

Abschirmungen bei zahnärztlichen Röntgen- aufnahmen

Zur Wirksamkeit von Strahlenschutzmitteln
bei Röntgenaufnahmen am Patienten

Jakob Roth

Radiologische Physik, Universitätsspital Basel

Schlüsselwörter:

Röntgenaufnahmen, Strahlenschutz, Strahlenexposition

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. phil. nat. Jakob Roth

Radiologische Physik

Universitätsspital Basel

CH-4031 Basel

E-Mail: jroth@uhbs.ch

(Texte français voir page 1155)

Einleitung

Bei einer dentalen Röntgenaufnahme am Patienten wird üblicherweise ein Bleigummikragen zum Schutz der Schilddrüsen oder eine Halbschürze zum Schutz der vorderen Körperpartie verwendet. Andernfalls hat der Zahnarzt wahrscheinlich zumindest ein schlechtes Gewissen, da er glaubt, den Patienten ungenügend vor ionisierenden Strahlen zu schützen. Ist diese Praxis heute noch gerechtfertigt?

Eines der drei Strahlenschutzprinzipien fordert eine Optimierung sowohl der Strahlenexposition als auch des Schutzwandwertes. Dafür wird auch der Begriff ALARP verwendet: «as low as reasonably practicable» («so wenig Strahlung wie vernünftigerweise praktikabel»). Dabei sollen sowohl die Dosen in den einzelnen Organen wie auch die effektive Dosis (entspricht ungefähr der mittleren Ganzkörperdosis) berücksichtigt werden. In der Strahlenschutzverordnung (BAG 1994) findet man den Hinweis (Art. 6, Absatz 3): «Der Grundsatz der Optimierung gilt als erfüllt bei Tätigkeiten, welche in keinem Fall zu einer effek-

tiven Dosis von mehr als 10 μ Sv (Mikro-Sievert) pro Jahr für nichtberuflich strahlenexponierte Personen führen.»

In der Dentalradiologie ist das meistbetroffene Risikoorgan die Schilddrüse. Gemäss Definition trägt diese Organdosis 5% zur effektiven Dosis bei. Neben Ösophagus (mit einem Gewicht von 5%) und Haut (1%) sind im Schädelbereich das rote Knochenmark (12%) und die Knochenoberfläche (Gewicht 1%) weitere strahlenempfindliche Gewebe. Da deren Massenanteile im bestrahlten Gebiet im Vergleich zum gesamten Körper klein sind (etwa 12%), erreichen die betreffenden Beiträge nur kleine Werte. Andere Organe im Schädelbereich gelten als weniger strahlensensibel und werden deshalb für die Bestimmung der effektiven Dosis nicht generell berücksichtigt. Sie sind im Fall von höheren Dosen unter den «übrigen Organen» enthalten (insgesamt 5%). Organe ausserhalb des Nutzstrahlenkegels können durch Streustrahlung exponiert werden. Diese stammt einerseits aus Strahlung, welche das Röntgenröhrengehäuse ausserhalb des einblendeten Strahlenfeldes oder den Tubus durchdringt, durch Luftstreuung oder durch Rückstreuung (z.B. an Kopfstütze).

Bei zahnärztlichen Röntgenuntersuchungen werden üblicherweise Bleigummiabschirmungen in Form eines Halsschutzes oder einer Halbschürze verwendet, um den Patienten vor Strahlung ausserhalb des Nutzstrahlenfeldes zu schützen. Die vorliegenden Messungen zeigen jedoch, dass die Schutzmittel in diesem Fall praktisch keinen Nutzen für den Patienten zur Folge haben. Es ist die im Körper selber erzeugte Streustrahlung, welche die Organdosen ausserhalb des Nutzstrahlenfeldes verursacht. Andere Strahlenschutzmassnahmen als Bleigummiabschirmungen sind wirkungsvoller und sollten vermehrt berücksichtigt werden. Allerdings sind die Dosen bei dentalen Röntgenaufnahmen meistens sehr klein.

Diese Strahlung kann teilweise durch eine Abschirmung an der Körperoberfläche reduziert werden. Zusätzlich entsteht jedoch Streustrahlung im Nutzstrahlenfeld innerhalb des Patienten, insbesondere am Zahn- und Knochenmaterial bzw. an Metallen. Ist diese Strahlung einmal entstanden, so kann sie nicht mehr reduziert werden und exponiert die Organe auch ausserhalb der abzubildenden Körperregion.

In der Röntgenverordnung (BAG 1998) wird verlangt, dass «bei jeder Röntgenanlage die notwendigen Schutzmittel vorhanden sein und sinnvoll eingesetzt werden müssen» (Art. 5, Absatz 5). Im Anhang 2 der Röntgenverordnung ist «die Minimalausrüstung an Mitteln zum Schutz von Patient oder Patientin, Personal und Dritten» aufgeführt, insbesondere in Zahnarztpraxen für zahnärztliche Kleinröntgenanlagen bis 70 kV und für die Dentaltomografie.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wie die üblichen Abschirmungen an der Patientenoberfläche die Organdosen bei einer Röntgenaufnahme beeinflussen, insbesondere in den Schilddrüsen und Gonaden. Damit kann der sinnvolle Einsatz von Schutzmitteln beurteilt werden.

Material und Methodik

Es wurden Dosismessungen an einem anthropomorphen Phantom durchgeführt. Dazu wurde das Alderson-Phantom verwendet, bei dem in einem gewebeäquivalenten Material ein Skelett, Lungennachbildungen und Luftkavitäten vorhanden sind. Das Phantom ist beispielsweise beschrieben in KIEFER et al. (2004). Die Hals-Schulter-Region wurde durch eine 10 cm dicke Masonitschicht ersetzt. Dieses Material aus gepressten ölgehärteten Holzfasern ist ebenfalls gewebeäquivalent. Darin wurde von dorsal eine Bohrung vorgenommen bis auf die Höhe der Schilddrüsen, d. h. 3 cm von ventral. Durch diese Bohrung konnte eine kalibrierte Ionisationskammer (Typ PTW M23331, Volumen 1 cm^3) eingeführt und die Dosis an der Schilddrüse gemessen werden. Die Messanordnung ist in Abb. 1 dargestellt. Messungen an der Oberfläche des Phantoms und am Ort der Gonaden erfolgten mit der gleichen Ionisationskammer.

Die zahnärztlichen Aufnahmen wurden mit einem Dentalröntgengerät mit folgenden Einstellparametern simuliert: periapikale Aufnahme der unteren Frontregion, 70 kV, Filter 2,5 mm Al, 1,6 mAs, Rundtubus 5,3 cm Durchmesser, Fokus-Oberflächen-Distanz 21 cm.

Für die Panoramaschichtaufnahme wurden die folgenden Parameter benutzt: 70 kV, Filter 3 mm Al, 350 mAs, Fokus-Rotationszentrum-Distanz 30 cm, exponierte Feldgrösse $15\text{ cm} \times 30\text{ cm}$.

Als Abschirmmaterial bei Zahnrontgenaufnahmen wurde ein Halsschutz (0,5 mm Pb) bzw. eine Halbschürze (ab Kinnansatz; 0,5 mm Pb) verwendet, wie in Abb. 2 und 3 dargestellt ist. Bei der Panoramaschichtaufnahme stand eine Bleigummweste (0,5 mm Pb) zur Verfügung. Bei den Abschirmungen handelte es sich wie heute in der Praxis üblich um bleiarms bzw. bleifreies Schutzmaterial (EDER et al. 2005). Bei der Bestimmung des Einflusses von körpereigener Streustrahlung auf die Schilddrüsendosis wurde oberhalb der Ionisationskammer ein Bleiblech von 3 mm Dicke in das Phantom eingelegt, dargestellt in Abb. 4.

Ergebnisse

Die maximale Dosis am bzw. im Körper des Patienten bei einer Aufnahme in der Frontzahnregion mit einer zahnärztlichen Kleinröntgenanlage liegt beim Eintritt des Zentralstrahls in den Körper und betrug 1,500 mGy bei einer Exposition mit 1,6 mAs. Die gemessenen Dosen an den Schilddrüsen sind in Tab. I



Abb. 1 Messaufbau für die Bestimmung der Schilddrüsendosis ohne Schutzmittel. Unten rechts ist ein Teil der Ionisationskammer sichtbar (Pfeil), die im Hals-Schulter-Teil aus Masonit bis an den Ort der Schilddrüse eingeführt ist.

Fig. 1 Dispositif de mesure pour la détermination de la dose à la thyroïde sans protection. En bas, à droite, une partie de la chambre d'ionisation (flèche) est insérée jusqu'à la thyroïde dans la partie cou-épaule en masonite.



Abb. 2 Messaufbau für die Bestimmung der Schilddrüsendosis unter Verwendung eines Halskragens (0,5 mm Pb).

Fig. 2 Dispositif de mesure pour la détermination de la dose à la thyroïde avec col de protection (0,5 mm Pb).

aufgeführt. An den Gonaden wurden in allen Fällen Dosen $\leq 0,00001\text{ mGy}$ ($\leq 0,0007\%$ der Eintrittsdosis) gemessen. Ein Unterschied mit und ohne Abschirmung konnte nicht festgestellt werden (innerhalb der Messgenauigkeit). Die effektive Dosis, welche das gesamte Strahlenrisiko ausdrückt und etwa der mittleren Ganzkörperdosis entspricht, betrug mit und ohne Abschirmung 0,005 mSv pro Einzelaufnahme.

Um zu zeigen, dass die Messresultate für die simulierte Einstellung einer periapikalen Aufnahme der unteren Frontregion grundsätzlich auch für andere ähnliche Einstellungen übertragen werden kann, wurden die Messungen bei einer Ganzschädelaufnahme wiederholt (70 kV, Filter 2,5 mm Al, Feldgrösse $20\text{ cm} \times 22\text{ cm}$). Der untere Feldrand lag dabei 8 cm über der Schilddrüse. Mit einer optimalen Abschirmung (0,5 mm Pb, Rundumschürze) konnte die Schilddrüsendosis um 2% auf 98% (100% ohne Abschirmung) reduziert werden. Mit einem 3 mm dicken Bleiblech über der Schilddrüse betrug die Dosis noch 2%.



Abb. 3 Messaufbau für die Bestimmung der Schilddrüsendosis unter Verwendung einer Halbschürze (0,5 mm Pb).

Fig. 3 Dispositif de mesure pour la détermination de la dose à la thyroïde avec une cape protectrice (0,5 mm Pb).

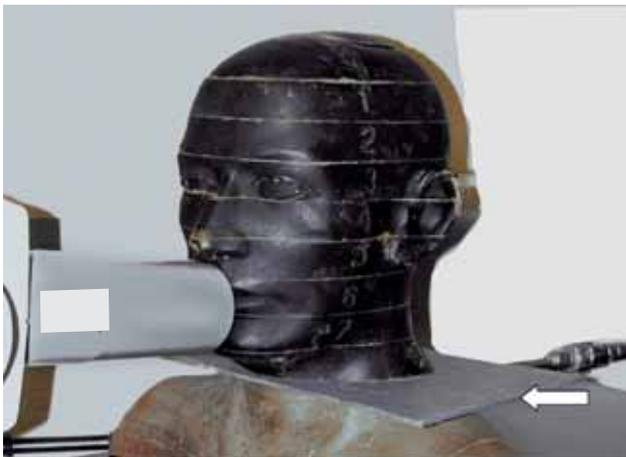


Abb. 4 Messaufbau zur Bestimmung des Einflusses von körpereigener Streustrahlung auf die Schilddrüsendosis. Oberhalb der Ionisationskammer liegt im Phantom ein Bleiblech von 3 mm Dicke (Pfeil), um die Schilddrüse von der im Nutzstrahlengebiet entstehenden Streustrahlung abzuschirmen.

Fig. 4 Dispositif de mesure pour la détermination de l'influence des radiations du corps sur la dose à la thyroïde. Au-dessus de la chambre d'ionisation, se trouve dans le fantôme une tôle de plomb de 3 mm d'épaisseur (flèche) afin de protéger la thyroïde du rayonnement diffusé dans la zone du faisceau de rayonnement primaire.

Beim Auftreffen von Röntgenstrahlung (70 kV und Filterung 2,5 mm Al) auf eine Abschirmung von 0,25 mm Pb beträgt die Transmission im Nutzstrahl 1,8%, bei einer Abschirmung von 0,5 mm Pb noch 0,2%.

Es wurden auch die Dosen direkt an der seitlichen und hinteren Oberfläche des Röhrenschutzgehäuses bestimmt. Pro Exposition betragen sie <0,001 mGy. Diese Grösse wird landläufig als «Leckstrahlung» bezeichnet (korrekte Bezeichnung Durchlassstrahlung).

Bei der Panoramaschichtaufnahme betrug die gemessene Maximaldosis auf der Körperoberfläche 0,783 mGy. Die Schilddrüsendosis wurde mit 0,045 mGy (5,8% der Eintrittsdosis) ohne Abschirmung und 0,038 mGy (4,9%) mit einer Bleigummiweste (0,5 mm Pb) bestimmt. Die Gonadendosis erreichte in beiden Fällen 0,0002 mGy (2,6%). Es resultierte eine effektive Dosis von 0,065 mSv.

Tab. 1 Dosen an der Schilddrüse bei einer dentalen Röntgenaufnahme mit und ohne Abschirmung.

Abschirmung	Dosis in mGy	% der Eintrittsdosis
ohne Abdeckung	0,00945	0,63
Kragen (0,5 mm Pb)	0,00938	0,63
Halbschürze (0,5 mm Pb)	0,00887	0,59
3 mm Pb oberhalb Schilddrüse	0,00019	0,01

Diskussion

Die Strahlenexpositionen bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen sind im Vergleich zu anderen medizinischen Röntgenuntersuchungen sehr klein. Dies geht auch aus der Erhebung über Strahlenexposition infolge Röntgendiagnostik in der Schweiz im Jahre 1998 (AROUA et al. 2000) hervor. Danach stammen zwar 42% aller medizinischen Röntgenuntersuchungen aus dem Gebiet der Zahnmedizin, was auch im Vergleich mit dem Ausland sehr hoch ist. Diese tragen jedoch nur etwa 1% zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch medizinische Strahlenquellen bei, was einer mittleren effektiven Dosis von etwa 0,01 mSv entspricht. Diese effektive Dosis erhalten wir durchschnittlich auch infolge natürlicher Strahlenexpositionen pro Tag. Da es sich bei den erwähnten Zahlen um Mittelwerte handelt, können die Dosen für den einzelnen Patienten wesentlich höher sein. Nach AROUA et al. (2000) liegt die effektive Dosis für einen Zahnstatus (ca. 0,05 mSv) um einen Faktor 12 bis 14 mal höher als für eine Einzelaufnahme (ca. 0,004 mSv) und damit etwa gleich wie bei einer Panoramaschichtaufnahme (0,06 mSv).

Die in Tabelle 1 angegebenen gemessenen Dosen können z.B. mit den Angaben in der schweizerischen Erhebung aus dem Jahre 1998 (AROUA et al. 2000) verglichen werden. Dort werden für eine Einzelaufnahme (70 kV, Filter 3 mm Al, 2,8 mAs, Fokus-Oberflächen-Distanz 30 cm, Tubus 3 cm×4 cm) folgende mittlere Dosen genannt: maximale Oberflächendosis 1,190 mGy (Range 0,976–1,539 mGy), Schilddrüse 0,001 mGy (bis 0,007 mGy), Gonaden 0,000 mGy, effektive Dosis 0,00387 mSv. Bei einer Panoramaschichtaufnahme (68 kV, 304 mAs, Fokus-Oberflächen-Distanz 30 cm, 15 cm×30 cm) werden angegeben: maximale Oberflächendosis 0,733 mGy, Schilddrüse 0,036 mGy, Gonaden 0,000 mGy, effektive Dosis 0,0599 mSv. Die Unterschiede zu den hier angegebenen Dosen sind klein. Die selbst gemessenen Dosen liegen im Allgemeinen etwas höher als die Angaben in der Erhebung.

In der Röntgenverordnung (BAG 1998) wird gefordert, dass vorhandene Schutzmittel sinnvoll eingesetzt werden. Dieser Forderung ist nicht zu widersprechen. Eine Voraussetzung für die Beurteilung ist, den Nutzen von Schutzmitteln zu überprüfen und zu kennen. Wie aus den gemessenen Dosen hervorgeht, bringt eine Abschirmung bei der Dentalröntgenaufnahme praktisch keinen Nutzen. Insbesondere kann sie die Schilddrüsendosis nicht reduzieren. Der weitaus grösste Anteil der Organdosen stammt aus körpereigener Streustrahlung, nämlich etwa 98% der Schilddrüsendosis. Nach ihrer Entstehung kann sie nicht mehr beeinflusst werden. Da die gleichen Reduktionen auch bei einer Ganzschädelaufnahme gemessen werden, so darf daraus geschlossen werden, dass die dargestellten Dosisverhältnisse auch für ähnliche Einstellungen (z.B. für Oberkiefer-Front- und Seitenzahn- sowie Oberkiefer-Aufbiss-Aufnahme) übertragen werden dürfen. Selbst bei der Panoramaschichtaufnahme ist die Dosisreduktion von <1% oder 0,007 mGy an der Schilddrüse infolge Verwendung eines optimalen Schutzmittels mit 0,5 mm Pb sehr gering, da es bei Strahlenschutzabschirmungen üblicher-

weise um Faktoren geht. Die Röntgenverordnung (BAG 1998) und das Merkblatt «Schutzmittel für Patienten, Personal und Dritte in der Röntgendiagnostik» (BAG 2003) schreiben vor, dass für intraorale Zahnaufnahmen ein Schutzschild oder eine Strahlenschutzschürze mit einem Bleiäquivalent von mindestens 0,25 mm Pb und für Panorama- oder Fernröntgenaufnahmen eine Dental- oder Strahlenschutzschürze von mindestens 0,25 mm Pb vorhanden sein muss. Während in der Röntgenverordnung vernünftigerweise steht, dass die notwendigen Schutzmittel für den Patienten sinnvoll eingesetzt werden müssen, sind im Merkblatt «die anzuwendenden Schutzmittel aufgeführt, die insbesondere bei Kindern und Jugendlichen sowie bei schwangeren Frauen einzusetzen sind». Wie die Messergebnisse zeigen, kann dadurch keine Schutzwirkung erreicht werden. Wird auf eine Abschirmung bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen verzichtet, so kann dadurch keine zusätzliche Gefährdung abgeleitet werden, da die relevanten Organdosen etwa gleich gross sind.

Eine unnötige Bleigummiabdeckung schadet grundsätzlich nicht. Jedoch wird damit ein Schutz vorgetäuscht, der in der Praxis nicht gegeben ist. Entscheidet man sich jedoch für eine Bleigummiabschirmung, so ist eine wirkungsvolle Tragweise anzuwenden, also mindestens eine Halbschürze mit 0,5 mm Pb. Andernfalls wäre ein weniger umfassender Schutz nicht zu rechtfertigen und könnte nur als Alibistrahlschutz qualifiziert werden. Selbstverständlich hat der Patient jederzeit das Recht, die Verwendung von Schutzmitteln bei einer Röntgenuntersuchung zu fordern. Der geringe Nutzen einer Bleigummiabschirmung für den Patienten lässt sich auch bei den meisten Röntgenuntersuchungen in der Medizin nachweisen, wie beispielsweise in ROTH et al. (2001) gezeigt wurde.

Wie kann der Patient bei einer Dentalröntgenaufnahme vor unnötiger Strahlung geschützt werden? Für die optimale Filmschwärzung ist eine bestimmte Dosis erforderlich. Der Spielraum dafür ist relativ klein. Je empfindlicher ein Bildsystem (Film, Speicherfolie) ist, desto weniger Strahlung ist erforderlich für eine ausreichende Bildqualität. Bei der Panoramaschichtaufnahme kann durch die Wahl einer optimalen Film-Folien-Kombination in der Kassette die erforderliche Dosis wesentlich reduziert werden. Zudem sollte das Nutzstrahlenfeld vollständig auf das bildgebende System eingegrenzt sein. Was in der medizinischen Radiologie allgemein selbstverständlich ist (und in der Röntgenverordnung gefordert wird), ist in der Dentalradiologie bei Verwendung eines Rundtubus nicht der Fall. Bei einem Durchmesser von 5,3 cm werden nur etwa 55% der vorhandenen Strahlendosis einen Film der Grösse 3 cm×4 cm belichten. Die übrigen 45% bestrahlen unnötigerweise Gewebe. Dieser Anteil der Strahlung wird auch nicht durch die Bleifolien in der Filmpackung geschwächt (Schwächung etwa 80% bei 70 kV). Durch eine enge Einblendung wird die Entstehung der Streustrahlung reduziert. Dadurch wird auch weniger Gewebe exponiert und die Bildqualität wird aufgrund der geringeren Streustrahlung verbessert.

Gemäss Röntgenverordnung (Art. 3 Absatz 3) muss sich bei zahnärztlichen Kleinröntgenanlagen die bedienende Person ausserhalb des Nutzstrahlenbündels in wenigstens 2 m Entfernung vom durchstrahlten Körper aufhalten. Daraus kann abgeleitet werden, dass auch die Distanz zum Röntgengerät mindestens 2 m betragen soll. Bei einer gemessenen Durchlassstrahlung von <0,001 mGy pro Exposition auf der Oberfläche des Röntgenröhregehäuses ist dies sicherlich ausreichend.

Für die im Vergleich zu früheren Empfehlungen geänderte Einstellung bezüglich der Anwendung von Bleigummiabdeckungen gibt es Gründe. So sind die Organdosen in den letzten zehn und

mehr Jahren bei den meisten Röntgenuntersuchungen kleiner geworden (Ausnahme: CT) und zwar vorwiegend aufgrund von verbesserter Gerätetechnik (weniger Durchlassstrahlung), empfindlicheren Bildsystemen (kleinere Systemdosen), engerer Einblendung, Speicherbildern usw. Zudem hat das Qualitätssicherungsprogramm, das in der Strahlenschutzverordnung (1994) für Röntgengeräte und Bildverarbeitung gefordert wird, in den letzten Jahren ebenfalls zu einer Verbesserung des Strahlenschutzes beigetragen.

Schlussfolgerungen

Bei den heute in der Praxis stehenden Einrichtungen und angewendeten Techniken kann eine Bleigummiabdeckung bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen die Strahlenexposition insbesondere an den Schilddrüsen und an den Gonaden des Patienten nicht reduzieren. Es gibt jedoch wirkungsvollere Massnahmen, um die Dosen am Patienten zu verkleinern, so eine angepasste Begrenzung des Strahlenfeldes, empfindliche Bildsysteme und Qualitätssicherungsmassnahmen. Die Vorschriften über die Verwendung von Schutzmaterial für den Patienten bei zahnärztlichen Röntgenaufnahmen sollten vom Gesetzgeber den heutigen Gegebenheiten und dem effektiven Nutzen angepasst werden.

Abstract

ROTH J: **Shieldings during dental X-ray examinations – About the effectiveness of radiation protection measures during X-ray examinations at patients** (in German). Schweiz Monatschr Zahnmed 116: 1151–1154 (2006)

During dental X-ray examinations, lead rubber shields such as neck protections or half aprons are commonly used to protect the patient against unnecessary radiation. However, they are practically of no use to the patient as it has been shown by the present measurements. The scatter radiation produced in the body of the patient creates organ doses outside of the collimated radiation field. Other radiation protection measures are more effective and should be considered, although the doses are usually low.

Literatur

AROUA A, VADER J-P, VALLEY J-F: Enquête sur l'exposition par le radiodiagnostic en Suisse en 1998. IRA, Lausanne (2000), ISBN 2-88444-006-2 oder www.chuv.ch/public/instituts/ira/

BAG: Strahlenschutzverordnung. (1994), www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.501.de.pdf

BAG: Verordnung über den Strahlenschutz bei medizinischen Röntgenanlagen (Röntgenverordnung). (1998), www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.542.1.de.pdf

BAG: Schutzmittel für Patienten, Personal und Dritte in der Röntgendiagnostik. Merkblatt R-09-02. (2003), www.bag.admin.ch/dokumentation/gesetzgebung/01442/01445/01450/index.html?lang=de

EDER H, PANZER W, SCHÖFER H: Ist der Bleigleichwert zur Beurteilung der Schutzwirkung bleifreier Röntgenschutzkleidung geeignet? Fortschr Röntgenstr 177: 399–404 (2005)

KIEFER H, LAMBRECHT J T, ROTH J: Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstäten und Panoramaschichtaufnahmen. Schweiz Monatsschr Zahnmed 114: 687–693 (2004)

ROTH J, NEMEC H W, SANDER R: Bleigummi-Abdeckungen bei Patienten während Röntgenuntersuchungen: Strahlenschutz oder Feigenblatt? Radiologie Aktuell Nr 2, 2–4 (2001)