

Schwere Röntgenschürzen mit 0,50 mm Pb – sind sie überhaupt gerechtfertigt?

Autor: Dr.-Ing. Heinrich Eder, München

Personal in medizinischen Röntgeneinrichtungen bevorzugt häufig die schweren 0,50 mm statt der deutlich leichteren 0,35 mm Pb-Schutzschürzen in dem Bewusstsein, Strahlenschäden am eigenen Körper zu vermeiden. Dieses zunächst legitime Ansinnen führt jedoch oft zu einer erheblichen körperlichen Mehrbelastung – vor allem der Gelenke und der Wirbelsäule. Eine Umfrage unter Radiologen in den USA zeigte, dass diese infolge des Tragens schwerer Schutzschürzen häufig unter orthopädischen Beschwerden leiden [1]. Im Folgenden sollen aus praktischer Sicht die Argumente für und gegen das Tragen von 0,5 mm Pb-Schutzkleidung erörtert werden.

Vorgaben der Gesetzgebung

Röntgenschutzkleidung unterliegt der EU-Verordnung über persönliche Schutzausrüstung [2] und muss beim Inverkehrbringen einer Baumusterprüfung und Konformitätsbewertung unterzogen werden. Im Einzelnen gilt hier bezüglich des Gewichtes folgende Vorgabe:

- Unbeschadet ihrer Festigkeit und Wirksamkeit müssen PSA so leicht wie möglich sein.

Weiterhin schreibt §75 der neuen Strahlenschutzverordnung [3] vor, dass

- vorrangig bauliche und technische Schutzeinrichtungen verwendet werden sollen.

Falls vom Arbeitsablauf her möglich, sollen Schutzscheiben, Unterkörperschutz, Schutzkanzeln usw. eingesetzt werden, wie Abb. 1 am Beispiel koronarer Röntgenuntersuchungen zeigt. Schutzkleidung wird also von der Verordnung her als nachrangig eingestuft.

Vorgaben der Normung

Schutzkleidung muss entsprechend dem Stand der Technik (DIN EN 61331-3:2016 [4]) hergestellt werden. Der Standard weist für Schutzkleidung Bleigleichwerte von $\geq 0,25$ und $\geq 0,35$ mm aus. Die „größer-gleich“-Bedingung stellt sicher, dass die Schutzwerte 0,25 und 0,35 mm Pb nicht unterschritten werden dürfen. Ein Bleigleichwert von 0,50 mm wird in der Norm bewusst nicht erwähnt, da das Mehrgewicht gegenüber einer 0,35 mm Pb-Schürze je nach Größe bis zu 2 kg betragen kann. Der Grund ist, dass die Norm eine vernünftige Beziehung zwischen der Schutzwirkung und dem



Abb. 1: Schutzzone für femoralen Zugang in der Koronar-Angiographie bestehend aus Blei-Acrylglasscheibe mit Lamellenvorhang und Tisch-Seitenschutz, Demonstration am Alderson-Rando-Phantom (Foto Eder)

Tragegewicht – sprich der körperlichen Belastung – sicherzustellen hat. Ergonomie und Strahlenschutz sind hier - entsprechend dem ALARA-Prinzip - unter einen Hut zu bringen. Schwere Schutzkleidung mit 0,50 mm Pb und Schürzengewichten bis 10 kg (!) führen diesen Grundsatz allerdings ad absurdum. Diese Problematik

betrifft auch die rechtliche Seite des Arbeitsschutzes: Der Arbeitgeber ist verpflichtet, CE-konforme, persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen!

Gerätebezogene Maßnahmen

In jedem Fall muss laut Verordnung geprüft werden, ob der Strahlenschutz nicht durch gerätebezogene Maßnahmen, wie Schutzscheiben und Tisch-Seitenschutz, verbessert werden kann. Im Fall einer gerätebezogenen Schutzzone ist es sogar zulässig, Schutzkleidung mit Bleigleichwert 0,25 mm Pb zu tragen (siehe DIN EN 61331-3:2016). Bei Anwendung einer höhenverstellbaren Rundum-Schutzkanzel die den Körper ab Körpermitte abwärts schützt, wäre sogar das alleinige Tragen einer Schutzweste (mit ausreichender Überlappung zur Schutzkanzel) möglich, um den persönlichen Strahlenschutz sicherzustellen. Die körperliche Belastung des Untersuchers wird hierdurch erheblich reduziert und mögliche orthopädische Spätfolgen für den Anwender minimiert.

Patientenaufgaben

In vielen Fällen ist ein gerätebezogener Schutz nicht oder nur eingeschränkt möglich, z. B. an Koordinatentischen, die allseitig schwenkbar sind. In solchen Fällen ist zu prüfen, ob nicht strahlenabsorbierende Patientenaufgaben (Drapes) verwendbar sind, die den Bereich angrenzend an das Strahlenfeld abdecken. Phantommessungen bei der endoskopisch retrograden Cholangiopankreatikographie (ERCP) belegen, dass Untersucher und Assistenz durch eine spezielle Patientenaufgabe bis zu 80 % weniger exponiert sind [siehe Bericht in radiologie technologie 2/2019]. Von der Schutzwirkung profitiert neben dem Körperstamm vor allem auch der Schädel und die strahlenempfindlichen Augenlinsen der Anwender (Abb. 2).



Abb. 2: Verwendung einer strahlenabsorbierenden Patientenaufgabe bei ERCP. Die Auflage muss möglichst nahe am Strahlenfeld platziert werden, um eine hohe Schutzwirkung für Untersucher und Assistenz mit Standort am Kopfende zu erzielen (Foto Eder)

Physikalische Aspekte

Die Schutzwirkung von Pb-Strahlenschutzkleidung gegenüber Streustrahlung wurde mittels anthropomorphem Alderson Rando-Phantom durch Labormessungen bestimmt (Abb. 3, Tab. 1).

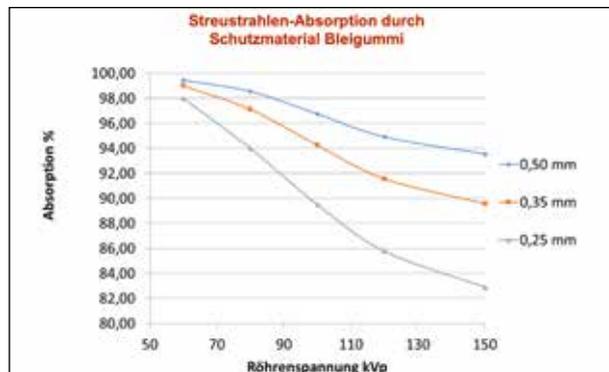


Abb. 3: Unter Streustrahlung gemessene Absorption von Schutzmaterialien mit verschiedenen Bleigleichwerten (Untersuchung Eder)

Tab. 1: Durchgelassener Strahlenanteil in Prozent der vor der Schürze gemessenen Dosis

| Bleigleichwert mm Pb | 80 kV | 120 kV |
|----------------------|-------|--------|
| 0,25 | 6,0 % | 14,0 % |
| 0,35 | 3,0 % | 8,5 % |
| 0,50 | 1,5 % | 5,0 % |

Für den Röhrenspannungsbereich um 80 kV, wie er bei Angiographien und Interventionen schwerpunktmäßig vorkommt, beträgt die Strahlendurchlässigkeit von 0,25 mm Pb 6,0 %, von 0,35 mm Pb 3,0 % und von 0,50 mm Pb 1,5 %. Da die Durchstrahlung der Schutzschichten meist nicht direkt frontal, sondern schräg erfolgt, ist die tatsächliche Schutzwirkung typischerweise höher als die Laborwerte. Entscheidend ist die Auswertung des amtlichen Dosimeters, das unter der Schürze getragen wird und damit die amtlich ermittelten Dosiswerte. Jeder strahlenexponierte Mitarbeiter kann diese Werte vom zuständigen Strahlenschutzbeauftragten erfahren. In der Regel sind die Werte < 0,1 mSv/Monat (untere Auswertegrenze). Anwender mit einer hohen Arbeitslast können jedoch bis zu 0,5 oder 1 mSv/Monat an Dosis akkumulieren. Damit wird jedoch weiterhin der gesetzliche Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 20 mSv/Jahr deutlich unterschritten.

Alternativ zu der retrospektiven, amtlichen Dosimetrie, kann die Dosis unter der Schürze mit Hilfe eines jederzeit ablesbaren elektronischen Hp(10)-Personendosimeters bestimmt werden. Ablesbare elektronische

Personendosimeter sind dem überwachungspflichtigen Personal auf Wunsch vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen. Sie können ggf. auch von der amtlichen Auswertestelle ausgeliehen werden.

Dosisabschätzung für Untersucher und Assistenz

Auch ohne Dosimeter kann man die Personendosis unter der Schürze abschätzen, wenn man die kumulierten Dosisflächenprodukte pro Jahr während der tatsächlichen Aufenthaltszeit der exponierten Person (Untersucher oder Assistenz) am Patienten kennt. Optional kann man mit einem typischen Dosisflächenprodukt pro Untersuchung und der Gesamtzahl der Untersuchungen pro Untersucher und Jahr eine hinreichende Abschätzung erzielen.

Beispielrechnungen

Die nachfolgenden Berechnungsformeln stammen aus klinischen Untersuchungen (Angiographie, CT-Interventionen), die der Autor initiiert hat. Dabei wurden die pro beschäftigte Person kumulierten Dosisflächen- bzw. Dosislängenprodukte zu den Hp(10)-Dosen am Körperstamm unterhalb der Schutzschürze in Beziehung gesetzt.

Hinweis: Üblicherweise wird das Dosisflächenprodukt (DFP) am Röntgengerät in der Einheit $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$ angezeigt. In den folgenden Formeln ist es in der Einheit $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ eingesetzt. Es gilt: $100 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2 = 1 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$.

Jahresdosis für die Assistenz unter einer 0,35 mm Schutzschürze

$$\text{Hp}(10)/\text{Jahr} = 0,000066 \cdot \text{DFP} \text{ (mSv)}$$

(mit DFP in $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ pro exponierte Person und Jahr)

Beispiel: An einem Herzkatheter-Arbeitsplatz beträgt laut Geräteanzeige das während des Aufenthaltes einer Assistenzperson über ein Jahr kumulierte Dosisflächenprodukt $20.000 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$. Daraus ergibt sich die für die Assistenz berechnete Personendosis Hp(10) unter der Schürze wie folgt:

$$\text{Hp}(10)/\text{Jahr} = 0,000066 \cdot 20.000 = 1,3 \text{ mSv}$$

Jahresdosis für den Untersucher unter einer 0,35 mm Schutzschürze

Bei $20.000 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ ergibt sich für den Untersucher:

$$\text{Hp}(10)/\text{Jahr} = 0,00028 \cdot \text{DFP} = 5,6 \text{ mSv}$$

Als fiktive kritische Grenze kann eine Jahresdosis von 6 mSv gelten. Diese Dosis stellt die Grenze vom Überwachungsbereich zum Kontrollbereich dar. Liegt die berechnete Personendosis darunter, bietet die 0,35 mm Schutzschürze eine ausreichende Schutzwirkung. Die oben beschriebenen Abschätzungen werden in weit über 90 % der Fälle Dosen unterhalb 6 mSv pro Jahr ergeben. Bei Dosen darüber ist eine Indikation

für die 0,5 mm Schutzschürze in Betracht zu ziehen, falls nicht andere Verbesserungen möglich sind (siehe oben).

Für CT-Interventionen ergibt sich die folgende Formel:

$$\text{Hp}(10)/\text{Jahr} = 0,000016 \cdot \text{DLP} \text{ (mSv)}$$

(mit DLP: Dosislängenprodukt $\text{mGy}\cdot\text{cm}$ pro Untersucher und Jahr)

Typische Dosislängenprodukte für Punktionen und Hochfrequenzablation liegen bei $150 \text{ mGy}\cdot\text{cm}$.

Nimmt man drei Interventionen pro Untersucher und Tag an (200 Tage entsprechend $90.000 \text{ mGy}\cdot\text{cm}/\text{Jahr}$), beträgt die Jahresdosis unter der 0,35 mm Röntgensschürze 1,44 mSv. Auch hier ist man also mit der 0,35 mm Röntgensschürze im grünen Bereich.

Tragestelle des Dosimeters

Entscheidend sind also die Messwerte des unter der Röntgensschürze getragenen Dosimeters. Um hier praxistaugliche Werte zu bekommen, muss das Dosimeter am Rumpf vorne angebracht sein und zwar möglichst mit Blickrichtung auf die Strahlenquelle, d. h. auf das durchstrahlte Patientenvolumen (Abb. 4). Wenn z. B. ein Dosimeter in oder außen an der Hosentasche getragen wird, ist es meist falsch orientiert und liegt ggf. sogar direkt hinter dem Tisch-Seitenschutz. Wenn hier überhaupt eine verwertbare Dosis gemessen wird, dann ist sie nicht repräsentativ. Deshalb ist der Trageort des amtlichen Dosimeters entscheidend für eine verwertbare Dosimetrie.

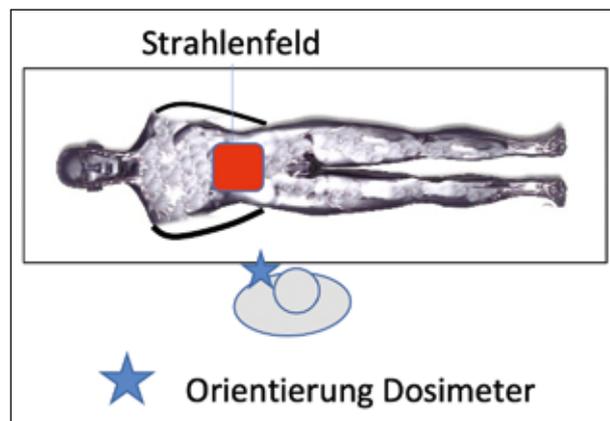


Abb. 4: Orientierung des Personendosimeters zur Strahlenquelle (durchstrahltes Patientenvolumen). Die Anbringung sollte etwa in Brusthöhe erfolgen

Auswirkung auf die Knochenmarksdosis

Die Auswirkung von ungeschützten Körperbereichen auf die Knochenmarksdosis des Gesamtkörpers wird im folgenden Beispiel erläutert (Hinweis: Die vereinfachte Berechnung bezieht nicht die absorbierenden Gewebe vor dem Knochenmark ein, was aber am Grundsätzlichen nichts ändert).

Die Einfallsdosis vor einer 0,5 mm Pb Röntgenschürze soll bei einer Röhrenspannung von 80 kV 100 Millisievert (mSv) betragen. 95 % des roten Knochenmarks liegen im geschützten Bereich (Körperstamm). Die ungeschützten Bereiche (Schädel, Schultergelenke, Oberarm) enthalten zusammen ca. 5,0 % des Gesamt-Knochenmarks. Dann erhält gemäß Tabelle 1 der durch 0,5 mm Pb geschützte Teil des roten Knochenmarks 1,5 % der Einfallsdosis, d.h. 1,5 mSv. Der ungeschützte Bereich wird mit 100 % exponiert. Die Umrechnung auf den Gesamtkörper ergibt für den geschützten Bereich $100 \cdot 0,95 \cdot 0,015 = 1,4$ mSv und für den ungeschützten Bereich $100 \cdot 0,05 \cdot 1,0 = 5$ mSv

Ergebnis: Bezogen auf den Gesamtkörper beträgt die im ungeschützten Bereich applizierte Knochenmarksdosis ein Mehrfaches der Knochenmarksdosis im geschützten Bereich.

Dieses Beispiel zeigt, dass es ineffektiv ist, eine 0,5 mm Schutzschürze zu tragen, wenn nicht Schädel, Schultergelenke und Oberarme zusätzlich geschützt werden. Hierzu gehört auch der neuerdings erforderliche Flankenschutz. Röntgenschürzen, die nach 2014 in den Verkehr gebracht wurden, müssen gemäß DIN EN 61331-3:2016 vorne 60 % der Körperumfangs - also auch die Körperflanken - abdecken.

Was sagt das Schürzenlabel aus?

Auf dem Schürzenlabel muss u. a. der zugelassene Röntgenröhrenspannungsbereich ausgewiesen sein. Röntgenschürzen werden nach Standard DIN EN 61331-3:2016 für den Spannungsbereich 50 bis 110 kV spezifiziert. Für konventionelle Untersuchungsmodalitäten ist das ausreichend. Die Norm erwähnt darüber hinaus ausdrücklich, dass unter Streustrahlung, wie sie ja an diagnostischen Arbeitsplätzen vorliegt (ausgenommen sind nur die Hände, die sich ggf im Nutzstrahl befinden), die Anwendung der Röntgenschürze bis 120 kV erfolgen kann. Jede bis 110 kV zugelassene Röntgenschürze ist demnach unter normalen Arbeitsbedingungen bis 120 kV einsetzbar. Dies gilt auch für CT-Interventionen. Eigene Untersuchungen ergaben, dass selbst bleireduzierte Schutzkleidung, die bis 110 kV zugelassen ist ohne weiteres bei 120 kV am CT eingesetzt werden kann. Weniger geeignet sind in diesen Fällen ggf. bleifreie Röntgenschürzen – außer der Hersteller weist die Schutzwirkung bei 120 kV tatsächlich nach.

Erst bei Röhrenspannungen über 120 kV ist eine Schürze, die bis 150 kV zugelassen ist (möglichst aus reinem Bleimaterial) erforderlich.

Zusammenfassung

- Geräteseitiger Schutz (z. B. Schutzscheibe mit Tisch-Seitenschutz bzw. Schutzkanzel) besitzt immer Priorität gegenüber persönlicher Schutzausrüstung.

- Orientierung des Personendosimeters zur Strahlenquelle (durchstrahltes Patientenvolumen). Die Anbringung sollte etwa in Brusthöhe erfolgen.
- Dort, wo geräteseitiger Schutz nicht möglich ist, können Patientenauflagen (Drapes) die Strahlenbelastung des Personals deutlich herabsetzen (z. B. 80 % bei ERCP)
- Normgemäße Schutzschürzen aus Pb oder bleireduziertem Material mit 0,35 mm Pb-Gleichwert erfüllen die Schutzwirkung an diagnostischen Arbeitsplätzen bis 120 kV und können auch am CT bis 120 kV getragen werden.
- Bei CT-Arbeitsplätzen mit Spannungen über 120 kV sollten 0,35 mm Schutzschürzen aus reinem Pb bevorzugt werden, da Pb bei diesen Strahlenqualitäten den besten Schutz bietet. Diese Schürzen sind in der Regel leichter als bleireduzierte Schutzschürzen mit 0,50 mm Pb-Gleichwert.
- Schutz durch Oberarmansätze verhindert das seitliche Eindringen der Strahlung in den Thorax und trägt erheblich zur Reduzierung der Knochenmarksdosis bei.
- Auskunft über die tatsächliche Exposition gibt in jedem Fall das richtig angebrachte amtliche Personendosimeter oder ein direkt ablesbares elektronisches Personendosimeter, das am Oberkörper unter der Schürze (ausgerichtet zur Strahlenquelle) getragen wird.

Folgerungen

0,50 mm Röntgenschürzen stellen eine erhöhte Skelettbelastung mit degenerativem Potential dar und sind nur sehr selten notwendig. In deutlich über 90 % der Fälle ist die Schutzwirkung der 0,35 mm Röntgenschürze ausreichend. 0,50 mm Röntgenschürzen können – falls überhaupt notwendig – in den allermeisten Fällen durch adäquate Strahlenschutzmaßnahmen, wie geräteseitigem Strahlenschutz bzw. strahlenabsorbierende Patientenauflagen (Drapes) vermieden werden. Ergonomie und Strahlenschutz müssen stets zusammen betrachtet werden um optimale Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Literatur

1. Goldstein JA, Balter S, Cowley M, Hodgson J, Klein LW: Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2004;63(4):407-11.
2. Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates
3. Strahlenschutzgesetz mit Verordnungen, Stand 31. 3. 2019, Reguvis Bundesanzeiger Verlag
4. DIN EN 61331-3:2016-09 Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik - Teil 3: Schutzkleidung, Augenschutz und Abschirmungen für Patienten. Beuth Verlag