

Hannover, 01.06.2012

Technischer Bericht
Prüfung der Strahlenschutzeigenschaften von
Hohlwanddosen gegenüber Röntgenstrahlung
gemäß DIN EN 61331-1 vom August 2006 und
DIN 6812:2010.

Auftraggeber:

Kaiser GmbH & Co. KG
Ramsloh 4
D-58579 Schalksmühle

Auftragnehmer:

TÜV NORD EnSys
Hannover GmbH & Co. KG
Am TÜV 1
30519 Hannover

Durchführung der Prüfung:

Röntgenraum im technischen Zentrum
Am TÜV 1
30519 Hannover

Zeitraum der Prüfung:

März bis April 2012

Aufgabenstellung

Für Röntgenräume in der Röntgendiagnostik sind in der Regel bautechnische Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich. Grundlage für die Planung und Prüfung der Durchführung ist in Deutschland die DIN 6812. Für diese Maßnahmen stehen mit Blei kaschierte Leichtbauplatten aus Gipskarton und spezielle Strahlenschutzplatten mit Gipsmischungen höherer Dichte zur Verfügung. In diese leicht zu errichtenden Hohlwände werden für die Elektroinstallation Hohlwanddosen für die Geräte eingesetzt. Die üblichen Hohlwanddosen aus dünnem Kunststoff haben keinerlei Strahlenschutzwirkung. Es muss daher manuell das entstehende Montageloch mit Bleiblechen rückseitig verschlossen werden. Die Firma Kaiser hat eine Hohlwanddose entwickelt, welche die Montage von Elektroinstallationen erleichtern soll. Diese bleifreie Dose ergänzt die bleifreien Strahlenschutzwände.

Die Bestimmung eines Bleigleichwertes ist für plattenförmige Strahlenschutzwerkstoffe in DIN 61331-1 beschrieben. In einem ersten Schritt sollen daher verschiedene Werkstoffe hinsichtlich ihrer Eignung als schwächender Werkstoff untersucht werden. In einem zweiten Schritt sollen Muster von Hohlwanddosen auf ihre Strahlenschutz Eigenschaften untersucht werden. Die fertige Hohlwanddose ist zylindrisch geformt, mit einem annähernd flachen Boden. Der Übergang von der Wandung zum Boden ist 45° angefasst. Hier befinden sich auch die Stellen bei denen die Öffnungen für die Zuleitungen bei der Montage eingeschnitten werden. Außerdem enthält jede Dose zwei nicht vollständig abgeschirmte Öffnungen im Bereich der Befestigungsflasche (Laschenlager).

Die Angabe eines Bleigleichwertes für den verwendeten Werkstoff ist daher nicht ausreichend, da bei der Verwendung des Produktes zusätzliche Veränderungen vorgenommen werden. Außerdem können an den Übergängen zwischen Wand und Hohlwanddose Spalten bleiben. Diese Spalten sind abhängig von den Dicken der Hohlwände und der Anzahl der montierten Dosen sowie der betrachteten Durchstrahlungsrichtung. Daher müssen auch die konstruktiven Durchführungen bewertet werden. Damit soll die Eignung der Dosen für bleifreie Wände bis zu einem Bleigleichwert von 3 mm Blei festgestellt werden.

Prüfgrundlage

Für die Bestimmung der Bleigleichwerte von plattenförmigen Schutzmaterialien ist DIN EN 61331-1 zu verwenden. Die für diese Prüfung notwendigen Probestücke konnten in Form von Dosendeckeln gefertigt werden. Die Bewertung der fertigen Dosenmuster hinsichtlich ihrer Eignung als Bauteil für einen Röntgenraum gemäß DIN 6812:2010 erfolgte unter Berücksichtigung der Grenzwerte für die Personendosis nach Röntgenverordnung. Für die Berechnung der Teilkörperdosis wurden die Vorgaben der DIN 6812:2010 angesetzt.

Vorgehensweise

Die zur Verfügung stehenden Materialien wurden in drei verschiedenen Dicken in Scheibenform hinsichtlich ihrer Schwächungseigenschaften überprüft. Die Prüfung erfolgte im Röntgenröhrenspannungsbereich von 40 bis 150 kV. Die Ermittlung des Bleigleichwertes erfolgte durch Vergleich mit gleichzeitig gemessenen bekannten Referenzdicken aus Blei.

Die Hohlwanddosen selbst wurden in einem nachgestellten Wandaufbau in einer Dreiergruppe geprüft. In den beiden äußeren Hohlwanddosen waren jeweils 2 Leitungsdurchführungen aufgeschnitten. Die Hohlwanddosen wurden als Inhomogenität innerhalb der homogenen Wand betrachtet und gemäß DIN 61331-1 Abschnitt 5.4.3 und 5.6.3 geprüft. Die gemäß DIN 61331-1 notwendige Anzahl von 10 Messpunkten wurden in einer 3 x 9 Matrix quasi zufällig über die Dosen und die Wand gelegt. Damit verteilen sich die Messpunkte auf die Dosen, das Wandmaterial und die konstruktiven Öffnungen. Durch Verschieben der Probe wurde für jeden Messpunkt die Schwächung bei orthogonaler Einstrahlung ermittelt.

Da nicht jede Kombination von Wandaufbau und Hohlwanddose geprüft werden kann, wurde ein Rechenmodell erstellt mit dem sich die Eignung für verschiedene Wände abschätzen lässt. Eine allgemeingültige Aussage für beliebige Montagesituationen lässt sich nicht treffen. Die angenommenen Verhältnisse geben aber eine konservative Abschätzung wieder.

Qualifizierung des Messaufbaus

Für die Dosis- und Dosisleistungsmessung wurden zwei verschiedene Dosimeter verwendet. Damit kann der gesamte Dosisleistungsbereich abgedeckt werden. Die Schwankungen der Luftkermaleistungen bei den Messungen betragen weniger als 5% vom Mittelwert. Die Richtigkeit der Röntgenröhrenspannung wird in regelmäßigen Abständen im Rahmen der Qualitätssicherung des Röntgengerätes überprüft. Um bei der Messung den Einfluss mehrfach gestreuter Photonen zu verringern, wurde die Dosismessung hinter dem Prüfling in einem Abschirmkasten mit einer $d=24$ mm großen Eintrittsblende durchgeführt. Die Geometrie gewährleistet, dass das aktive Volumen der verwendeten Messkammern auch bei dem kleinen Strahlenfeld immer vollständig mit Röntgenstrahlung bestrahlt wird.

Verwendete Messmittel: Diagnostikdosimeter Diados No.0065
PTW NOMEX QS-Nr. 230204
Bleifolien und Bleche als Referenzmaterial

Messergebniss der Bleigleichwertmessung

Das für die Dosen verwendete Material zur Abschirmung benötigt eine mehrfach größere Materialstärke für die gleiche Schwächungswirkung wie Blei. Bei der Messung der Dose in einem Wandaufbau mit 1,5 mm Blei wurden für den Boden der Dose 2,1 mm Bleigleichwert erreicht. Diese Überdimensionierung bewirkt, dass auch bei maximaler Röntgenröhrenspannung die Schwächungswirkung der Dose von den verbleibenden Öffnungen bestimmt wird.

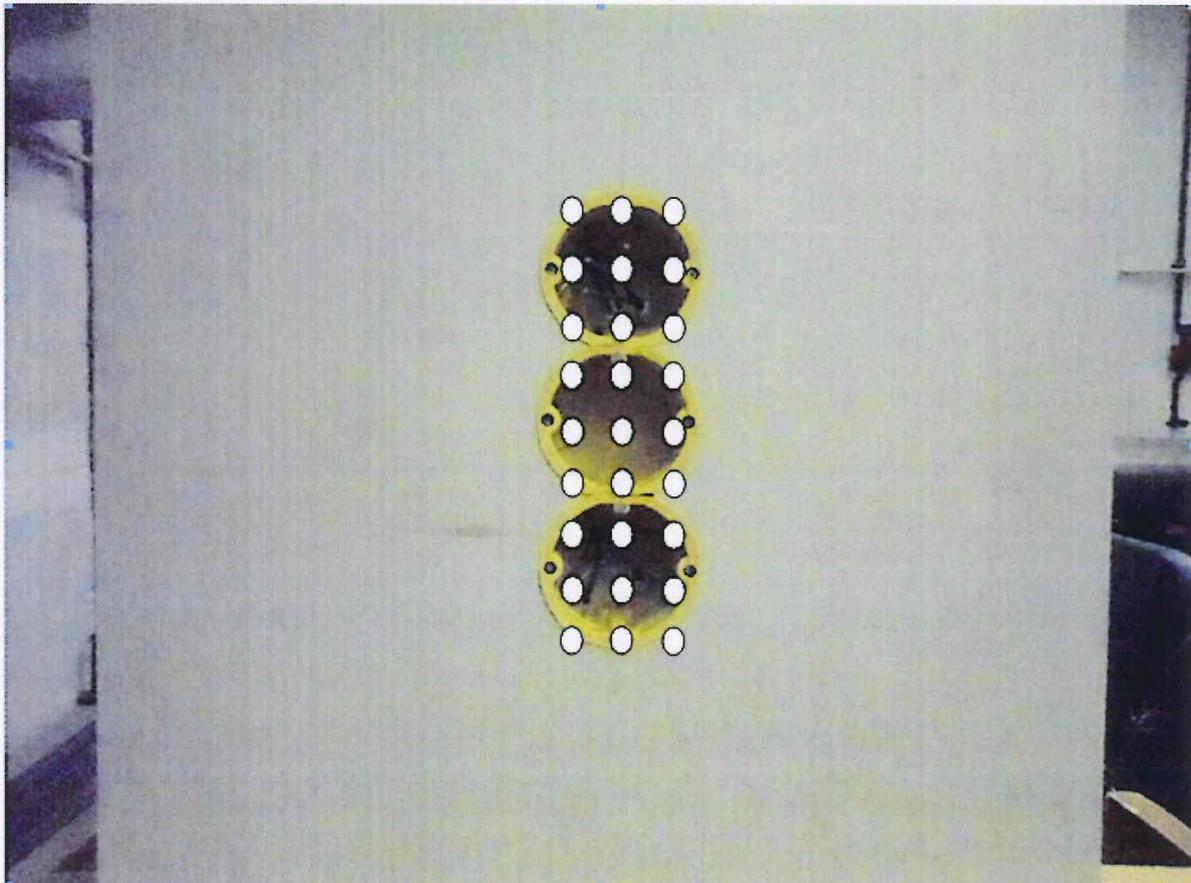


Abbildung 1 prinzipielle Verteilung der Messpunkte 3 Reihen mit 9 Punkten



Abbildung 2 Röntgenaufnahme von 3 montierten Dosen

Rechenmodell

Für die Planung von Röntgenräumen wird gemäß DIN 6812 ein vereinfachtes Rechenmodell verwendet. Die Strahlenquelle ist definiert über die Röntgenröhrenspannung, Filterung und das Strom-Zeitprodukt für eine Betriebswoche. Die erzeugte Strahlung trifft entweder (selten) auf eine Wand oder in jedem Fall einen Streukörper, welcher die Röntgenstrahlung in dem vereinfachten Modellansatz der DIN 6812 gleichförmig in alle Richtungen streut. Für die verschiedenen Gerätetypen sind von der Größe des im Mittel verwendeten Strahlenfeldes abhängige Ausbeutefaktoren für die Streustrahlung festgelegt. Damit ist die Dosis für einen Aufenthaltsort in 1 m Abstand definiert. Für verschiedene Abstände von Röntgenstrahler, Streukörper und Aufenthaltsort gilt für Abstände größer als 1 m näherungsweise das Abstandsquadratgesetz. Zusätzliche Effekte wie Störstrahlung aus dem Strahlenschutzgehäuse des Röntgenstrahlers werden durch empirisch ermittelte Faktoren berücksichtigt. Dieses Rechenmodell ist geeignet, großflächige Abschirmungen zu berechnen. Gleichzeitig werden für die in der Norm genannten Klassen von Röntgengeräten Betriebsdaten festgelegt welche üblicherweise nicht überschritten werden.

Für die Berechnung der durch die eingebaute Hohlwanddose entstehenden Strahlenexpositionen ist diese Vorgehensweise nicht geeignet. Sie würde auch bei beliebig kleinen Öffnungen zu hohen, nicht realistischen Ergebnissen führen.

Für die Anpassung dieses Rechenmodells müssen die Vorgaben der Röntgenverordnung berücksichtigt werden. Die Grenzwerte der Ganzkörperexposition und der Teilkörperexposition müssen eingehalten werden. Durch die Öffnungen in der Strahlenschutzwand entstehen Teilkörperexpositionen, die mit Hilfe dieses Rechenverfahrens abgeschätzt werden. Für die Teilkörperdosis gibt die Röntgenverordnung einen einzuhaltenden Grenzwert für nicht beruflich strahlenexponierte Personen von 50 mSv bzw. 15 mSv im Jahr vor. Die 15 mSv-Grenze ist repräsentativ für die strengste Anforderung und ist daher hier zugrunde gelegt.



Abbildung 3 Ansicht der Strahlenschutzdose

Die durch eine Öffnung entstehende Teilkörperexposition ist prinzipiell von der Strahlengeometrie abhängig. In dem Rechenmodell werden verschiedene Öffnungsflächen verwendet, welche sich aus der Anzahl der verwendeten Wandbauplatten, Hohlwand Dosen und dem Winkel der auftreffenden Strahlung ergeben. Es wird die orthogonale und die ungünstigste schräg auftreffende Strahlung betrachtet. Für die Streustrahlung ist die Annahme einer punktförmigen Streustrahlenquelle nicht korrekt. In diesem Fall muss von einer ausgedehnten Strahlenquelle ausgegangen werden, von der nur ein kleiner Teil am Messort sichtbar wird. Diese Einflüsse sind in dem Modell der DIN 6812 als Streustrahlenausbeute in 1 m Abstand vom Streukörper bereits berücksichtigt. Daher wird von diesem Wert der Dosis ausgehend gerechnet. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die registrierte Dosis von der Größe des verwendeten Detektors abhängt. Ein kleinerer Detektor würde bei gleicher Öffnung eine höhere Dosis registrieren als ein großer Detektor.

Damit das Ergebnis für die hier gemachte Bewertung unabhängig vom verwendeten Detektor wird, ist für die Berechnung der Mittelung der Dosis eine Fläche von $10 \times 10 \text{ cm}^2$ in 0,1 m Abstand von der fertigen Wand zugrunde gelegt. Diese Fläche ist international üblich zur Vereinheitlichung der Bewertung von Strahlenschutzmaßnahmen (Vergleiche auch DIN IEC 60601-1-3). Im Gegensatz zu dem klassischen Ansatz der DIN 6812 für die Berechnung großflächiger Abschirmungen werden hier folgende Änderungen und Randbedingungen einbezogen:

1. Der zulässige Grenzwert der Ortsdosis ist der kleinste Grenzwert für die Teilkörperdosis für nicht beruflich strahlenexponierte Personen 15 mSv (anstelle von 1 mSv im Jahr für eine Ganzkörperexposition).
2. Es wird die Dosis auf einer Fläche von 100 cm^2 gemittelt.
3. Es wird die Schwächung der fertigen Wand ermittelt und damit auch der Abstand von den Öffnungen auf 16 cm festgelegt. Das entspricht 10 cm Abstand von der Oberfläche der fertigen Wand.
4. Die Wände sind stets doppelt beplankt.
5. Der Streukörper ist im Mittel 1,5 m von der Wand entfernt, bei Dentalgeräten 0,5 bis 0,75 m (siehe DIN 6812)

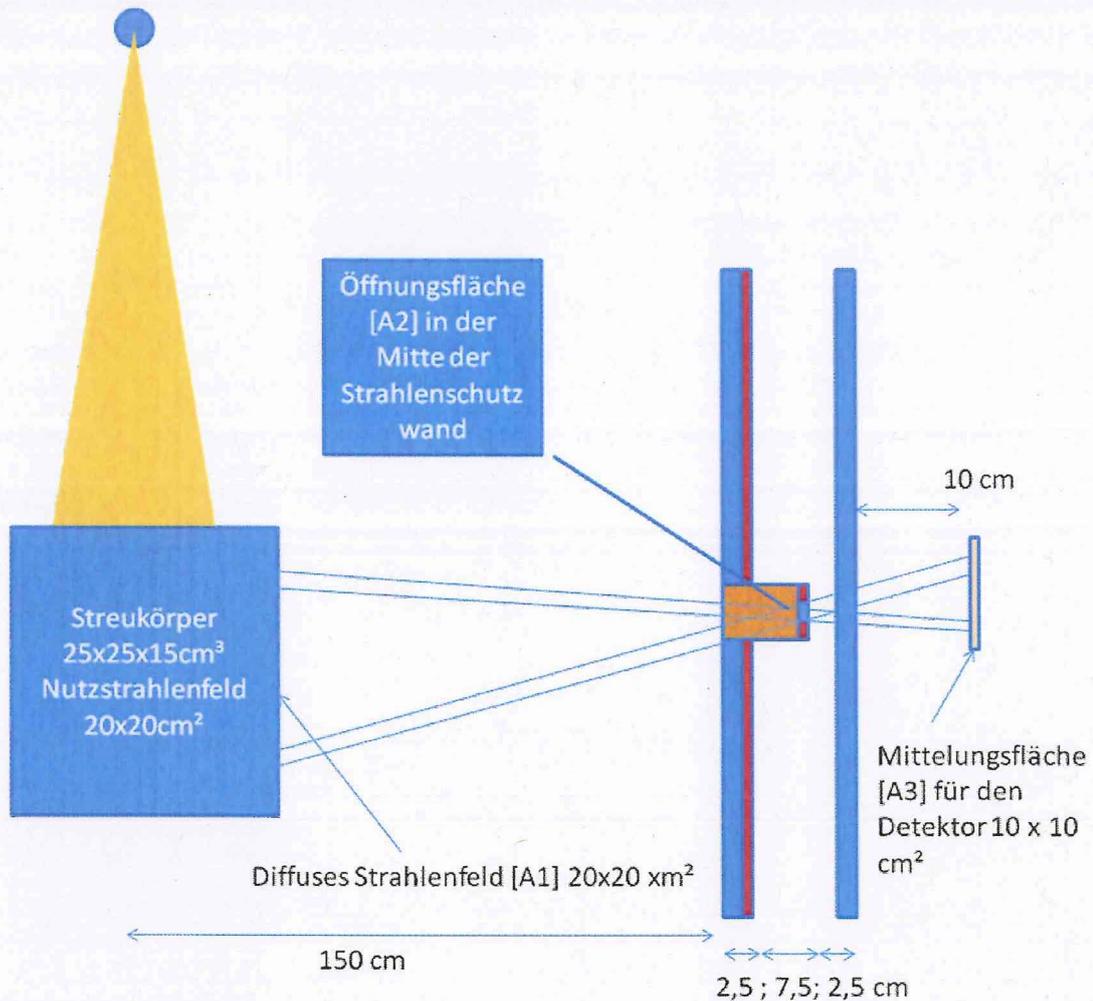


Abbildung 4 Strahlengeometrie

Die in der zu betrachtenden Mittelungsfläche A3 registrierte Dosis ist abhängig vom Abstand des Streukörpers von der Öffnung in der Wand und vom Abstand der Öffnung zu der Mittelungsfläche. Die ungeöffnete Wand ist ausreichend strahlenundurchlässig. Die Strahlenschutzwirkung der Dose selbst ist an den ungeöffneten Stellen besser als 1,5 mm Blei. Die registrierte Dosis ist dann in konservativer Näherung abhängig vom Verhältnis Lochdurchmesser zu Lochabstand. Die verschiedenen Öffnungen der Dose werden zu einer Öffnungsfläche zusammen gefasst.

Die Berechnung der Öffnungsfläche kann bei diagonaler Strahlrichtung annähernd als Schnittmenge von zwei gleich großen übereinander liegenden Kreisen angenommen werden. Diese Kreise sind um den Abstand zwischen der Wandplatte und dem Boden der Dose verschoben.

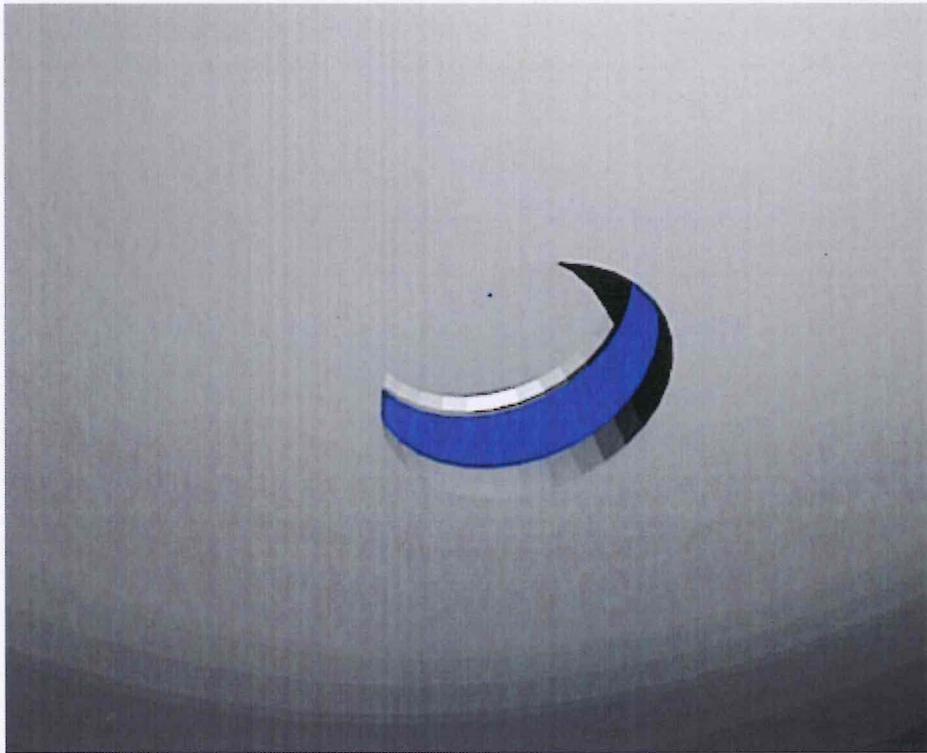


Abbildung 5 Ansicht des entstehenden Spaltes bei diagonaler Strahlrichtung. Die blaue Farbe zeigt den Anteil geringer Schwächung

Die Öffnungsfläche wurde mit Hilfe der CAD-Daten auf $11,6 \text{ cm}^2$ bestimmt. Dazu kommen im Mittel die Öffnungen von 2 Leitungsdurchführungen und 2 Laschenlagern.

Bei diagonaler Strahlrichtung ist die Fläche abhängig vom Winkel und von der Anzahl und Reihenfolge der verwendeten Strahlenschutzplatten in der die Dosen montiert werden. Um die Anzahl der möglichen Kombinationen zu begrenzen, sind die Konstruktionen gemäß Tabelle 2 berechnet worden.

Die Öffnungsfläche ist aber nur bei einer bleikaschierten Platte wegen der dünnen Abschirmschicht genau definiert. Bei Safeboardplatten entsteht ein kontinuierlicher Übergang bis zur ausreichend wirksamen Plattendicke. Daher werden hier größere Flächen angesetzt.

Die Fläche für 2 Safeboardplatten wurde auf $(11,6 \text{ cm}^2 * 2 + 2,7 \text{ cm}^2) \sim 26,0 \text{ cm}^2$ für zwei Safeboardplatten und auf $(11,6 \text{ cm}^2 + 2,7 \text{ cm}^2) \sim 14,3 \text{ cm}^2$ für 1 Safeboardplatte festgelegt.

Für diagonalen Strahleneinfall erhöht sich zusätzlich der Abstand zum Streukörper um den Faktor 1,4.

Bei orthogonaler Strahlrichtung sind 4 Leitungsdurchführungen und 4 Laschenlager im Strahlengang festgelegt worden.

Die $0,25 \text{ cm}^2$ pro Leitungsdurchführung und $1,1 \text{ cm}^2$ für ein Laschenlager ergeben $5,4 \text{ cm}^2$ Fläche für orthogonale Bestrahlung.

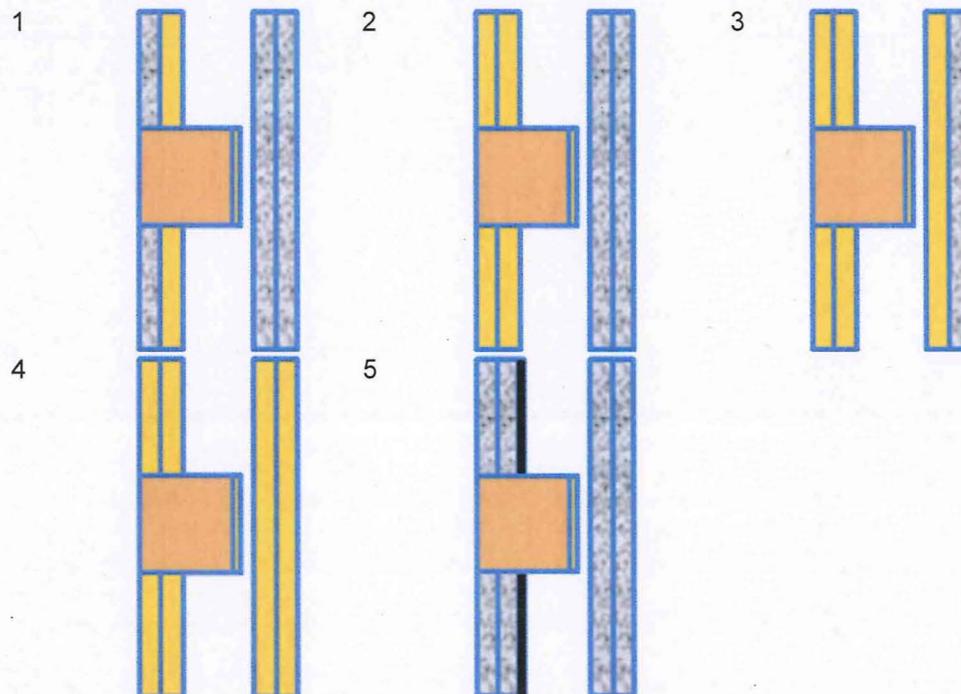
Für den Einbau in eine bleikaschierte Wand wurde die aus den CAD-Daten errechnete Öffnungsfläche von $11,6 \text{ cm}^2$ eingesetzt. Für die orthogonale Strahlrichtung wurde die teilweise Belegung der Laschenlager mit 2 mm Abschirmmaterial, die Schraube und die Kunststoffmasse zur Umspritzung berücksichtigt. Die festgelegte Öffnungsfläche von $1,12 \text{ cm}^2$ beruht auf einer ausgemessenen Röntgenaufnahme (Abbildung 2).

Notwendiger Bleigleichwert in mm Pb	Anzahl der Safeboardplatten Dosenseite	Anzahl der Safeboardplatten Rückseite	Festgelegte Öffnungsflächen in cm ²	Abbildung der Wandkonstruktion (s. Tabelle 2)
0,3	1	0	14,3	1, 5
0,4	1	0	14,3	1, 5
0,6	1	0	14,3	1, 5
1	2	0	39	2, 5
1,1	2	0	39	2, 5
1,5 *	-	-	11,6	5
1,75	2	1	39	3
2,75	2	2	39	4

Tabelle 1:

festgelegte Öffnungsflächen für Kombinationen von Safeboardplatten mit bis zu 3 normalen Gipskartonplatten:

* Die Kombination mit einer bleikaschierten Gipskartonplatte ist wegen der geringen Abschirmwirkung der rückseitigen Gipskartonwände bei Abständen ab 2,5 m für Übertisch- und Untertischdurchleuchtungsgeräte geeignet.



Legende
 Gipskarton
 Safeboard
 Gipskarton mit Bleikaschierung



Tabelle 2: Wandaufbau schematisch

Röntgen- geräte- klasse	Röntgenröhren- spannung und Betriebsbelastung		Dosis- aus- beute	Einfall- dosis in 1 m	Abstand Fokus Streu- körper	Einfalldo- sis am Streukör- per	Streu- strahlen- ausbeute- faktor	Gehäuse- durch- lass- strah- lung Korrektur- faktor
	[kV]	[mA*min/ Woche]	[mSv / mA*min]	[mSv / Woche]	[m]	[mSv/Woc- he]		
Dental- tubusgerät	70	10	6	60	0,2	1500	0,0002	1
Panorama- gerät	85	100	6	600	0,5	2400	0,0001	1
dent. Fern- aufnahme	80	10	5,5	55	1	55	0,001	1
Volumen- tomographie	100	50	8	400	0,5	1600	0,0008	1
Aufnahme- gerät	90	400	7	2800	1	2800	0,002	1
Chirurg. BV	80	400	5	2000	0,8	3125	0,002	1
CT	120	20000	13	260000	0,5	1040000	0,0001	3
Durchleuchtung UT	90	1200	7	8400	0,65	19882	0,002	1
Durchleuch- tung OT	90	3000	7	21000	1	21000	0,002	1
Therapie- simulator	90	1000	7	7000	1	7000	0,002	1
DSA	90	4000	7	28000	0,65	66272	0,002	1

Für Obertischdurchleuchtung und Therapiesimulator kann die Auslegung auf Nutzstrahlenabschirmung notwendig sein.

Tabelle 3

Vorgaben der DIN 6812:2010 für die Planung von Röntgenräumen für die Diagnostik

Berechnung der Strahlenschutzwirkung

Die Berechnung der Strahlenschutzwirkung erfolgt ausgehend von der Streustrahlenausbeute in 1 m Abstand von Streukörper. Dieser Wert ist gemäß DIN 6812 für verschiedene Gerätearten definiert. (Tabelle 3). Die abzuschirmende Dosis ist das Produkt aus Einfalldosis am Streukörper und Streustrahlenausbeutefaktor. Die Dosis wird auf minimale einzuhalten Abstände zur Wand (1,5 m bzw. 0,5 und 0,75 m für Dentalgeräte) umgerechnet.

Die Schwächung der Dosis erfolgt dann durch die Schichten der Wand. Im Bereich der Hohlwanddose wird die Schwächung außer durch das Material selbst im Wesentlichen durch das Verhältnis der Mittelungsfläche für die Teilkörperdosis (100 cm²) zu der Öffnungsfläche der Dose dargestellt. Die Schwächungsfaktoren für das Material hinter der Hohlwanddosenöffnung wurden über die Bleigleichwerte von Gipskarton und Safeboardplatten festgelegt. Als Kriterium für die Entscheidung zur Eignung eines Wandaufbaues ist der auf die Woche bezogenen Grenzwert der Teilkörperdosis von 300 µSv/Woche bzw. 15 mSv/Jahr festgelegt.

Auswertung

Für die in Tabelle 1 und 2 beschriebenen Wandaufbauten und Randbedingungen kann mit der beschriebenen Rechnung gezeigt werden, dass die Dosisgrenzwerte für eine Teilkörperexposition eingehalten werden.

Die bleifreie Strahlenschutzdose Typ 9074-01, Hersteller Fa. Kaiser GmbH & Co. KG, Schalksmühle, ermöglicht die Erstellung von bleifreien Strahlenschutzwänden für Röntgenräume mit den in DIN 6812 klassifizierten Röntengeräten im Röhrenspannungsbereich von 40 bis 150 kV.

Der beispielhaft dargestellte Wandaufbau (Abbildungen der Tabelle 2) in Verbindung mit der Tabelle 1 beschreibt den geeigneten Wandaufbau und die Anzahl und Position der einzusetzenden Leichtbauplatten für die Einhaltung der in der Planung gemäß DIN 6812 geforderten Bleigleichwerte. Die Anzahl und Position der eingesetzten bleifreien Leichtbauplatten in Verbindung mit der Elektroinstallationsdose sorgen für die Einhaltung der Grenzwerte gemäß Röntgenverordnung, ohne dass im Installationsbereich zusätzliche Abschirmungsmaßnahmen (z. B. Bleiumhausungen) erforderlich sind.

Die Elektroinstallationsdosen können sowohl als Einfachdose als auch in Mehrfachkombination in Verbindung mit dem Verbindungsstutzen Typ 9060-74 eingesetzt werden. Der Einbau ist sowohl einseitig als auch gegenüberliegend möglich. Im gegenüberliegenden Einbaufall wird im partiellen Bereich der Elektroinstallationsdose ein Bleigleichwert von 3 mm Pb erreicht. Bei gegenüberliegendem Verbau der Dosen sollte eine versetzte Leitungseinführung erfolgen, um durchgehende Öffnungen zu vermeiden. Die Installation muss in den Installationszonen gemäß DIN 18015-3 erfolgen.

Darüber hinaus eignet sich die bleifreie Strahlenschutzdose Typ 9074-01 auch für konventionelle Durchleuchtungsgeräte in Wandaufbauten mit nur einer Bleischicht. Der Grenzwert wird aufgrund der ermittelten der Öffnungsflächen rechnerisch erreicht.

TÜV NORD Röntgentechnik



Dipl.-Ing. Feldmann

TÜV NORD Röntgentechnik



Dipl.-Phys. Böhm