

WHITE PAPER

Ist der kleine Brennfleck in der direkten Radiographie noch notwendig?

Ein Beitrag zur Vereinfachung der Belichtungstechnik



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Geometrische Unschärfe	3
Hypothese/Herangehensweise	4
<hr/>	
Technische Bildqualität: Räumliche Auflösung	5
<hr/>	
Qualität klinischer Bilder	6
Tests und Auswertung mit anthropomorphen Phantomen	6
Studie mit anthropomorphen Phantomen: Ergebnisse	13
<hr/>	
Fazit	14
<hr/>	
Über die Autoren	15
<hr/>	

Einleitung

Dieses White Paper befasst sich mit dem Nutzen des kleinen Brennflecks für klinische Untersuchungen und Aufnahmetechniken. Die gegenwärtige Praxis, die auf internationalen Leitlinien und Techniken beruht, welche aus der (analogen) Film/Folien-Radiographie übernommen wurden, kann die Lebensdauer der Röntgenröhre verringern, was zu höheren Kosten bei lediglich geringem klinischem Mehrwert führt.

Das Whitepaper stellt den Nutzen der Verwendung des kleinen Brennflecks für klinische Aufnahmen (insbesondere für Untersuchungen der Extremitäten) in Frage, die mit digitalen Flachbilddetektoren (DR FPD) und Pixelgrößen im Bereich von 125 bis 160 μm erstellt werden.

Ein kleiner Brennfleck verringert die geometrische Unschärfe und wird normalerweise verwendet, wenn ein hohes Maß an Detailgenauigkeit erforderlich ist. Die typische Brennfleckgröße bei kleinen Untersuchungsarealen (zum Beispiel Extremitäten, Neonatologie) beträgt 0,6, bei großen anatomischen Bereichen 1,0 bis 1,2 (wobei mit kurzen Belichtungszeiten eine höhere Röhrenlast erforderlich ist, um die Bewegungsunschärfe zu verringern).

Analoger Röntgenfilm kann als nahezu kontinuierliches Medium betrachtet werden (aufgrund der sehr feinen Körnung des Films). Daher sind in den Bildern mitunter kleine Unterschiede zwischen kleinen und großen Brennfleckgrößen festzustellen. Ein digitaler FPD ist dagegen ein diskretes Medium (aufgrund seiner endlichen Pixelgröße), mit kaum oder nicht mehr wahrnehmbaren Unterschieden zwischen den Brennfleckgrößen.

Wenn die Verwendung des kleinen Brennflecks tatsächlich keinen zusätzlichen Nutzen für DR hat – wie in diesem Whitepaper erläutert wird –, dann werden mehrere Vorteile offensichtlich, falls nur der große Brennfleck verwendet wird:

- kürzere Belichtungszeiten und weniger Bewegungsunschärfe
- längerer Lebenszyklus der Röhre
- Möglichkeit zur Verwendung von Monotrack-Röntgenröhren
- Vereinfachung der Belichtungstechnik (keine Brennfleckauswahl)

Geometrische Unschärfe

Geometrische Unschärfe bezieht sich auf den Informationsverlust, der sich aus den geometrischen Faktoren des Röntgengerätes und der Konfiguration ergibt. Der Bereich unterschiedlicher Dichte am Rand eines Objektes, der durch geometrische Faktoren verursacht wird, wird als Penumbra bezeichnet. Er tritt auf, weil die Strahlung nicht von einem einzelnen Punkt, sondern von einer Fläche ausgeht. Unschärfe wird von drei Faktoren bestimmt: Größe der Quelle, Abstand von Quelle zu Objekt und Abstand von Objekt zu Detektor.

Die Quellengröße ist in den technischen Daten des Herstellers für die jeweilige Röntgenquelle angegeben. Medizinische Röntgenröhren haben typischerweise Brennfleckgrößen im Bereich von 0,6 (kleiner Fokus) bis 1,2 (großer Fokus).

Hypothese/Herangehensweise

Die Skizze und die Formel veranschaulichen die geometrische Unschärfe, die durch den Brennfleck verursacht wird.

Formel für die geometrische Unschärfe:

$$U_g = f \cdot b/a$$

f = Größe des Brennflecks der Quelle

a = Abstand von der Quelle zur vorderen Objektfläche

b = Dicke des Objekts.

In dem Fall, dass der Detektor nicht unmittelbar unter dem Objekt platziert ist, beispielsweise, wenn eine geometrische Vergrößerung verwendet wird, lautet die Berechnung wie folgt:

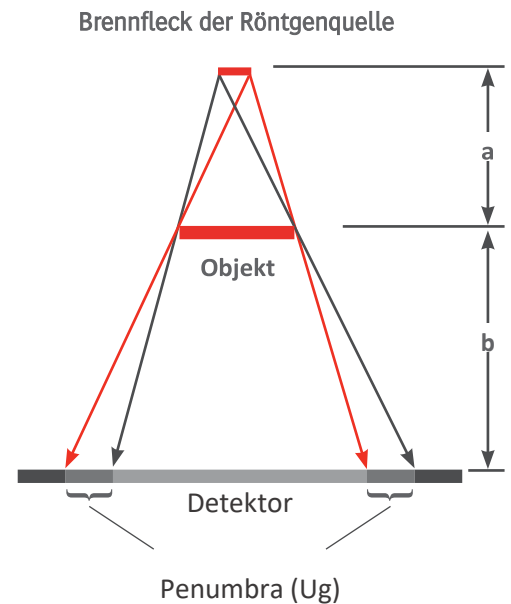
$$\text{Penumbra } (U_g) = f \cdot b/a$$

f = Größe des Brennflecks der Quelle

a = Abstand von der Röntgenquelle zur vorderen Objekt-/Materialfläche

b = Abstand von der vorderen Fläche des Objekts zum Detektor

Quelle: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/GeometricUnsharp.htm>



Die nachfolgende Tabelle 1 enthält einige praktische Szenarien (einschließlich „Worst-Case“) für Extremitäten hinsichtlich Belichtungskonfiguration und geometrischer Unschärfe.

TABELLE 1: SZENARIEN DER BILDGEBUNG VON EXTREMITÄTEN HINSICHTLICH BELICHTUNGSKONFIGURATION UND GEOMETRISCHER UNSCHÄRFE

	f	a	b	U _g [mm]	f	a	b	U _g [mm]	Δ U _g [mm]	SID
Hand	0,6	88	4	0,027	1,2	88	4	0,055	0,027	92
Hand	0,6	112	3	0,016	1,2	112	3	0,032	0,016	115
Fuß	0,6	87	6	0,041	1,2	87	6	0,083	0,041	93
Knie, Panel auf dem Tisch	0,6	70	14	0,120	1,2	70	14	0,240	0,120	84
Knie, Panel im Bucky	0,6	70	21	0,180	1,2	70	21	0,360	0,180	91
Knie, Panel auf dem Tisch	0,6	83	14	0,101	1,2	83	14	0,202	0,101	97
Knie, Panel im Bucky	0,6	83	21	0,152	1,2	83	21	0,304	0,152	104
Knie, Panel auf dem Tisch	0,6	103	12	0,070	1,2	103	12	0,140	0,070	115
Knie, Panel im Bucky	0,6	98	19	0,116	1,2	98	19	0,233	0,116	117

Die Zahlen in Rot geben die geometrische Unschärfe für ein Hand-, Fuß- oder Kniebild an, die anhand der Formel für den kleinen Brennfleck und für den großen Brennfleck berechnet wurde. Die graue Spalte gibt den Unterschied zwischen ihnen an. Erwartungsgemäß wird der Unterschied größer, wenn der Abstand zwischen Quelle und Bild (Source-to-Image Distance, SID) geringer wird, und wenn das Objekt dicker oder weiter vom Detektor entfernt ist (Detektor in Bucky, beispielsweise Kniebelichtung mit Raster).

In allen Fällen sind die berechneten Werte kleiner oder liegen in der Größenordnung des physikalischen Pixelabstands des FPD. Daher lautet die Studienhypothese, dass bei kleineren Extremitäten die Verwendung von Standardpanels zu keinen wesentlichen Unterschieden in der Bildqualität (räumliche Auflösung) führt, da die Unterschiede in der geometrischen Unschärfe signifikant unter diesem Pixelgrößenbereich liegen, wie aus der Tabelle hervorgeht.

Nur bei größeren Objektdicken (zum Beispiel bei Knien, insbesondere dann, wenn sie mit Streustrahlenraster (Bucky) belichtet werden), werden die durch den Brennfleck verursachten Auflösungsänderungen, abhängig von der SID und dem Pixelabstand des Panels, möglicherweise sichtbar.

Technische Bildqualität: Räumliche Auflösung

Zur Bestimmung der MTF (Modulationsübertragungsfunktion)-Unterschiede zwischen kleinen und großen Brennfleckgrößen wurden in einem Röntgenlabor mit, in zunehmendem Abstand positionierten Detektoren und unterschiedlichen Pixelabständen, Kantenschärfemessungen durchgeführt.

Im Labor wurden Kantenschärfemessungen bei 2° mit und ohne RQA5-Filter (21 mm Al) mit und ohne Blende zur Bestimmung der Auflösung (MTF) durchgeführt.

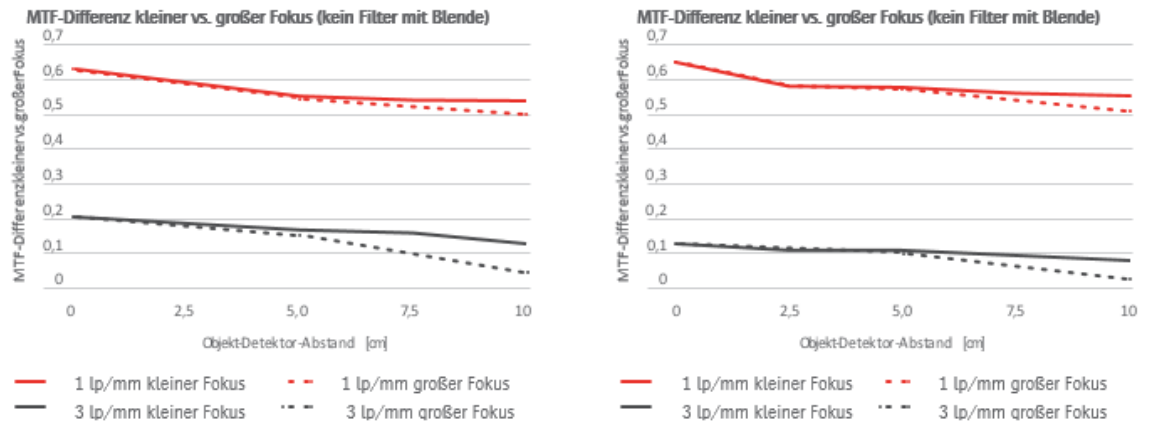
Der Abstand des Objekts (scharfe Kante) zum Detektor wurde in Schritten von 2,5 cm von 0 auf 10 cm erhöht, um die unterschiedlichen Dicken verschiedener Extremitäten (Körperteile) zu simulieren.

Der Test wurde mit einem 125-µm-Pitch-Panel (Agfa DX-D 30C) und einem 140-µm-Pitch-Panel (Agfa DX-D 40G) durchgeführt. Das 140-µm-Pitch-Panel (GOS-Panel) wurde verwendet, um die Standardpixelgröße (unabhängig vom Szintillator) wiederzugeben. Die Belichtung erfolgte sowohl mit kleinen als auch mit großen Brennfleckgrößen.

Konfiguration des Tests (Röntgenlabor)

- Philips CP80 Super Gerät
- SRO33100 Rot 351 Röhre (mit 2,5 mm Al äq. inhärenter Filter bei 75 kV)
- Kleiner Brennfleck = 0,6; großer Brennfleck = 1,2
- RQA 5-Filter (mehrschichtig), 99 Prozent Reinheit = 21 mm Al)
- SID: ca. 1 m

MTF-Ergebnisse für den kleinen und den großen Brennfleck für DX-D 30C (125 µm) und DX-D 40G (140 µm)



Die MTF-Ergebnisse (MTF bei 1 lp/mm und 3 lp/mm) zeigen, dass mit dem 140-µm-Pixelpitch-Detektor bei einem Objekt-Detektor-Abstand von bis zu 5 cm (der kleine Skelettbereich, zum Beispiel für Hände, Füße usw.) kein Unterschied in der MTF zwischen großen und kleinen Brennfleckgrößen besteht. Die Unterschiede bleiben bei 7,5 cm gering, insbesondere bei MTF 1 lp/mm.

Mit dem DX-D 30C-Detektor (125-µm-Pixelgröße) sind die MTF-Unterschiede zwischen großem und kleinem Brennfleck etwas größer, aber auch hier fallen die Ergebnisse zugunsten der Studienhypothese aus, insbesondere bei den dünneren Extremitäten.

Qualität klinischer Bilder

Um festzustellen, inwieweit dieser Effekt in einer klinischen Situation wahrnehmbar wäre – bzw. um die Bedeutung der Größe kleiner und großer Brennflecke für die Darstellung der normalen Anatomie in klinischen Röntgenaufnahmen (einschließlich Bildverarbeitung) zu bewerten –, wurde eine Studie mit anthropomorphen Phantomen durchgeführt.

Tests und Auswertung mit anthropomorphen Phantomen

Agfa führte eine interne Beurteilung mit Hand-, Fuß- und Kniephantomen durch. Es wurden Aufnahmen mit einer Agfa DR 600-Modalität gemäß Tabelle 1 gemacht (diese stellen die schwierigsten klinischen Situationen dar), um die Unterschiede in der Bildqualität zwischen einem kleinen und einem großem Brennfleck zu untersuchen. Es wurden Flachbilddetektoren (FPDs) mit Pixelgrößen von 125 µm (DX-D 30C) und 150 µm (DR 14e) verwendet. Für die Aufnahme wurden drei Dosisstufen angewandt (das heißt, Soll- oder Referenzdosis, 62,5 Prozent der Referenzdosis und 40 Prozent der Referenzdosis).

Die Bildverarbeitung erfolgte mittels Agfa MUSICA3 (Skelett) unter Verwendung der Standardeinstellungen. Um eine allgemeine Referenz für diese Untersuchung der Brennfleckgröße zu erhalten, wurden die gleichen Aufnahmen auf einem analogen Film/Folien durchgeführt (nur mit der Referenzdosis).

TABELLE 2: BILDEINSTELLUNGS- UND AUFNAHMEPARAMETER FÜR FILM/FOLIE

Einseitiges Folie-/Film-System (Mammo für Extremitäten)					RP-Entwicklungschemie (2' bei 34 °C)			
Folie: HD-S		Nr.: 7YUF5B						
FILM-Typ: HT (Mammoray MR7)		Nr.: 37460007						
Format: 24 x 30					Belichtung			
Phantom (Körperteil)	kV	SID [cm]	Fokus	Position des Detektors	mAs	ms x mA	Filmdichte	
							gemessen	Sollfilmdichte
Hand PA	48	100	groß	auf dem Tisch	6,3	100 x 63	1,51	1,45
Hand PA	48	100	klein	auf dem Tisch	6,3	100 x 63	1,52	1,45
Doppelseitiges Folien/Film-System					RP-Entwicklungschemie (2' bei 34 °C)			
Folie: CX-O-Fine		Nr.: 3YKF5C						
FILM-Typ: CP-G-Plus		Nr.: 79560028						
Format: 24 x 30					Belichtung			
Phantom (Körperteil)	kV	SID [cm]	Fokus	Position des Detektors	mAs	ms x mA	Filmdichte	
							gemessen	Sollfilmdichte
Hand PA	48	93	klein	auf dem Tisch	4	100 x 40	1,54	1,45
Hand PA	48	93	groß	auf dem Tisch	4	100 x 40	1,42	1,45
Fuß AP	55	100	groß	auf dem Tisch	2,5	100 x 25	1,33	1,45
Fuß AP	55	100	klein	auf dem Tisch	2,5	100 x 25	1,54	1,45
Fuß LAT	55	100	klein	auf dem Tisch	4	100 x 40	1,53	1,45
Fuß LAT	55	100	groß	auf dem Tisch	4	100 x 40	1,35	1,45
Knie AP	60	100	klein	auf dem Tisch	8	100 x 80	1,60	1,5
Knie AP	60	100	groß	auf dem Tisch	8	100 x 80	1,51	1,5
Knie AP	60	100	groß	im Bucky (*)	40	125 x 320	1,52	1,5
Knie AP	60	100	klein	im Bucky (*)	40	125 x 320	1,53	1,5

(*) Raster 178 Linien/Zoll R10 FFD 100 cm

TABELLE 3: BILDEINSTELLUNGS- UND AUFNAHMEPARAMETER FÜR DR

FPD (CsI):	DX-D 30C (100020)		Pixelgröße: 125 µm		Belichtung			
Phantom (Körperteil)	kV	SID [cm]	Fokus	Position des Detektors	mAs	ms x mA	gemessen [µGy]*	El
Hand PA	48	92	klein	auf dem Tisch	2,5 1,6 1	16 x 160 10 x 160 6 x 160	50,1 30,4 17,6	540 330 186
Hand PA	48	92	groß	auf dem Tisch	2,5 1,6 1	16 x 160 10 x 160 6 x 160	49,7 30,8 17,4	549 331 187
Fuß AP	55	93	klein	auf dem Tisch	2 1,3 0,8	12 x 160 8 x 160 5 x 160	49,8 32,1 19,6	469 219 214
Fuß AP	55	93	groß	auf dem Tisch	2 1,3 0,8	12 x 160 8 x 160 5 x 160	49,0 32,2 19,9	465 223 215

FPD (CsI):	DX-D 30C (200158)		Pixelgröße: 125 µm		Belichtung			
Phantom (Körperteil)	kV	SID [cm]	Fokus	Position des Detektors	mAs	ms x mA	gemessen [µGy]*	El
Knie AP	60	97	klein	auf dem Tisch	4 2,5 1,6	12 x 320 8 x 320 5 x 320	108,0	455 346 208
Knie AP	60	97	groß	auf dem Tisch	4 2,5 1,6	12 x 320 8 x 320 5 x 320	107,7	467 332 206
Knie AP	60	84	klein	auf dem Tisch	3,2 2 1,25	20 x 160 12 x 160 8 x 160	111,3	441 258 175
Knie AP	60	84	groß	auf dem Tisch	3,2 2 1,25	20 x 160 12 x 160 8 x 160	111,4	448 268 178
Knie AP	60	97 + 7	klein	im Bucky (**)	16 10 6,3	50 x 320 31 x 320 20 x 320	115,0	488 392 258
Knie AP	60	97 + 7	groß	im Bucky (**)	16 10 6,3	50 x 320 31 x 320 20 x 320	115,0	516 406 267
Knie AP	60	84 + 7	klein	im Bucky (**)	13 8 5	41 x 320 25 x 320 16 x 320	115,0	524 432 328
Knie AP	60	84 + 7	groß	im Bucky (**)	13 8 5	41 x 320 25 x 320 16 x 320	115,0	530 475 272

(*) Dosismessung: für beide Aufnahmearten (Detektor auf Tisch, Detektor im Bucky) auf dem Tisch, zentriert zum Strahlenfeld

(**) Raster 215 Linien/Zoll R10 FFD 100 cm

TABELLE 3: BILDEINSTELLUNGS- UND AUFNAHMEPARAMETER FÜR DR

(Fortsetzung)

FPD (CsI):	DR 14e (QE20001)		Pixelgröße: 150 µm		Belichtung			
Phantom (Körperteil)	kV	SID [cm]	Fokus	Position des Detektors	mAs	ms x mA	gemessen [µGy]*	El
Knie AP	60	97	klein	auf dem Tisch	4	12 x 320	108,0	399
					2,5	8 x 320		279
					1,6	5 x 320		186
Knie AP	60	97	groß	auf dem Tisch	4	12 x 320	107,7	400
					2,5	8 x 320		277
					1,6	5 x 320		183
Knie AP	60	84	klein	auf dem Tisch	3,2	20 x 160	111,3	372
					2	12 x 160		236
					1,25	8 x 160		153
Knie AP	60	84	groß	auf dem Tisch	3,2	20 x 160	111,4	395
					2	12 x 160		233
					1,25	8 x 160		152
Knie AP	60	97 + 7	klein	im Bucky (**)	16	50 x 320	115,0	496
					10	31 x 320		313
					6,3	20 x 320		217
Knie AP	60	97 + 7	groß	im Bucky (**)	16	50 x 320	115,0	524
					10	31 x 320		341
					6,3	20 x 320		214
Knie AP	60	84 + 7	klein	im Bucky (**)	13	41 x 320	115,0	526
					8	25 x 320		327
					5	16 x 320		277
Knie AP	60	84 + 7	groß	im Bucky (**)	13	41 x 320	115,0	762
					8	25 x 320		482
					5	16 x 320		294

(*) Dosismessung: für beide Aufnahmearten (Detektor auf Tisch, Detektor im Bucky) auf dem Tisch, zentriert zum Strahlenfeld

(**) Raster 215 Linien/Zoll R10 FFD 100 cm

Zusätzlich wurde eine Brennfleckmessung an der Röntgenröhre des DR 600 durchgeführt, welche die Größe des kleinen Brennflecks (0,6) und des großen Brennflecks (1,2) bestätigte.

Die Bewertung des Bildsatzes mit dem anthropomorphen Phantom wurde von fünf erfahrenen internen Auswertern durchgeführt: zwei aus der für Filme/Folien zuständigen Abteilung und drei aus der Gruppe für digitale Radiographie (einer davon mit Erfahrung in Folien/Filmen).

Bei dieser Bewertung wurde der Einfluss der Brennfleckgröße auf die Bildqualität durch Vergleiche von Phantombildpaaren bewertet, die mit denselben Belichtungseinstellungen und derselben Dosis erstellt wurden, sodass der einzige Unterschied die Brennfleckgröße war.

Die Bilder wurden auf hochwertigen Diagnostikmonitoren (für digitale Bilder) und geeigneten Leuchtkästen (für analoge Bilder) für allgemeinradiologische Bilder in einer angemessen gedimmten und ruhigen Umgebung betrachtet. Die Untersuchung auf Unterschiede in der Bildqualität erfolgte verblindet.

Der Auswerter hatte die Wahl, die digitalen Bilder auf den beiden 3-MP-Diagnostikmonitoren nebeneinander zu vergleichen und/oder zwischen ihnen hin und her zu wechseln. Zoomen war zulässig. Für die analogen

Bilder wurde den Auswertern eine Lupe mit 8-facher Vergrößerung zur Auswertung auf dem Leuchtkasten zur Verfügung gestellt. Die Auswerter wurden angewiesen, bei jedem Bildvergleich das jeweils bevorzugte Bild zu identifizieren und eine Bewertung der Gesamtbildqualität (das heißt, allgemeine Sichtbarkeit von Details und Schärfe des Strukturumrisses) anhand der folgenden Bewertungsskala (relative Bewertung) abzugeben.

Bewertungsskala

Verblindete Auswertung:

- Gesamteindruck der Bildqualität (einschließlich Schärfe)
- 2-zu-2-Vergleich pro Subtestbild (kleiner versus großer Fokus)
- Relative Einstufung auf einer Skala von -2 bis +2 gegenüber der Referenz:
 - +2: deutlich besser
 - +1: leicht unterschiedlich, aber zu bevorzugen
 - 0: äquivalent
 - -1: leicht/ästhetisch unterschiedlich, aber dennoch adäquat
 - -2: deutlich schlechter
(möglicherweise mit Auswirkungen auf die Diagnose bei Befundung durch einen Radiologen)

Was ist was?



Bild 1: Kleiner Brennfleck

Bild 2: Großer Brennfleck

Analyse der Auswertungsergebnisse (auf t-Test-Basis)

Die Tabellen 4 und 5 (unten) zeigen die durchschnittlichen Ergebnisse aller Auswerter. Aufgrund der Verblindung hatten die Referenzen während der Auswertung nicht immer die gleiche Brennfleckgröße (um eine subjektive Beeinflussung der Auswerter zu verhindern).

Die Einstufungen der Bildqualität insgesamt durch die fünf Auswerter wurden einem Student-t-Test unterzogen, um die Variabilität bzw. Einheitlichkeit der Einstufungen der einzelnen Auswerter festzustellen, das heißt, um die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, mit der die individuellen Einstufungen den gleichen Mittelwert wie die Referenz haben (0-Werte). Eine Wahrscheinlichkeit (P-Wert) von unter fünf Prozent bedeutet, dass sich die Einstufungen im Durchschnitt signifikant von der Referenz unterscheiden. Die jeweiligen P-Werte sind in der Tabelle farblich gekennzeichnet: rot, wenn sich das Ergebnis für den großen Brennfleck gegenüber dem Ergebnis für den kleinen Brennfleck negativ unterscheidet, grün gilt im umgekehrten Fall.

Bei den DR-Bildern wurde der t-Test mit den Einstufungen in den drei Dosisstufen separat und dann mit allen Einstufungen in den drei Dosisstufen in Summe durchgeführt (um eine genauere Statistik zu erhalten).

TABELLE 4: DURCHSCHNITTLICHE EINSTUFUNGEN FÜR FILM/FOLIE						
Einseitiges Folie-/Film-System (Mammo für Extremitäten)						
Folie: HD-S						
Film-Typ: HT (Mammoray MR7)						
Phantom (Körperteil)	SID [cm]	Brennfleck TEST	Brennfleck REF	Position des Detektors	Einstufung der Bildqualität	
					DURCHSCHNITT	P-Wert
Hand PA	100	klein	groß	auf dem Tisch	0,70	0,004636
Doppelseitiges Folien/Film-System						
Folie: CX-O-Fine						
Film-Typ: CP-G-Plus						
Phantom (Körperteil)	SID [cm]	Brennfleck TEST	Brennfleck REF	Position des Detektors	Einstufung der Bildqualität	
					DURCHSCHNITT	P-Wert
Hand PA	93	groß	klein	auf dem Tisch	-0,50	0,034109
Fuß AP	100	klein	groß	auf dem Tisch	0,65	0,040642
Fuß LAT	100	groß	klein	auf dem Tisch	-0,90	0,000844
Knie PA	100	groß	klein	auf dem Tisch	-0,80	0,002838
Knie PA	100	klein	groß	im Bucky	1,30	0,000446

TABELLE 5: DURCHSCHNITTLICHE BEWERTUNGEN FÜR DR

FPD (CsI): DX-D 30C			Pixelgröße 125 µm		Einstufung der Bildqualität			
Phantom (Körperteil)	SID [cm]	Brennfleck TEST	Brennfleck REF	Position des Detektors	DURCHSCHN. pro Dosisstufe	P-Wert	DURCHSCHNITT alle 3 Dosisstufen	P-Wert
Hand PA	92	groß	klein	auf dem Tisch	0,00 0,00 -0,20	- 0,177808	-0,07	0,164318
Fuß AP	93	groß	klein	auf dem Tisch	0,00 0,20 0,00	- 0,177808 -	0,07	0,164318
FPD (CsI): DX-D 30C			Pixelgröße 125 µm		Einstufung der Bildqualität			
Phantom (Körperteil)	SID [cm]	Brennfleck TEST	Brennfleck REF	Position des Detektors	DURCHSCHN. pro Dosisstufe	P-Wert	DURCHSCHNITT alle 3 Dosisstufen	P-Wert
Knie AP	97	groß	klein	auf dem Tisch	-0,50 -0,45 -0,35	0,034109 0,000844 0,134702	-0,43	0,000080
Knie AP	84	klein	groß	auf dem Tisch	0,15 0,40 0,45	0,467605 0,034920 0,021312	0,33	0,001807
Knie AP	97 + 7	groß	klein	im Bucky	-0,50 -0,42 -0,35	0,003198 0,006297 0,024896	-0,42	0,000001
Knie AP	84 + 7	klein	groß	im Bucky	0,45 0,50 0,25	0,000844 0,003198 0,298015	0,40	0,000126
FPD (CsI): DR 14e			Pixelgröße 150 µm		Einstufung der Bildqualität			
Phantom (Körperteil)	SID [cm]	Brennfleck TEST	Brennfleck REF	Position des Detektors	DURCHSCHN. pro Dosisstufe	P-Wert	DURCHSCHNITT alle 3 Dosisstufen	P-Wert
Knie AP	97	groß	klein	auf dem Tisch	-0,10 -0,30 -0,40	0,621308 0,323941 0,195138	-0,27	0,063696
Knie AP	84	klein	groß	auf dem Tisch	0,25 0,40 0,10	0,266265 0,016130 0,688457	0,25	0,029981
Knie AP	97 + 7	groß	klein	im Bucky	-0,47 -0,47 -0,42	0,010808 0,010808 0,006297	-0,45	0,000001
Knie AP	84 + 7	klein	groß	im Bucky	0,45 0,25 0,40	0,021312 0,326164 0,016130	0,37	0,000908

Studie mit anthropomorphen Phantomen: Ergebnisse

- Bei den **Folie/Film**-Referenzbildern ergab sich ein statistisch signifikanter-Unterschied (P -Wert $< 0,05$) in der Bildqualität zwischen Bildern mit kleinem und großem Brennfleck mit allen drei Extremitätenphantomen (Hand, Fuß und Knie). Der durchschnittliche Unterschied zugunsten des kleinen Brennflecks beträgt $> 0,5$ auf einer ± 2 -Standardskala. Der Unterschied zwischen den Einstufungen ist bei der Hand am kleinsten und beim Knie im Bucky am größten, was mit berechneten Penumbren in Tabelle 1 (Hypothese) korreliert.

Außerdem ergab sich mit dem einseitigen Film/Folie-System (Hand) ein stärkerer Vorteil zugunsten des kleinen Brennflecks gegenüber dem doppelseitigen System. Diese Ergebnisse entsprechen den Erwartungen für Folie/Film.

- Bei den **DR-Bildern** bei einem SID < 1 m weisen die Ergebnisse für **kleinere Extremitäten** (Hand und Fuß) bei keiner der drei Dosisstufen einen signifikanten Unterschied zwischen den Brennfleckgrößen 0,6 und 1,2 auf, auch nicht bei dem Detektor mit kleinerer Pixelgröße (125 μm).

Unterschiede zwischen den Durchschnittseinstufungen sind nur bei den niedrigeren Dosisstufen vorhanden und sehr klein („insignifikant“): maximal 0,2 auf einer ± 2 -Standardskala. Beim Fuß fällt der Unterschied sogar zugunsten des großen Brennflecks aus.

- Bei den **DR-Kniebildern** ist ein kleiner Unterschied zugunsten des kleinen Brennflecks zu erkennen ($< 0,5$ auf einer ± 2 -Standardskala). Diese kleinen Unterschiede erweisen sich bei dem Detektor mit kleinerer Pixelgröße (DX-D 30C – 125 μm) bei einem SID von ± 1 m als statistisch relevant (sowohl bei Exposition auf dem Tisch als auch bei Exposition im Bucky).

Bei dem Detektor mit Standardpixelgröße (DR 14e – 150 μm) ist der durchschnittliche Unterschied zwischen kleinem und großem Brennfleck gering ($< 0,3$ auf der ± 2 -Standardskala), wenn der Detektor auf dem Tisch belichtet wird. Bei einem SID > 1 m erweisen sich die Unterschiede als unbedeutend, bei einem SID < 1 m werden sie jedoch signifikant (Hinweis: Der übliche SID-Bereich für Extremitäten beträgt 1 m bis 1,2 m).

Darüber hinaus werden bei dieser Standardpixelgröße die durchschnittlichen Unterschiede zwischen kleinem und großem Brennfleck signifikant, wenn sich der Detektor in einem SID ± 1 m im Bucky befindet.

Fazit

Diese Studie zeigt, dass es bei verschiedenen Arten von Röntgenaufnahmen von Extremitäten unter Standardbelichtungsbedingungen keinen signifikanten Unterschied zwischen großem und kleinem Brennfleck hinsichtlich der Qualität der klinischen Bilder gibt. Bei der Belichtung von Extremitäten auf dem Tisch bei einer Standard-SID unter Verwendung von DR-Detektoren mit Standard-Pixelpitch hat der kleine Brennfleck keinen zusätzlichen Nutzen und ist daher verzichtbar.

- Untersuchungen kleiner Extremitäten können mit einem großen wie mit einem kleinen Brennfleck gleichermaßen mit DR-Detektoren mit Pixelgrößen im Bereich von 125 µm bis 150 µm ohne statistisch signifikante Unterschiede in der Bildqualität belichtet werden. Daher kann bei solchen Untersuchungen auf den kleinen Brennfleck verzichtet werden.
- Bei größeren Extremitäten und Exposition auf dem Tisch hat der kleine Brennfleck keinen zusätzlichen Nutzen, wenn Detektoren mit einer Standardpixelgröße ($\pm 150 \mu\text{m}$) bei einem Standard-SID für Extremitäten verwendet werden.
- Wenn größere Extremitäten mit Detektoren mit kleinerer Pixelgröße oder in einem Bucky (mit Raster) belichtet werden, wird ein geringfügiger Unterschied zugunsten des kleinen Brennflecks erkennbar.

Tägliche Praxis und Vorteile

In der täglichen klinischen Praxis hat die Verwendung allein des großen Brennflecks viele potenzielle Vorteile: Vereinfachung des Arbeitsablaufs, aber auch – indirekt – positive Auswirkungen auf die Bildqualität sowie finanzielle Aspekte.

- Die Verwendung einer einzelnen Brennfleckgröße vereinfacht die Aufnahmetechnik.
- Die Verwendung eines großen Brennflecks reduziert die Aufnahmedauer und damit die Bewegungsunschärfe (was zu einer besseren Bildqualität beiträgt).
- Eine übermäßige Verwendung des kleinen Fokus wirkt sich auf den Lebenszyklus der Röhre aus. Durch die Verwendung des großen Brennflecks wird die Belastung der Röntgenröhre verringert, was die Lebensdauer der Röhre verlängert.
- Durch den Verzicht auf den kleinen Brennfleck eröffnet sich die Möglichkeit, (kostengünstige) Monotrack-Röntgenröhren zu verwenden – und deshalb herzustellen.

Zu den Autoren

Lizy Verstreepen ist in der Agfa-Zentrale in Mortsel tätig. Sie ist Senior Application Specialist für Bildqualität. Sie hat bereits mehrfach Bildqualitätsvergleiche in verschiedenen Radiographieanwendungen zwischen internen Systemen und Systemen von Mitbewerbern durchgeführt. Sie hat einen B.S.-Abschluss in Chemie.

Bernd Hoberg ist im Ruhestand. Bis April 2020 war er Produktmanager für DR bei Agfa in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Er vertrat das Unternehmen in mehreren technischen Ausschüssen.

Friedrich Wanninger arbeitet für Agfa in München. Als Anwendungsleiter ist er einer der Experten des Unternehmens für Bildqualität und Flachbilddetektoren. Er hat einen M.Sc.-Abschluss in medizinischer Physik.

WHITE PAPER

D | Agfa Healthcare Germany GmbH | Paul-Thomas-Straße 58 | 40599 Düsseldorf | T +49 211 22986 0
A | Agfa NV, Zweigniederlassung Österreich | Diefenbachgasse 35/3/5/15 | 1150 Wien | T +43 1 891 12 5000
CH | AGFA, Mortsel/Belgien, Zweigniederlassung Dübendorf/Schweiz | Stettbachstrasse 7 | 8600 Dübendorf | T +41 44 823 71 11

info-medimg.dach@agfa.com

medimg.agfa.com/dach

© Copyright 2020 by Agfa NV, 2640 Mortsel, Belgien.

Agfa, die Agfa-Raute und MUSICA sind Handelsmarken der Agfa-Gevaert NV, Belgien, oder ihrer Tochtergesellschaften. Alle Rechte vorbehalten. Alle hierin enthaltenen Informationen sind nur als Leitfaden vorgesehen und die in dieser Publikation beschriebenen Eigenschaften von Produkten und Dienstleistungen können jederzeit ohne Vorankündigung geändert werden. Bestimmte Produkte und Dienstleistungen sind in Ihrer Region möglicherweise nicht verfügbar. Bitte wenden Sie sich für weitere Informationen an eine Niederlassung in Ihrer Nähe. Agfa-Gevaert NV bemüht sich gewissenhaft um die Bereitstellung möglichst fehlerfreier Informationen, übernimmt jedoch keine Haftung für etwaige typographische Fehler.