

Röntgenblitzgeräte im ortsveränderlichen Einsatz

Seit einiger Zeit sind tragbare, batteriebetriebene Röntgenblitzgeräte mit digitalem Bildempfänger auf dem Markt. Bisher werden sie ortsveränderlich z. B. bei der Erkennung und Entschärfung von Sprengstoffen eingesetzt. Im Bereich der Werkstoffprüfung sollen die ersten Röntgenblitzgeräte im ortsveränderlichen Einsatz jetzt in Betrieb genommen werden. Der Flachbilddetektor hat eine Größe von $36 \times 33 \text{ cm}^2$ mit einer Messfläche von $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Die gesamte Einrichtung mit einem Gewicht von ca. 34 kg befindet sich in einem tragbaren Koffer.

Nach DIN 54113 und der Mustergenehmigung für den ortsveränderlichen Betrieb hat der Betreiber der Röntgeneinrichtung die Grenze zum Kontrollbereich so abzugrenzen und zu sichern, dass eine Ortsdosisleistung von $40 \mu\text{Sv/h}$ nicht überschritten wird. Die Einschaltzeit am Einsatzort darf 3 Stunden in der Woche nicht überschreiten, um $120 \mu\text{Sv}$ in der Woche einhalten zu können. Die Röntgenblitzgeräte werden mit einer Pulslänge von ca. 60 ns betrieben. Diese extrem kurzen Pulse können messtechnisch nur von wenigen Ortsdosismessgeräten einwandfrei erfasst werden. Für diesen Messeinsatz geeignet sind Messsysteme, die nach dem Kondensator-Prinzip arbeiten und ggf. einige Ionisationskammern. Die Messung der Ortsdosisleistung ist möglich., aber nicht unproblematisch. Bei Werkstoffprüfunternehmen und Entschärfen sind geeignete Messgeräte keinesfalls vorhanden und eine Ermittlung der Kontrollbereichsgrenze am Einsatzort ist somit nicht möglich.

Um trotzdem einen sicheren ortsveränderlichen Einsatz dieser Geräte zu ermöglichen, sollte die Kontrollbereichsgrenze bereits in der Genehmigung nach § 3 Abs. 1 festgeschrieben werden. Von der Landesanstalt für Arbeitsschutz sind zusammen mit dem MPA Dortmund Ortsdosismessungen in der Streustrahlung und in der Nutzstrahlung bei diesen Röntgenblitzgeräten durchgeführt worden.

Geht man davon aus, dass ein Teil der Nutzstrahlung nicht vom Werkstück geschwächt wird (schlechte Zentrierung zwischen Röhre und Werkstück oder Öffnungen im Werkstück bei z.B. Rohrverzweigungen), muss eine Abschirmung und Abgrenzung des Kontrollbereichs auch gegen Nutzstrahlung erfolgen.

Vergleich der Dosismessungen in der Streustrahlung mit TLD und Babyline

Um sicherzustellen, dass das Babyline zur Messung der Dosis bei Röntgenblitzgeräten geeignet ist, wurden Vergleichsmessungen mit TLD's (deren Ansprechvermögen unabhängig von der Pulslänge der einfallenden Strahlung ist) vorgenommen.

Röhrenspannung (kV)	Babyline μSv	TLD μSv	prozentuale Abweichung %
150	40	44,68	10,5
150	82	91,21	10,1

Tabelle1: Vergleich der Dosis bei Messungen mit TLD und Babyline

Die Messungen haben, wie aus oben aufgeführter Tabelle zu entnehmen ist gezeigt, dass die mit Babyline gemessene Dosis ca. 10 % geringer ist, als diejenige die mit TLD's gemessen wurde.

Vom MPA in Dortmund wurde zusätzlich eine Vergleichsmessung zwischen Filmdosimetrie und Babyline bei der Bestimmung der Ortsdosis bei Röntgenblitzgeräten vorgenommen. Die prozentuale Abweichung der Messergebnisse lag hierbei unter 5 %. Das Babyline konnte somit zur Dosismessung bei Röntgenblitzgeräten herangezogen werden.

Bestimmung der Dosis in der Nutzstrahlung

Zur Zeit werden Röntgenblitzgeräte mit einer Röhrenspannungen von 150 kV und 300 kV vertrieben. Für die 300 kV-Röhre wird in den Datenblättern tlw. auch eine nominelle Röhrenspannung von 270 kV angegeben. Die Dosis in der Nutzstrahlung wurde in 1 Meter Abstand vom Fokus für die 150 kV- und die 300 kV-Röhre mit dem Babyline gemessen.

Röhrenspannung (kV)	Anzahl der Pulse (Pulslänge 60 ns)	Photonen-Äquivalentdosis μSv	Umgebungs-Äquivalentdosis μSv
150	10	42	55
150	20	74	96
300	20	64	83

Tabelle 2: Messergebnis der Ortsdosis in der Nutzstrahlung

Die bisher auf dem Markt befindlichen Röntgenblitzröhren können maximal 3000 Pulse innerhalb einer Stunde erzeugen. Bei Verwendung der 150 kV-Röhre beträgt somit die maximal mögliche Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand vom Fokus nach Tabelle 2 Zeile 1 **16,5 mSv/h**. Für die 300 kV-Röhre wurde eine Dosisleistung von **12,5 mSv/h** in 1 m Abstand vom Fokus ermittelt. Der Grenzwert der Ortsdosisleistung beim ortsveränderlichen Betrieb von 40 $\mu\text{Sv/h}$ wird in 20 m Abstand vom Strahler nicht überschritten.

Abgrenzung des Kontrollbereichs beim ortsveränderlichen Einsatz gegen Nutzstrahlung

Die vorliegenden Messungen wurden mit Röntgenblitzgeräten eines Herstellers durchgeführt. Weitere Vergleichsmessungen mit Röntgenblitzgeräten anderer Hersteller liegen bisher nicht vor. Aus diesem Grund wird bei den folgenden Berechnungen zur Ermittlung der Kontrollbereichsgrenze beim ortsveränderlichen Betrieb mit einem Sicherheitszuschlag gerechnet. Die maximal mögliche Anzahl der Pulse in einer Stunde wird mit 4000 Pulsen angenommen.

Die zur Einhaltung der Kontrollbereichsgrenze erforderlichen Abstände in Nutzstrahlrichtung können verringert werden, sofern eine Abschirmung unmittelbar hinter dem Detektor aufgestellt wird. Zur Berechnung der notwendigen Stärke dieser Abschirmung ist die Strahlenqualität zu berücksichtigen. Die Eigenfilterung der Röntgenblitzröhren wurde sowohl für die 150 kV-Röhre als auch für die 300 kV-Röhre mit 2,5 mm Al angegeben. Die Halbwertschichtdicke (HWS) bei dieser Strahlenqualität beträgt für die 150 kV-Röhre 0,3 mm Blei oder 3,8 mm Eisen. Die HWS für 300 kV wurde mit 1,3 mm Blei oder 19 mm Eisen ermittelt. Die HWS wurden der DIN 54113 entnommen.

Röhrenspannung kV	Ortsdosisleistung bei 4000 Pulsen in 1 m Abstand vom Fokus µSv/h	Ortsdosisleistung < 40 µSv/h bei einem Fokus-Abstand von m	Ortsdosisleistung hinter einer HWS µSv/h	Ortsdosisleistung < 40 µSv/h hinter einer HWS und bei einem Abstand von m
150	22000	24	11000	17
300	16600	21	8300	15

Tabelle 3: Ausdehnung des Kontrollbereichs in Nutzstrahlrichtung mit und ohne Abschirmung

Die Größe der Abschirmung ist abhängig vom Öffnungswinkel der Röhre und dem Fokus-Detektor-Abstand. Die Röntgenröhren haben einen Öffnungswinkel von 40°. Typische Fokus-Detektor Abstände betragen 500 mm und werden nach Angaben von Werkstoffprüfern 800 mm nicht überschreiten. Die durchstrahlte Fläche in 800 mm Abstand vom Fokus hat einen Durchmesser von ca. 60 cm. Da keinerlei Zentriervorrichtungen für Strahler und Detektor vorliegen, ist eine **Abschirmung von mindestens 1 m²** erforderlich. Werden größere Fokus-Detektor-Abstände gewählt, muss die Abschirmung entsprechend größere Abmessungen aufweisen.

Der erforderliche Sicherheitsabstand in Nutzstrahlrichtung ist abhängig von der gewählten Abschirmdicke. Die folgenden Kombinationen von Abstand und Abschirmung gelten für Röntgenblitzgeräte beim ortsveränderlichen Betrieb bei Röntgenröhrenspannung zwischen 150 kV und 300 kV. Für die Berechnung der Abstände in Tabelle 4 wurden die kritischsten Werte berücksichtigt.

Abschirmung hinter dem Detektor	keine	1,3 mm Blei oder 19 mm Eisen	2,6 mm Blei oder 38 mm Eisen	4 mm Blei oder 57 mm Eisen
Zusätzlich erforderlicher Abstand in Nutzstrahlrichtung zur Einhaltung der KB-Grenze von 40 µSv/h	25 m	17 m	12 m	9 m

Tabelle 4: Ausdehnung des Kontrollbereichs in Nutzstrahlrichtung in Abhängigkeit von der Abschirmdicke.

Bestimmung der Dosis in der Streustrahlung

Die Ermittlung der Ortsdosis durch Streustrahlung wurde mit einem Wasserphantom durchgeführt. Der Abstand zwischen Röntgenröhre und Streukörper betrug 70 cm bei Verwendung der 150 kV-Röntgenröhre und 60 cm bei der 300 kV-Röntgenröhre. Die Messung der Ortsdosis erfolgte in einem Abstand von 120 cm vom Streukörper. Die gemessene Photonen-Äquivalentdosis wurde mit dem Umrechnungsfaktor 1,3 in die Umgebungs-Äquivalentdosis umgerechnet.

Röhrenspannung kV	Abstand Streukörper-Messort cm	Anzahl der Röntgenpulse	gemessene Ortsdosis μSv	Dosis pro Puls nSv	Ortsdosisleistung bei 4000 Pulsen pro Stunde $\mu\text{Sv/h}$	Ortsdosisleistung < 40 $\mu\text{Sv/h}$ bei einem Abstand von Röhre und Streukörper m
150	120	50	0,9	18	72	1,6
150	120	99	1,7	17	69	1,6
300	120	50	1,2	24	96	1,9
300	120	99	2,5	25	101	1,9

Tabelle 5: Ausdehnung der Kontrollbereichsgrenze durch Streustrahlung

Abgrenzung des Kontrollbereichs beim ortsveränderlichen Einsatz gegen Störstrahlung

Erste Röntgenblitzgeräte wurden bereits der Bauart nach zugelassen. Im Rahmen des Bauartzulassungsverfahrens wird von der PTB unter anderem die Gehäusedurchlassstrahlung in 1 m Abstand vom Brennfleck ermittelt. Bei einer 300 kV-Röhre wurde als maximaler Wert für den Einzelpuls eine Umgebungs-Äquivalentdosis von 20 nSv gemessen. Geht man davon aus, dass der zu schützende Aufenthaltsplatz einer Person gegen Störstrahlung -bestehend aus 50 % Streustrahlung und 50% Gehäusedurchlass-Strahlung- zu sichern ist, kann zur Berechnung der Gehäusedurchlassstrahlung und der Streustrahlung von einer maximalen Dosis pro Einzelpuls von 40 nSv in 1 m Abstand vom Röntgenstrahler ausgegangen werden. Unter dieser Voraussetzung und dem bereits verwendeten Sicherheitsfaktor von maximal 4000 Pulsen pro Stunde ergeben sich ein Sicherheitsabstand von 2 m.

Zur Abgrenzung der Kontrollbereichsgrenze beim ortsveränderlichen Betrieb gegen Störstrahlung ist, auch unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten, ein Abstand von 3 m von Röntgenstrahler und Streukörper ausreichend um die Kontrollbereichsgrenze von 40 $\mu\text{Sv/h}$ einzuhalten. Dies gilt für Röntgenblitzgeräte mit Röhrenspannungen von 150 kV bis 300 kV.

Zusammenfassung

Für den ortsveränderlichen Einsatz von Röntgeneinrichtungen ist die Messung der Ortsdosisleistung zur Ermittlung der Kontrollbereichsgrenze erforderlich. Für Röntgenblitzgeräte sind jedoch zur Zeit keine geeigneten Messeinrichtungen auf dem Markt erhältlich mit denen Ortsdosisleistung ermittelt werden kann (im Strahlungsfeld gepulster Strahler zeigen viele aktive Dosimeter keine korrekten Dosiswerte an).

Aus diesem Grund wird vorgeschlagen in der Betriebsgenehmigung nach § 3 Abs. 1 der RÖV für Röntgenblitzgeräte die Abgrenzung des Kontrollbereichs vorzugeben und auf eine messtechnische Kontrolle vor Ort zu verzichten.

In Nutzstrahlrichtung ist ein Abstand bzw. eine Kombination aus Abschirmung und Abstand entsprechend der Tabelle 4 erforderlich. Die Kontrollbereichsgrenze außerhalb der Nutzstrahlrichtung ist so abzugrenzen, dass 3 m Abstand vom Röntgenblitzgerät und dem zu prüfenden Werkstück nicht unterschritten werden.

Für den ortsveränderlichen Betrieb werden externe Warnlampen gefordert, die beim einschalteten der Röntgenstrahlung automatisch aufleuchten. Diese sind an Röntgenblitzgeräten nicht vorhanden. Auf Grund der extrem kurzen Einschaltzeit je Aufnahme (ca. 3 sec) wäre eine solche Nachrüstung auch nicht sinnvoll. Umso wichtiger erscheint die Überwachung der Abgrenzung des Kontrollbereichs durch zwei Personen des jeweiligen Prüfunternehmens und ggf. das Aufstellen von batteriebetriebenen Warnlampen an der Kontrollbereichsgrenze.