

1 Radiologe  
2 <https://doi.org/10.1007/s00117-021-00809-3>  
3 Angenommen: 12. Januar 2021

4 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von  
5 Springer Nature 2021

Heinrich Eder<sup>1</sup> · Helmut Schlattl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> vormals Landesamt für Umwelt Bayern, München, Deutschland

<sup>2</sup> Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), München, Deutschland

## Neues Schutzkonzept: Optimierte Röntgenschürzen könnten 50 % leichter sein

### Geltendes Schutzkonzept muss auf den Prüfstand

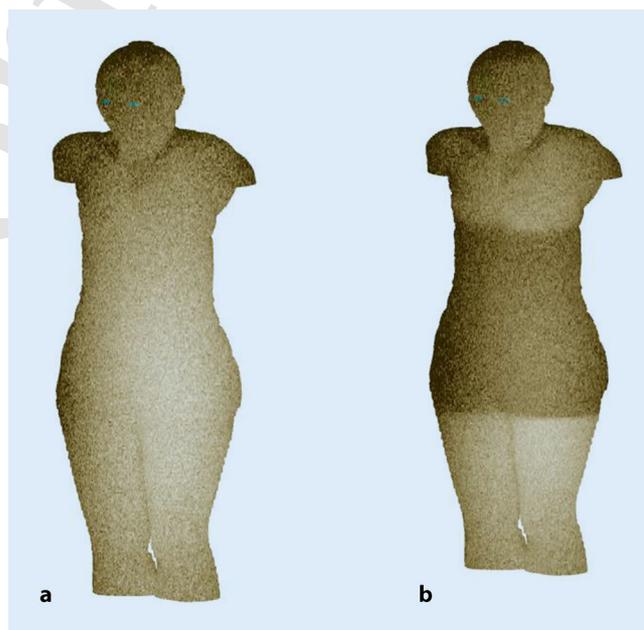
Strahlenschutzmaßnahmen beruhen auf dem Grundsatz der Rechtfertigung und Optimierung [1]. Die Höhe der individuellen Dosen soll so niedrig gehalten werden, wie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher (und wohl gesundheitlicher) Faktoren vernünftigerweise erreichbar.

Das derzeit aktuelle Konzept bei Röntgenschutzkleidung muss diesbezüglich dringend auf den Prüfstand! Wieviel Schutz ist wirklich erforderlich, erhöht ein Mehr an Gewicht in jedem Fall die Schutzwirkung, und ist das hohe Gewicht hinsichtlich möglicher skeletaler Schädigungsmechanismen gerechtfertigt? Bis jetzt gilt häufig noch die Devise, dass ein Rundumschutz die sicherste Lösung darstellt, was dazu führt, dass sich Anwender teilweise in möglichst schwere Schürzen „einpacken“. Obwohl die 0,5 mm Pb-Schürze nicht dem derzeitigen europäischen Standard [2] entspricht, wird sie zur Prävention vor vermeintlichen Strahlenschäden dennoch verwendet. So wiegen manche geschlossenen Strahlenschutzschürzen und -kostüme bis zu 8 oder gar 9 kg. Schwere Schutzkleidung kann bei längerem Tragen Gelenk- und Wirbelsäulenbeschwerden sowie ggf. auch bleibende Schäden auslösen und infolge physischer Belastung die Arbeitsqualität beeinträchtigen [3]. Als *Benchmark* wäre anzustreben, dass das medizinische Personal – insbesondere weibliche Beschäftigte – bei längerem Tragen mit

nicht mehr als 5 kg belastet werden. Diese Gewichtslimitierung fordern die geltenden Arbeitsschutz-Richtlinien und der Leitfaden für die arbeitsmedizinische Vorsorge der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [4] für das langdauernde Tragen. Dass das aktuelle *Rundum*-Schutzkonzept überholt ist und durch eine stärker differenzierte Betrachtungsweise unter Einbeziehung organspezifischer Strahlensensibilität ersetzt werden sollte, haben aktuelle Monte-Carlo-Simulationen mit Hilfe eines anthropomorphen ICRP-Referenzmodells [5, 6] sowie umfangreiche Personendosismessungen an interventionellen Arbeitsplätzen [7] bestätigt.

### Effektivdosisbezogene Schutzwirkung

Die Effektivdosis ist ein gewichtetes Ganzkörper-Dosismaß, das die unterschiedliche Strahlensensibilität von Organen und Geweben berücksichtigt und das Langzeit-Strahlenrisiko derzeit am besten abbildet. **Tab. 1** enthält die aktuell gültigen Organ/Gewebe-Wichtungsfaktoren,  $W_T$ , welche die relative Strahlensensibilität beschreiben. Im Strahlenschutzgesetz [8] basieren die zulässigen Ganzkörperdosen deshalb auf der Effektivdosis als wichtigstem Risiko-Indikator.



**Abb. 1** ◀ Visualisierung der Hautdosis einer Untersucherin (ICRP-Referenzmodell) bei 30° seitlicher Einstrahlung (ROT 30°) hinter einer 0,25-mm-Schutzschürze (a) und zusätzlichem Unterkörperschutz mit 0,25 mm Pb bis zur Brust (b). Skalierung: helle Bereiche = hohe Dosis. (© Die Autoren, alle Rechte vorbehalten)

**Tab. 1** Beiträge der einzelnen Organexpositionen zur Effektivdosis hinter einer 0,25 mm Blei-Schutzschürze bei 100 kV Röhrenspannung. Fett gedruckte Werte betreffen ganz oder teilweise den unteren Torso vom Schambein bis zur Brust. Die Untersucherin ist hier 30° nach rechts gedreht mit Blick in den Monitor

Untersucherin ROT 30° mit Schürze 0,25 mm Pb 100 kV	Organ-Wichtungsfaktor (w <sub>T</sub> )	Beitrag zur Effektivdosis	
		Patient stehend (%)	Patient liegend (%)
Aktives Knochenmark	0,12	7,7	7,2
Darmwand	0,12	24,8	21,4
Lungen	0,12	4,4	5,7
Magenwand	0,12	17,1	19,8
Brust, total	0,12	7,4	10,1
Restkörper	0,12	9,8	10,2
Gonaden	0,08	10,5	8,3
Harnblase	0,04	11,5	8,8
Speiseröhre	0,04	1,1	1,5
Leber	0,04	2,3	2,6
Schilddrüse	0,04	1,6	2,1
Endosteum	0,01	0,8	0,8
Gehirn	0,01	0,1	0,2
Speicheldrüsen	0,01	0,3	0,5
Haut, total	0,01	0,8	0,8

Das derzeitige Design von Schutzschürzen trägt dieser differenzierten Betrachtung leider nicht Rechnung.

Überwiegend werden bei Verfahren mit hoher Strahlenexposition, wie Angiographien und Interventionen, Patienten im Liegen geröntgt. Das bedeutet, dass Untersucher/Operateure vor allem im Bereich des Beckens und Abdomens exponiert werden, da diese etwa in gleicher Höhe wie das durchstrahlte Patientenvolumen liegen, wie **Abb. 1** mit Hilfe einer Grauwert-Skalierung zeigt. Gerade hier befinden sich jedoch auch die strahlensensibelsten Organe wie Darm, Magen, Harnblase und Gonaden. Auch ein Teil des aktiven Knochenmarks ist im Unterkörper/Beckenbereich konzentriert. Computersimulationen mit Hilfe des weiblichen ICRP-Referenzphantoms zeigen, dass bei den meisten radiologischen Verfahren die Untersucher/Operateure über 80 % der effektiven Dosis im Körperabschnitt von den Gonaden bis zu Brust erhalten, mit Schwerpunkt etwa in Tischhöhe. Wird nun das Schutzmaterial in dieser Region konzentriert, dann ist es hinsichtlich Reduzierung der Effektivdosis besonders wirk-

sam. Das Gewicht kann an anderer Stelle, wo es ineffektiver ist, eingespart werden.

### Exposition des Rückens gering

Bei radiologisch gestützten Eingriffen sind Untersucher während der Durchstrahlungsphasen den Patienten zugewandt bzw. blicken in Richtung Monitor. Überwiegend erfolgt die Exposition daher frontal bis max. 30 Grad lateral (Bemerkung: Dass Untersucher mit dem Rücken zum Patienten stehen und zugleich die Strahlung einschalten, kann wohl ausgeschlossen werden). Eine klinische Studie mit Personendosismessungen bei verschiedenen interventionellen Szenarien (Endoskopie, Koronarangiographie usw.) hat am Rücken der Anwender nur marginale Dosen ergeben, die einen kompakten Rückenschutz in keiner Weise rechtfertigen [9]. Auch bei Assistenzkräften und Co-Untersuchern wurden die Rückendosen gemessen. Diese drehen sich beim Zureichen von Instrumenten usw. auch um und erhalten eine Streustrahlenexposition von hinten. Da sie vom Patienten meist weiter entfernt sind, wurden auch hier nur marginale Dosen ermittelt. Ein Minimalschutz des

Rückens mit z. B. 0,12 mm Bleigleichwert (statt derzeit 0,25 mm) ist daher im klinischen Alltag völlig ausreichend. Dagegen sollten die Körperflanken bis über den Beckenkamm hinaus abgeschirmt sein, um bei Drehung des Untersuchers bis zu 30° noch einen wirksamen Seitenschutz zu gewährleisten.

Eine weitere Fragestellung ergibt sich bei Betrachtung der strahlenbiologischen Relevanz des Bereiches unterhalb der Hüftgelenkephysen. Ab Mitte Oberschenkel findet sich bei Erwachsenen kein aktives Knochenmark mehr [10]. Auch hier könnte die Schutzmaterialstärke deutlich reduziert oder der Schutz ganz weggelassen werden, da der Beitrag zur Effektivdosis gering ist (ca. 1–2%). Zudem ist meist ein Tisch-Seitenschutz vorhanden.

### Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen

Es wurden 30 Szenarien mit verschiedenen Strahlrichtungen und Orientierungen der Anwender bzw. Patienten mit Hilfe des Referenzphantoms berechnet. **Abb. 1** zeigt als Beispiel die Visualisierung der Hautdosisverteilung mit Hilfe von Grauwerten am weiblichen ICRP-Referenzmodell mit Standort 30 cm vom liegenden Patienten. Wie ersichtlich, erfolgt die Hauptexposition im Bereich des Unterkörpers, etwa in Tischhöhe. Wird ein Unterkörperschutz von 0,25 mm Pb vom Schambein bis zu Brust getragen und darüber eine leichte Überschürze mit 0,25 mm Pb, kann – zusammen mit der reduzierten Materialstärke am Rücken und ab Mitte Oberschenkel – das Gewicht gegenüber einer 0,35 mm Vollschürze bei gleichbleibender Effektivdosis um 50 % vermindert werden.

### Diskussion

Es geht hier nicht darum, die Strahlenschutzwirkung gegen das Gewicht der Schutzkleidung auszuspielen, sondern in erster Linie darum, das Gewicht bei gleicher Schutzwirkung zu vermindern! Was nützt eine Abschirmung des Rückens, wenn dort, wie Personendosismessungen an 50 interventionellen Arbeitsplätzen ergaben, nur eine margi-

113 nale Exposition stattfindet? Das gilt auch  
114 für Co-Untersucher und die Assistenz,  
115 wobei die Raumgröße (Rückstreuung/  
116 Tertiärstrahlung von den Wänden) bei  
117 den üblichen Größen der Applikations-  
118 räume nur eine untergeordnete Rolle  
119 spielt. Die Normung für Strahlenschutz-  
120 kleidung [2] hat den Aspekt der Rücken-  
121 exposition bisher kaum berücksichtigt.

122 Die nichtgeschützten Körperregio-  
123 nen wurden in diese Untersuchung  
124 bewusst nicht einbezogen, da in die-  
125 sem Zusammenhang ausschließlich die  
126 Effizienz von Schutzschürzen evaluiert  
127 wird. Wenn der Schutz des Gesamtkör-  
128 pers konsequent verfolgt wird, müssen  
129 zumindest auch der Schädel und die  
130 Oberarmansätze geschützt werden. Eine  
131 Abschätzung zeigt, dass sich die Effek-  
132 tivdosis bei ungeschütztem Schädel um  
133 ca. 10% erhöht.

134 Insgesamt haben die Untersuchun-  
135 gen ergeben, dass bei herkömmlichen  
136 Schutzschürzen ein nicht zu vernach-  
137 lässiger Anteil des Schutzmaterials  
138 nur wenig zum Schutz beiträgt und im  
139 Wesentlichen unnötiges Zusatzgewicht  
140 darstellt. Schutzschürzen mit optimier-  
141 ter Materialverteilung könnten deutlich  
142 leichter sein, ohne dass sich das Strahlen-  
143 risiko der Anwender dadurch erhöht. In  
144 vielen Fällen ist ja auch noch der Tisch-  
145 Seitenschutz und eine Bleiacrylglas-  
146 scheibe vorhanden. Die Bemessung der  
147 Schutzschürze erfolgt jedoch meist in  
148 der Weise, als wären die Schutzvorrich-  
149 tungen nicht existent oder unwirksam.  
150 Dabei kann ein optimiertes System aus  
151 Tisch-Seitenschutz, Schutzscheibe und  
152 zusätzlicher Patientenaufgabe (Drape)  
153 eine Schutzschürze von der Abschirm-  
154 wirkung her durchaus ersetzen [11].

## 156 Ausblick

158 Das neue Schutzkonzept kann – un-  
159 ter Beibehaltung der Schutzwirkung –  
160 durch Gewichtsreduzierung Skelett-  
161 schäden bei langdauernder Tätigkeit  
162 verhindern und zur Verbesserung des  
163 körperlichen Wohlbefindens und der  
164 Arbeitsqualität beitragen. Hinzu kommt  
165 ein wesentlich geringerer Ressourcen-  
166 verbrauch einschließlich geringerer Ent-  
167 sorgungsmengen von umweltbelasten-

den Schwermetallen. Das neue Konzept  
sollte deshalb von den Schürzenherstel-  
lern schnellstmöglich umgesetzt werden.  
Das Hauptaugenmerk des Untersucher-  
schutzes sollte dennoch immer auf ge-  
rätebezogene Schutzmaßnahmen wie  
Schutzscheiben, Tisch-Seitenschutz und  
Patientenaufgaben (Drapes) gerichtet  
werden.

## Korrespondenzadresse



**Dr. Heinrich Eder**  
vormals Landesamt für  
Umwelt Bayern  
Am Stadtpark 43,  
81243 München, Deutschland  
eder-h@arcor.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** H. Eder und H. Schlattl geben an,  
dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine  
Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt.  
Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort  
angegebenen ethischen Richtlinien.

## Literatur

1. Bundesamt für Strahlenschutz (2009) ICRP Publikation 103 (Deutsche Ausgabe)
2. International Electrotechnical Commission (2014) Protective devices against diagnostic medical X-radiation, EN 61331 Part 3: Protective clothing, eyewear and protective patient shields
3. Goldstein JA, Balter S, Cowley M, Hodgson J, Klein LW (2004) Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice. *Cather Cardiovasc Interv* 63(4):407–411
4. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020) Heben, Halten Tragen sowie Gefährdungsbeurteilung mit den Leitmerkmalmethoden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin
5. ICRP (2009) Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110
6. ICRP (2010) Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures. ICRP Publication 116;
7. Eder H, Schlattl H (2020) Shielding effectiveness of x-ray protective garment. Veröffentlichung „under review“ bei Physica Medica
8. Bundesanzeiger Verlag GmbH (Hrsg) (2019) Strahlenschutzgesetz mit Verordnungen
9. Eder H, Seidenbusch M, Oechler LS (2020) Tertiary X-radiation—a problem for staff protection? *Radiat Prot Dosimetry*. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa043>
10. Malkiewicz A, Dziedzic M (2012) Bone marrow reconversion—imaging of physiological changes

in bone marrow. *Pol J Radiol* 77(4):45–50. <https://doi.org/10.12659/pjr.883628>

11. Eder H, Seidenbusch M, Treitl M, Gilligan P (2015) A new design of a lead-acrylic shield for staff dose reduction in radial and femoral access coronary catheterization. *Fortschr Röntgenstr* 187:915–923