Einzeldrahtwert					

VIII-3

Neue Standards für die
Digitale Radiographie

Juni, 2011



BAM

16

Verwendung von Mindest-Grauwerten anstatt von Mindest-SNR_N-Werten und Erstellung von Belichtungsdiagrammen

ISO/DIS 17636-1, -2 Minimale Bildgütezahlen für Draht- und Stufe- Loch-Bildgüteprüfkörper

Bildgütezahlen von
EN1435 und EN 462

- **Gleiche Bildgüteanforderungen** wie in EN 1435, und ISO 19232-3
- **Neue Ausnahmeregeln für Isotope bei Doppelwandprüfung**
 - 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

Tables B.1 and B.2 — Single wall technique; IQI on source side

Table B.1 — Wire IQI			Table B.2 — Step-hole IQI		
Image quality class A			Image quality class A		

Tables B.3 and B.4 — Single-wall technique; IQI on source side

Table B.3 — Wire IQI			Table B.4 — Step-hole IQI		
Image quality class B			Image quality class B		
Nominal thickness t / mm		IQI value *	Nominal thickness t / mm		IQI value *
	to 1.5	W 19		to 2.5	H 2
above 1.5	to 2.5	W 18	above 2.5	to 4	H 3
above 2.5	to 4	W 17	above 4	to 8	H 4
above 4	to 6	W 16	above 8	to 12	H 5
above 6	to 8	W 15	above 12	to 20	H 6
above 8	to 12	W 14	above 20	to 30	H 7
above 12	to 20	W 13	above 30	to 40	H 8
above 20	to 30	W 12	above 40	to 60	H 9
above 30	to 35	W 11	above 60	to 80	H 10
above 35	to 45	W 10	above 80	to 100	H 11
above 45	to 65	W 9	above 100	to 150	H 12
above 65	to 120	W 8	above 150	to 200	H 13
above 120	to 200	W 7	above 200	to 250	H 14
above 200	to 350	W 6			
above 350		W 5			

Digitale Bilder müssen einen Mindest-SNR_N-Wert erreichen in ISO/DIS 17636-2

- SNR_N Konzept wurde von EN14784-1 übernommen.
- Tabellierte minimale SNR_N-Werte anstatt Anforderung an minimale optisch Dichte und Filmsystemklasse bei Filmradiographie.
- Anforderung an Blei-Vorderfolien werden auf Maximalwert unterhalb 1 MV und Co-60 begrenzt.

Table 3 — Minimum SNR_N values and metal front screens (screens for CR only) for digital radiography of steels, copper and nickel based alloys

Radiation source	Penetrated material thickness w mm	Minimum SNR _N		Type and thickness of metal front screens mm
		Class A	Class B	
X-ray potentials ≤ 50 kV		100	180	None
X-ray potentials > 50 kV to 150 kV		70	120	0 - 0.1 (Pb)
X-ray potentials > 150 kV to 250 kV		70	100	0 - 0.1 (Pb)
X-ray potentials > 250 kV to 350 kV	≤ 50	70	100	0 - 0.25 (Pb)
	> 50	70	70	0.1 - 0.3 (Pb)
X-ray potentials > 350 kV to 1000 kV	≤ 50	70	100	0.1 - 0.3 (Pb)
	> 50	70	70	0.1 - 0.3 (Pb)
Yb 169	≤ 5	70	120	0 - 0.1 (Pb)
	> 5	70	100	0 - 0.1 (Pb)
Ir 192, Se 75	≤ 50	70	100	Class A: 0.1 - 0.3 (Pb) Class B: 0.3 - 0.8 (Fe or Cu)
	> 50	70	70	0.1 - 0.4 (Pb)
Co 60 ^{a, b}	≤ 100	70	100	0.5 (Fe) + 1.5 (Pb)
	> 100	70	70	0.5 (Fe) + 2.0 (Pb)
X-ray potentials ^{a, b} > 1 MV	≤ 100	70	100	0.5 (Fe) + 1.5 (Pb)
	> 100	70	70	0.5 (Fe) + 2.0 (Pb)

^a In case of multiple screens (Fe+Pb) the steel screen shall be located between the IP and the lead screen.
^b Instead of Fe or Fe+Pb also copper, tantalum or tungsten screens may be used if the image quality can be proven.

Höhere SNR_N Anforderungen als in EN14784-2

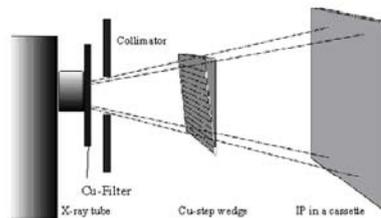
Messung der Basisortsauflösung und SNR_N vs. Grauwert (GV) nach ISO/DID 17636-2

Anhang C: **Bestimmung der Basisortsauflösung SR_b**

Anhang D: **Bestimmung der normalisierten SNR_N vom SNR_{measured}**

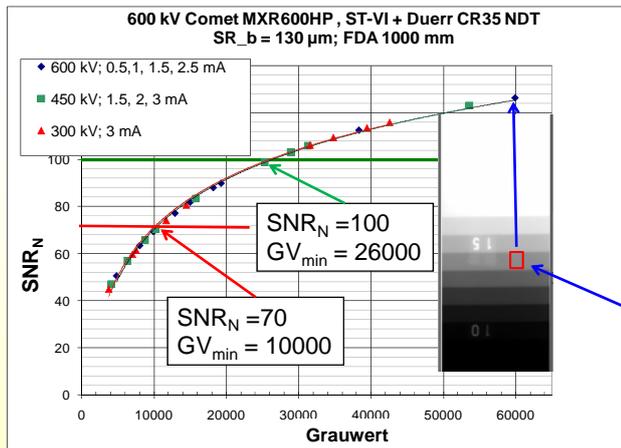
Die Bestimmung der Basis-Ortsauflösung für die Qualifizierung eines digitalen Detektorsystems ist zusätzlich zu EN 14784-1 unter den folgenden Bedingungen durchzuführen:

- 1) Untersuchung von Leichtmetall-Legierungen:
 - Röhrenspannung 90 kV;
 - Vorfilter 1 mm Al.
- 2) Untersuchung von Stahl- und Kupferlegierungen ≤ 20 mm
 - Röhrenspannung 160 kV;
 - Vorfilter 1 mm Cu.
- 3) Untersuchung von Stahl- und Kupferlegierungen > 20 mm
 - Röhrenspannung 220 kV;
 - Vorfilter 2 mm Cu.
- 4) Gammadiagnostik
 - es ist die festgelegte Gammastrahlenquelle anzuwenden;
 - Vorfilter 2 mm Cu oder 4 mm Stahl für ⁷⁵Se und ¹⁹²Ir sowie 4 mm Cu oder 8 mm Stahl für ⁶⁰Co.



Spezifikation von Mindestgrauwerten aus SNR_N -Messungen

- Die Qualifikation basiert auf der Energie-unabhängigen Korrelation von SNR und Grauwerten (GV) bei ZfP-CR-Systemen (Speicherfolie und Scanner) bei festgelegten Scan-Parametern.



Scan-Parameter wie Verstärkung, Scan-Geschwindigkeit, Laser-Intensität, Scan-Pixel-Auflösung und andere dürfen danach nicht verändert werden oder es muss neu qualifiziert werden.

GV = 60000

N	Std. Dev.	S/N
12236	37,78	131,06

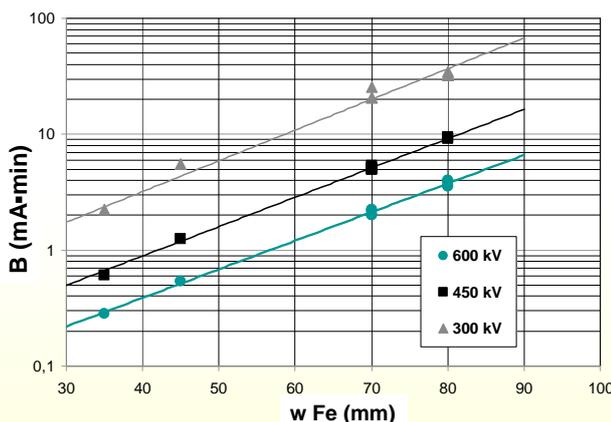
VIII:3
Neue Standards für die Digitale Radiographie

Neue Standards für die Digitale Radiographie

Juni, 2011

21

Belichtungsdiagramm für Computer-Radiographie



- $FDA_{ref} = 1000$ mm
- $GV_{ref} = 26000$
- $SNR_N = 100$
- Material = Fe
- IP = ST VI
- DÜRR CR35 NDT
- BAM-zertifizierte Scan-Parameter
- Ohne Bleivorderfolien

$$B_w = \frac{B \cdot GV_{min} \cdot FDA^2}{GV_{ref} \cdot FDA_{ref}^2}$$

$$GV_{min_B} = 26000$$

$$GV_{min_A} = 10000$$

Belichtungsdiagramm zur Erreichung eines qualifizierten Mindestgrauwertes.

- Messung der Belichtungsgröße (mA min) für verschiedene Röhrenspannungen, die erforderlich sind, um den qualifizierten $GV_{referenz}$ zu erreichen.
- Halblogarithmische Darstellung mit System-Parametern.

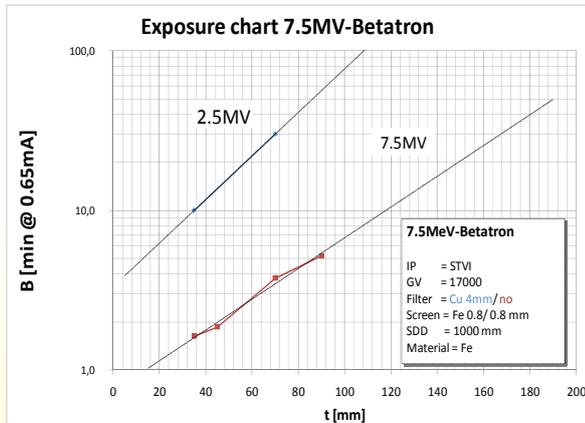
VIII:3
Neue Standards für die Digitale Radiographie

Neue Standards für die Digitale Radiographie

Juni, 2011

22

Belichtungsdiagramm für Computer-Radiographie



- $FDA_{ref} = 1000 \text{ mm}$
- $GV_{ref} = 17000$
- $SNR_N = 100$
- Material = Fe
- IP = ST VI
- DÜRR CR35 NDT
- BAM-zertifizierte Scan-Parameter
- Ohne Bleivorderfolien

$$B_w = \frac{B \cdot GV_{min} \cdot FDA^2}{GV_{ref} \cdot FDA_{ref}^2}$$

$GV_{min_B} = 17000$

Belichtungsdiagramm zur Erreichung eines qualifizierten Mindestgrauwertes.

- Messung der Belichtungsgröße (mA min) für verschiedene Röhrenspannungen, die erforderlich sind, um den qualifizierten $GV_{referenz}$ zu erreichen.
- Halblogarithmische Darstellung mit System-Parametern.

Zusammenfassung

- In der digitalen Radiographie wird die Bildgüte vorrangig durch das Kontrast zu Rauschverhältnis (CNR) und die Ortsunschärfe bestimmt.
- Betrachtungen zum Kontrast, ohne das Rauschen und die Ortsunschärfe zu berücksichtigen, sind in der digitalen Radiographie nicht sinnvoll.
- Unschärfe Detektoren sollten in Vergrößerungstechnik benutzt werden. In der Kontaktradiographie sind für digitale Detektoren daher größere FFAs erforderlich als bei der Filmradiographie.
- Unschärfe Detektoren können in der Kontaktradiographie nicht unterhalb einer Grenzwalldicke 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.
- Belichtungsdiagramme können in Analogie zum Röntgenfilm auf der Basis von erreichbaren Grauwerten für CR erstellt werden.

Acknowledgement www.filmfree.eu.com

FILMFREE INDUSTRIAL RADIOGRAPHY

HOME | PROJECTS | PARTNERS | NEWS | SIGN IN

MAKING THE WORLD A SMARTER PLACE

The objectives of the filmfree project are to make a number of technological advances that will take the digital industrial radiography sector into a new era to effectively replace film as the detecting media.

European Projects:

"FilmFree"
with 33 Partners, 11 countries
2005 – 2009

"HEDRad"
High Energy Digital Radiography
2009 – 2011

VIII-3 Neue Standards für die Digitale Radiographie Juni, 2011 25

Ende *Sinn des Lebens? Hobby? CNR? SNR? ??*

uwe.ewert@bam.de

VIII-3 Neue Standards für die Digitale Radiographie Juni, 2011 26