

Grüne Reihe
Bericht Nr. 2/2005

Patientenbezogener Strahlenschutz bei dentalen Röntgeneinrichtungen mit intraoralem Bildempfänger in der Landeshauptstadt Linz

2005

Autor: Dr. Dr. Wolfgang Pflügl

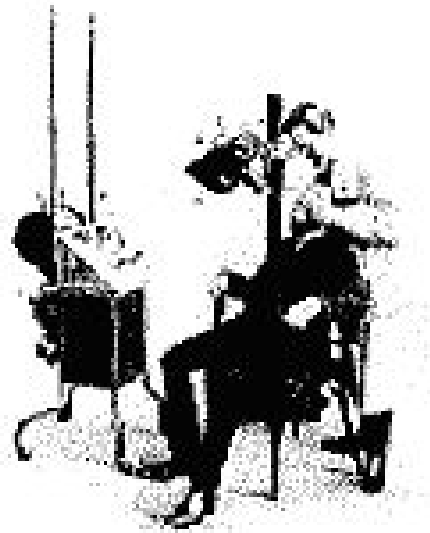
Umwelt und Technik-Center



Die vorliegende Studie wurde als Facharbeit im Rahmen der Dienstausbildung am Magistrat der Landeshauptstadt Linz eingereicht.

Gutachter: SR Dipl.-Ing. Martin Sonnleitner, UTC
OMR Dr. Robert Huber, BzVA

Herausgeber:
Magistrat Linz, Umwelt- und Technik-Center
Leiter: D.I. Martin Sonnleitner
A-4041 Linz, Hauptstraße 1 - 5
Tel.: (0732)7070-3901
E-Mail: utc@mag.linz.at



Quelle: <http://www.sirona.de>

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	3
2. RECHTLICHER RAHMEN	5
2.1 Allgemeines <i>Vorschrift ist Vorschrift ??</i>	5 5
2.2 Bewilligung und Überprüfung von zahnmedizinischen Kleinbildgeräten (dentale Röntgeneinrichtungen mit intraoralem Bildempfänger) <i>Wenn das ein jeder dürfte?</i>	6 6
3. STRAHLENSCHUTZ - ALLGEMEIN UND BEIM KLEINBILDRÖNTGEN	8
3.1 Allgemeine Grundsätze <i>Welche Dosis ist notwendig?</i>	8 8
3.2 Idealwert und gute Praxis <i>Gut – besser – am besten</i>	10 10
3.3 Dosisbestimmende Faktoren <i>Faktor 100 ?</i>	15 15
4. DAS KLEINBILD IM KONTEXT MEDIZINISCHER RADIODIAGNOSTIK	21
4.1 Vergleich einzelner Röntgenuntersuchungen <i>De minimis non curat praetor?</i>	21 21
4.2 Beitrag der zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen zur Kollektivdosis <i>Auch Kleinvieh macht Mist!</i>	24 24
5. PATIENTENEXPOSITION BEI LINZER ZAHNÄRZTEN	27
5.1 Gerätebestand <i>Welche Kleinbildröntengeräte gibt es?</i>	27 27
5.2 Messgröße und Messwerte <i>Wie viel Dosis habe ich bekommen, Frau Doktor?</i>	30 30

5.3 Weitere Ergebnisse und Schlussfolgerungen	37
<i>Wird ständig alles besser?</i>	37
6. ZUSAMMENFASSUNG	41
Quellen- und Literaturverzeichnis	42
Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen und Einschübe	45
Anhang 1 Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes (mit interaktiven Verknüpfungen)	46
Anhang 2 Auszug aus dem Bundesgesetz vom 11. Juni 1969, BGBl. Nr. 227, über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzgesetz) idF BGBl. I Nr. 137/2004	49
Anhang 3 Entwürfe von Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes (mit interaktiven Verknüpfungen)	54
Anhang 4 Der Strahlenschutzbeauftragte (SSB)	56
Anhang 5 Rechtfertigung radiologischer Untersuchungen	59
Anhang 6 Grenzwerte im Strahlenschutzrecht:	60
Anhang 7 Einheiten im Strahlenschutz	65
Anhang 8 Prüfungsbeispiele im Rahmen der Ausbildung zum radiologisch-technischen Dienst	66
Anhang 9 Literatur zu „Haben Sie Angst vor einem Röntgen?“	68
Anhang 10 Internet-Adressen ausgewählter Hersteller von zahnmedizinischen Röntgengeräten	70

1. Einleitung

Als gesundheitsbewusste Menschen sollten wir zweimal jährlich zum Zahnarzt - so sind wir erzogen worden. Uns allen wird spätestens dann unwohl, wenn sich im Zuge der Kontrolle herausstellt, dass eine weitere Behandlung des einen oder anderen Zahnes erforderlich ist. Am wenigsten fürchte ich mich dabei vor der Röntgenaufnahme, die des öfteren bei der Kontrolle oder Behandlung angefertigt wird. Diese tut bekanntlich nicht weh - auch finanziell nicht - und hilft dem Zahnarzt, sich ein besseres Bild von der anstehenden Reparatur zu machen. Freilich könnte auch das, was nicht schmerzt, unangenehme Auswirkungen haben - spätestens seit Tschernobyl oder Temelín sind wir für die Gefahren ionisierender Strahlung sensibilisiert. Ist also das Zahnröntgen aus Sicht des Strahlenschutzes mit Risiken verbunden? Wie klein sind die Strahlendosen im Vergleich mit anderen Strahlenexpositionen? Gibt es Unterschiede, je nach Gerät und Zahnarzt? Wie groß sind solche Unterschiede? Worauf ist zu achten, was könnte verbessert werden? Kann ich mich als Patient darauf verlassen, dass ich keinen unnötigen Röntgenstrahlen ausgesetzt bin, wenn z. B. die Assistentin des Zahnarztes zwei Kleinbilder schießt?

Nicht ein- bis zweimal jährlich, sondern alle ein bis zwei Jahre bin ich in den vergangenen Jahren als Sachverständiger zu den meisten Linzer Zahnärzten gegangen, um im Auftrag der Bezirksverwaltungsbehörde deren Röntgengeräte zu begutachten. So sieht es das Gesetz vor. Dabei habe ich zu kontrollieren, ob das Personal der Zahnarztpraxis und auch Dritte wie z. B. jene Patienten, die sich im Warteraum befinden, ausreichend vor den Röntgenstrahlen geschützt sind. Ich muss aber auch überprüfen, ob die Dosis jenes Patienten, an dem die Röntgenaufnahme vorgenommen wird, nicht zu hoch ist. Was aber ist die Richtschnur dafür?

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer knapp dreijährigen Überprüfungstätigkeit bei Linzer Zahnärzten und setzt sich mit diesen Fragen auseinander. Sie wendet sich zum einen an den interessierten Laien sowie das zahnmedizinische Personal, welches als Strahlenschutzbeauftragter oder durchführende Fachkraft Verantwortung trägt, um über den patientenbezogenen Strahlenschutz beim Kleinbildröntgen zu informieren.

Zum anderen bezweckt sie, Datenmaterial aus etwa 200 Überprüfungen aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen, um damit auch statistisch fundierte Entscheidungen auf diesem Gebiet des Strahlenschutzes treffen zu können.

Nach einer gerafften Darstellung der Rechtsgrundlagen (Kapitel 2) werden die allgemeinen Strahlenschutzgrundsätze und deren Anwendung beim Kleinbildröntgengerät erläutert (Kapitel 3). Anschließend wird die Strahlenbelastung eines Zahnrontgens mit der Strahlenexposition anderer medizinischer Untersuchungen verglichen (Kapitel 4). Das Hauptstück der vorliegenden Arbeit bildet das Kapitel 5 mit der Präsentation der erhobenen Messdaten und deren Diskussion sowie einigen Schlussfolgerungen. Die Zusammenfassung finden Sie im 6. und letzten Kapitel.

2. Rechtlicher Rahmen

2.1 Allgemeines

Vorschrift ist Vorschrift ??

Wie in vielen Rechtsgebieten gibt es auch im Strahlenschutz ein Zusammenspiel von europarechtlichen Normen und Rechtsvorschriften auf nationaler Ebene. *Anhang 1* gibt einen Einblick in wichtige Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes, wobei die interaktiven Verknüpfungen (Stand 23.9.2005) mit einem oder maximal zwei Tastendruckern zur jeweiligen Rechtsvorschrift in aktualisierter Version führen. Auf technisches Regelwerk, das oft direkt (Verbindlicherklärung, vgl. z. B. § 17 (2) Strahlenschutzgesetz¹) oder indirekt (z. B. Interpretation unbestimmter Gesetzesbegriffe) rechtliche Relevanz erhält, ist in diesem Anhang ebenfalls hingewiesen.

Die Rechtsentwicklung befindet sich auch auf dem Gebiet des Strahlenschutzes in immer rascherem Umbruch: Nach zwei Gesetzesnovellen im Jahr 2002 und 2004 und der neu erlassenen Medizinischen Strahlenschutzverordnung vom 28.10.2004 sind nun die Novelle der Strahlenschutzverordnung 1972 und einige weitere Verordnungen geplant; interaktive Verknüpfungen zu einigen zur Begutachtung ausgesandten Entwürfen befinden sich im *Anhang 3* (Stand 23.9.2005). Weiters enthält dieser Anhang eine Verknüpfung zu einem Erkenntnis des Verwaltungsgerichtshofes aus 2003 – dem Betreiber einer zahnmedizinischen Röntgeneinrichtung wurden nachträglich Konstanzprüfungen vorgeschrieben - als Beispiel dafür, wie auch die (höchstgerichtliche) Judikatur maßgeblich zur Rechtsentwicklung beiträgt.

Grundsätzlich muss für jede bewilligte Strahlenquelle ein sogenannter Strahlenschutzbeauftragter (§ 2 (43) Strahlenschutzgesetz) nominiert sein, der zusammen mit dem Bewilligungsinhaber eine hohe Verantwortung trägt. Einen Einblick dazu gibt *Anhang 4*.

¹ Der Text der wichtigsten hier zitierten Paragraphen des Strahlenschutzgesetzes ist im *Anhang 2* zusammengestellt.

2.2 Bewilligung und Überprüfung von zahnmedizinischen Kleinbildgeräten (dentale Röntgeneinrichtungen mit intraoralem Bildempfänger)

Wenn das ein jeder dürfte?

Bewilligungsgrundlage für zahnmedizinische Kleinbildröntengeräte ist in den meisten Fällen § 10 Strahlenschutzgesetz oder § 20 Strahlenschutzgesetz. Während § 10 Strahlenschutzgesetz auf eine Einzelbewilligung abzielt, handelt es sich beim § 20 Strahlenschutzgesetz um eine Bauartzulassung. Diese ersetzt nicht notwendigerweise die Einzelbewilligung (§ 20 (5) 1. Satz Strahlenschutzgesetz), doch ist in allen mir bekannten Fällen von der durch § 20 (5) 2. Satz Strahlenschutzgesetz eingeräumten Möglichkeit Gebrauch gemacht worden: Solche der Bauart nach zugelassene Geräte brauchen keine Einzelbewilligung mehr.²

Des öfteren wird argumentiert, dass die zahnmedizinischen Kleinbildröntengeräte (ebenso wie Panoramaröntengeräte) richtigerweise nach § 7 Strahlenschutzgesetz bewilligt werden müssten. Diese Ansicht hat sich in Linz nicht durchgesetzt. In der Zwischenzeit ist der Unterschied in den Rechtsfolgen der jeweiligen Bewilligungsgrundlage durch das Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz 2002 weitgehend aufgehoben worden (vgl. den neu eingeführten Absatz (9) des § 10 Strahlenschutzgesetzes mit § 9 Strahlenschutzgesetz, der den Inhaberwechsel in beiden Fällen praktisch gleichstellt).

Nachträgliche Änderungen einer erteilten Bewilligung („Vorschreibung weiterer Auflagen“) können auf Grund von § 11 Strahlenschutzgesetz vorgenommen werden. Diese Rechtsgrundlage wurde in letzter Zeit insbesondere in Zusammenhang mit qualitätssichernden Maßnahmen herangezogen (vgl. auch das im Anhang 3 zitierte Judikat).

Unabhängig von der Bewilligungsgrundlage (§§ 6, 7, 10 oder 20 Strahlenschutzgesetz) sind alle Kleinbildröntengeräte ab dem 1.1.2003 mindestens einmal in zwei Jah-

² Zuständig für die Zulassung einer Bauart ist der Bundesminister (§ 41 (1) 1. d) Strahlenschutzgesetz). Problematisch erscheint die Adaptierung solcher Bescheide aus früheren Jahrzehnten an die aktuelle Rechtslage, welche nur in sehr engen Grenzen vorgesehen ist (§ 11 Strahlenschutzgesetz) und in der Praxis kaum einmal vorkommt. Bis vor kurzem bestehende Unklarheiten bei der Überprüfung Bauart zugelassener Geräte gemäß § 17 Strahlenschutzgesetz wurden durch das Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz 2004 ausgeräumt.

ren gemäß § 17 Strahlenschutzgesetz zu überprüfen.³ Zuvor musste die Überprüfung mindestens einmal jährlich erfolgen. Durchgeführt wird sie – auch in Fällen einer Bauartzulassung – von der „für den Standort des Verwenders zuständigen Strahlenschutzbehörde“.⁴ In Linz ist derzeit das Bezirksverwaltungsamt, Abteilung Wohn- u. Mietrechts-, Fischereiangelegenheiten, Strahlenschutz damit betraut. Die grundlegenden Prinzipien, die als Leitlinie bei einer solchen Überprüfung ebenso wie bei jeder Bewilligung maßgeblich sind, sind im § 4 Strahlenschutzgesetz verankert. Darauf wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

³ Obwohl die Geräte mit Bauartzulassung in der Praxis auch schon vor dem 1.1.2003 in sinngemäßer Anwendung des § 17 Strahlenschutzgesetzes überprüft wurden, sind sie erst ab diesem Zeitpunkt explizit vom § 17 Strahlenschutzgesetz erfasst.

⁴ Die im Text zitierte Diktion wurde durch das Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetzes 2004 eingefügt. Zuvor war die „Bewilligungsbehörde“ zuständig, was mangels anderer Gesetzesauslegung zu dem unerwünschten Ergebnis führen hätte können, dass der für Bauartzulassungen zuständige Bundesminister auch die regelmäßige Überprüfung aller solchen Geräte in ganz Österreich wahrnehmen hätte müssen, weil es ja bei diesen Geräten keine (weitere) Bewilligung mehr gibt.

3. Strahlenschutz - allgemein und beim Kleinbildröntgen

3.1 Allgemeine Grundsätze

Welche Dosis ist notwendig?

Der Strahlenschutz basiert auf drei Säulen, welche sich auch im § 4 Strahlenschutzgesetz widerspiegeln [ICRP60]: Rechtfertigung, Optimierung und Dosisbeschränkung.

Das erste Prinzip besagt, dass jede Einwirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen gerechtfertigt sein muss. Jede unnötige Einwirkung ist zu vermeiden. Strahlenschutz beginnt also bereits im Vorfeld der Technik: Sozusagen noch bevor das Röntgengerät eingeschaltet wird, sind im Rahmen der medizinischen Indikation der Nutzen und die Risiken abzuwägen. In *Anhang 5* sind einige Gründe angeführt, warum es zu sinnlosen radiologischen Untersuchungen kommen kann. Ähnlich wie beim Energiesparen gilt auch hier: selbst wenn die Technik umwelt- und menschenfreundlicher wird, so ist doch jene Energie(dosis) am besten, die erst gar nicht gebraucht wird.

In der Regel aber dient die Strahlenexposition einer wohl begründeten Untersuchung. Hier gilt es, das Untersuchungsergebnis mit einer möglichst geringen Dosis zu erzielen (Optimierung).⁵ Technische und organisatorische Möglichkeiten hierzu werden in den nächsten beiden Abschnitten speziell für das Kleinbildröntgengerät diskutiert.

Bleibt noch als letztes die Frage der Limitierung. Jede Grenzziehung hat zwei Seiten: Einerseits wird klargestellt, dass das Gebiet jenseits der Grenze – also eine höhere Dosis – nicht erlaubt ist. Andererseits birgt sie aber die Gefahr, dass der Bereich in-

⁵ Während vor dem Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz 2002 der erste Satz in § 4 (1) Strahlenschutzgesetz („Jede Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper ist ... so niedrig wie möglich zu halten; jede unnötige Einwirkung ist zu vermeiden.“) genügte, findet sich nun im Gesetz folgender Zusatz: „Dabei sind durch Optimierung ... die Expositionen von Einzelpersonen sowie der Bevölkerung insgesamt so niedrig zu halten, *wie dies unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren möglich und vertretbar ist.*“ Begründet wird er mit einer Anpassung an europäische Vorgaben (Art 6 der Richtlinie 96/29/Euratom). Selbstverständlich war auch bereits vor dieser Gesetzesnovelle das Optimierungsgebot vernünftig auszulegen. Es bleibt also (aus Sicht des Strahlenschutzes) die Hoffnung, dass mit dem letzten Halbsatz der neuen Gesetzesversion keine Abschwächung dieses Prinzips bezweckt ist.

nerhalb der Grenze (unterhalb des Grenzwertes) möglichst ausgereizt wird, um z. B. Kosten zu sparen. Der Gesetzgeber stellt daher klar, dass trotz festgesetzter Grenzen unterhalb dieser die Dosis so gering wie möglich zu halten ist.⁶ Die Praxis orientiert sich dennoch oft an den Grenzwerten, wenn auch mit großzügig bemessenen Sicherheitsreserven. Typisches Beispiel für ein solches Limit ist der Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung, welche nicht mehr als 1 Millisievert (1 mSv) pro Jahr⁷ betragen darf (Art 13 der Richtlinie 96/29/Euratom). Betreibt also z. B. ein Zahnarzt seine Röntgengeräte in einem Röntgenraum, so werden dessen Wände, vor allem aber auch dessen Tür und Fenster mit Bleischutz versehen, welcher so ausgelegt ist, dass das Personal oder Dritte, die z. B. vor der Röntgenraumbür stehen, keinesfalls einer höheren effektiven Dosis ausgesetzt wären als 1 mSv jährlich. Alle bautechnischen und sonstigen Maßnahmen zielen also darauf ab, die Allgemeinbevölkerung jedenfalls vor einer höheren Jahresdosis als 1 mSv zu schützen. Dieses Limit gilt aber nicht für den Patienten. Beim Patientenschutz gibt es derzeit keinen verbindlichen Grenzwert für die applizierte Dosis.⁸ Maßgebend bleibt neben der Rechtfertigung nur das Optimierungsgebot. Freilich stellt sich in der Praxis auch hier die Frage: Wie hoch soll die Latte gelegt werden? Was kann als Referenzwert herangezogen werden? Die sogenannte Patientenschutzrichtlinie sieht ausdrücklich vor, dass die „Erstellung und Anwendung diagnostischer Referenzwerte für strahlendiagnostische Untersuchungen“ gefördert wird (Art 4 (2) a) der Richtlinie 97/43/Euratom).

⁶ Die Grenzwerte selbst stehen grundsätzlich nicht im Gesetz, sondern werden verordnet. Der Verordnungsgeber hat allerdings die aus dem Jahr 1972 stammende Strahlenschutzverordnung bisher noch immer nicht an die übergeordneten Rechtsvorschriften angepasst. Daher muss in diesem Zusammenhang vielfach die Richtlinie 96/29/Euratom unmittelbar angewendet werden. Eine Zusammenstellung von Grenzwerten finden Sie im *Anhang 6*.

⁷ Sievert (Sv) ist eine der wichtigen Einheiten im Strahlenschutz und gibt entweder die Äquivalentdosis oder die effektive Dosis an. 1 mSv ist ein tausendstel Sv. Eine Übersicht über die am häufigsten verwendeten Einheiten im Strahlenschutz befindet sich im *Anhang 7*.

⁸ Wohl kennt die Strahlenschutzverordnung Grenzwerte, die in erster Linie auf den Patientenschutz abzielen; z. B. wie viel unerwünschte Störstrahlung das Röhrenschutzgehäuse eines Röntgenapparates maximal durchlassen darf oder welche Mindestfilterung vorzusehen ist. Diese legen aber keine höchstzulässigen Dosiswerte für bestimmte Untersuchungen fest.

3.2 Idealwert und gute Praxis

Gut – besser – am besten

Das Gesetz verlangt das Minimum an Strahlenexposition, welches für die jeweilige Untersuchung gerade noch ausreicht. Theoretisch ist fast immer eine Verbesserung möglich. Doch diese ist mit Kosten und Mühen verbunden, sodass letztlich die Nachteile – welche nicht immer rein finanzieller Art sein müssen (z.B. umständlichere Bedienung, erhöhte Fehleranfälligkeit⁹) - gegen eine weitere Verbesserung des Strahlenschutzes abzuwägen sind. Ein einfaches Beispiel soll dies verdeutlichen:

Die Standardgröße eines konventionellen Kleinbildes beim Zahnarzt (Röntgenfilm) beträgt 3 cm x 4 cm. Es leuchtet ohne weiteres ein, dass jeder Röntgenstrahl, der außerhalb des Röntgenfilms vorbeigeht, vollkommen überflüssig ist, da er nichts zum Röntgenbild und damit nichts zur Diagnose beiträgt. Das Röntgenstrahlbündel wird daher durch den Tubus seitlich begrenzt.



Abbildung 1 Beispiel für Rund- und Rechtecktubus

aus [elomed]

⁹ Diese wiederum könnte die „Verbesserung“ konterkarieren und bei Einzelpersonen (z. B. wegen Wiederholungsaufnahmen) oder im schlimmsten Fall sogar im Durchschnitt zu einer Zunahme der Strahlenexposition führen.

Im Idealfall wäre also die Tubusöffnung (innere Querschnittsfläche des Tubus) gleich groß wie der Röntgenfilm, um überflüssige Röntgenstrahlen zu vermeiden.¹⁰ Dies ist aber schon deshalb nicht der Fall, weil in der Praxis der Tubus ja nicht exakt mit 0 mm Abweichung positioniert werden kann. Ein gängiges Format für Rechtecktuben beträgt daher 3,5 cm x 4,5 cm (Tubusöffnung).¹¹ Das bedeutet zwar eine Zunahme um mehr als 31 % gegenüber dem Idealwert,¹² wäre aber - aus Sicht des Strahlenschutzes - immer noch als (sehr) gute Praxis zu bezeichnen. In den meisten Fällen ist die Situation schlechter: 9 von 10 Zahnärzten in Linz verwenden nämlich keinen Rechtecktubus, sondern einen Rundtubus mit einer Tubusöffnung von 6 cm Durchmesser (*Abbildung 1* zeigt je ein Beispiel für Rund- und Rechtecktubus). Damit „wird die Positionierung zum Kinderspiel“, wie es in einer Produktbeschreibung heißt [elomed]. Während beim Rechtecktubus die Seitenflächen entsprechend den Filmkanten ausgerichtet werden müssen, ist dies beim Rundtubus egal (keine Drehung um die Tubusachse notwendig). Die einfache Handhabung ist aber mit einer zusätzlichen Strahlenbelastung des Patienten erkauft: Die Querschnittsfläche (\approx Hautfeldgröße) des Rundtubus beträgt $(3 \text{ cm})^2 \cdot \pi = 28,3 \text{ cm}^2$ und damit um 80 % mehr als jene des gängigen Rechtecktubus ($3,5 \text{ cm} \times 4,5 \text{ cm} = 15,75 \text{ cm}^2$). Verglichen mit dem Idealfall ($3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} = 12 \text{ cm}^2$) ergibt sich eine Flächenzunahme um 136 %, was eine Dosiszunahme um bis zu 166 % bewirkt.¹³ Berücksichtigt man noch die Toleranz des Durchmessers des Tubus oder

¹⁰ Der Einfachheit halber wird hier der (geringe) Unterschied zwischen Hautfeldgröße und Bildfeldgröße vernachlässigt. Er würde darauf hinauslaufen, dass die Tubusöffnung (\approx Hautfeldgröße) im Idealfall noch etwas kleiner wäre als bei der obigen Betrachtung.

¹¹ Für Labormessungen werden auch Tuben mit 3 cm x 4 cm eingesetzt [GIDR02]. Mir ist aber kein Fall bekannt, wo ein solcher Tubus in einer Zahnarztpraxis eingesetzt wird.

¹² Die flächenmäßige Zunahme entspricht nur in etwa der Dosiszunahme. Für eine genaue Berechnung der (zusätzlichen) effektiven Dosis ist außer der Feldgröße noch zu berücksichtigen, dass durch die größere Tubusöffnung unterschiedliche und andere Organe und Gewebe bestrahlt werden als bei kleinerer Feldfläche. Wegen deren unterschiedlichen Strahlenwichtung ist die Umrechnung daher meistens nicht 1 zu 1. Sie hängt davon ab, welcher Zahn für welchen Zweck geröntgt wird (unterschiedliche Richtung des Strahlenbündels exponiert unterschiedliche Gewebe und Organe). Die tatsächliche Zunahme der effektiven Dosis kann also sowohl über als auch unter der Flächenzunahme liegen. Über den gesamten Mund gemittelt (14 unterschiedliche Aufnahmen) ist sie leicht höher als die Zunahme der Feldgröße (+ 11 % laut [GIDR02], siehe auch die folgende Fußnote).

¹³ Aus Messungen an mehreren in Formalin konservierten Menschenköpfen errechnete man, dass die effektive Dosis prozentuell am stärksten bei lateralen periapischen Aufnahmen zunimmt (von 0,9 μ Sv auf 2,39 μ Sv), während bei molaren Aufnahmen - welche absolut gesehen höhere Dosen bedingen - die relative Zunahme am geringsten ist (von 3,45 μ Sv auf 5,23 μ Sv) [GIDR02], siehe auch die vorhergehende Fußnote.

Blendensystems, welche die technischen Normen maximal zulassen [5240-11]¹⁴, ist bei der gängigen Tubuslänge von 20 cm eine weitere Verschlechterung um 7 % möglich, sodass die Gesamtzunahme 152 % (Fläche) bzw. 184 % (Dosis) betragen kann. Der Patient erhält also schon wesentlich mehr als das Doppelte der theoretisch erforderlichen Dosis, allein bedingt durch die nicht exakt angepasste Geometrie des Strahlenbündels.

Noch schlechter sieht die Bilanz bei kleineren Bild(empfänger)formaten aus, für welche in der Regel derselbe Tubus verwendet wird. Der digitale Sensor des Marktführers in Linz hat eine aktive Fläche von 2,6 cm x 3,4 cm (Full Size Sensor) [sirona], was im Vergleich zum 3 cm x 4 cm Tubus einen zusätzlichen Faktor von 1,36 bedeutet. Beim Rundtubus, welcher bei allen digitalen Systemen in Linz verwendet wird, liegt die Hautfeldgröße also um 220 % – 242 % und die effektive Dosis um bis zu 286 % über dem Idealwert.

Das größte Missverhältnis besteht bei Kindern. Für diese ist ein Filmformat von 2 cm x 3 cm üblich. Die aktive Fläche des Kindersensors hat dieselben Ausmaße [sirona]. Das ergibt einen Faktor 2 im Vergleich zum 3 cm x 4 cm Tubus bzw. 4,71 – 5,03 im Vergleich zum Rundtubus (plus 371 % – 403 %). Die Dosis liegt also bei dieser Personengruppe, welche besonders strahlenempfindlich ist, im Mittel beim rund fünffachen Wert dessen, was bei idealer geometrischer Anpassung des Strahlenbündels erforderlich wäre.

Kehren wir nach dieser Darstellung eines der dosisbestimmenden Faktoren – weitere solche Faktoren werden im nächsten Abschnitt behandelt – zurück zur Ausgangsfrage: Welche Dosiserhöhung darf ich noch zulassen? Oder anders gefragt: Wie weit muss ich gehen, um dem gesetzlichen Optimierungsgebot Genüge zu tun? Muss bei Kindern ein eigener, kleinerer Tubus oder ein eigenes Blendensystem verwendet werden? Sollen alle Rundtuben durch Rechtecktuben ersetzt werden? Der Idealwert wird kaum erreichbar sein, aber sollte eine gute Praxis nicht z. B. mit dem doppelten statt dem fünffachen Wert auskommen? Die Beantwortung ist keine Frage der Technik, sondern es geht letztlich um eine Wertung (was will der Gesetzgeber bzw. die Gesellschaft?). In Großbritannien wird beispielsweise empfohlen, dass neue Geräte mit

¹⁴ 6 cm plus 1 % des tatsächlichen Mindest-Fokus-Haut-Abstandes (Punkt 5.5.1 auf Seite 7 der zitierten Norm)

Rechtecktuben ausgestattet sind und bereits in Betrieb stehende Geräte nachträglich zum frühest möglichen Zeitpunkt mit solchen versehen werden [NRPB01]. In Österreich werden sowohl Rechteck- als auch Rundtuben am Markt angeboten. Es wird aber auch bei Neugeräten meist ein Rundtubus gewählt. Kleinbildaufnahmen bei Kindern werden offenbar zu selten gemacht – die niedrige Frequenz ist aus Sicht des Strahlenschutzes natürlich zu begrüßen – als dass am Markt spezielle Tuben oder Blenden dafür angeboten werden. Es wäre jedenfalls nicht ein eigenes Röntgengerät für diesen Zweck erforderlich, da es durchaus Röntgengeräte mit Wechseltuben gibt.

Wie würden Sie urteilen?

Von einem Backenzahn wird ein Zahnröntgen angefertigt. Es wird dabei ein „D-Film“ verwendet, welcher im Vergleich zum besseren „E-Film“ die doppelte Belichtungszeit benötigt. Außerdem wird nicht zwischen Backen- und Mahlzähnen unterschieden, sondern grundsätzlich für beide Fälle dieselbe Belichtungszeit gewählt, welche um 60 % länger ist, als für einen Backenzahn erforderlich wäre.

- Da eine Schwankungsbreite von $\pm 50\%$ erlaubt ist, kann diese Vorgangsweise toleriert werden.
- Der Patient ist einer Strahlenexposition ausgesetzt, die immerhin um 30 – 40 % höher ist als unbedingt erforderlich. Die Verwendung der empfindlicheren Filme ist daher dringend zu empfehlen.
- Der Patient erhält im Vergleich zu einer Zahnaufnahme mit „E-Film“ und Backenzahneinstellung eine Dosis, die um 100 % höher ist. Dies entspricht nicht mehr dem ALARA-Prinzip.¹
- Der Patient erhält im Vergleich zu einer Zahnaufnahme mit „E-Film“ und Backenzahneinstellung eine Dosis, die um 180 % höher ist. Diese Vorgangsweise verstößt gegen § 4 Strahlenschutzgesetz.
- Der Patient erhält im Vergleich zu einer Zahnaufnahme mit „E-Film“ und Backenzahneinstellung mehr als die dreifache Dosis. Diese Vorgangsweise ist unverantwortlich und standeswidrig.

¹ALARA steht für „as low as reasonably achievable“.

Jede mögliche Antwort enthält eine technische Aussage über die Dosisverhältnisse, verknüpft mit einer Wertung. Zur technischen Seite erfahren Sie mehr im nächsten Abschnitt. Ganz ähnliche Fragen dazu finden Sie auch im *Anhang 8*, der Prüfungsbeispiele eines Strahlenschutzkurses im Rahmen der Ausbildung für den radiologisch-technischen Dienst wiedergibt. Dieser Anhang enthält auch alle Lösungen.

Einschub 1: Multiple Choice Test für Interessierte

3.3 Dosisbestimmende Faktoren

Faktor 100 ?

Neben dem im letzten Abschnitt behandelten Format gibt es eine Reihe anderer Faktoren, welche die Dosis des Patienten beeinflussen. Die wichtigsten davon werden hier angeführt, wobei neben den rein technologischen Faktoren die sogenannten Humanfaktoren mindestens ebenso großen Einfluss haben können.

Bildempfängertechnologie:

Bei der konventionellen Filmtechnologie hängt die Dosis davon ab, welcher Filmtyp verwendet wird (Empfindlichkeit des Films) und wie gut die Filmentwicklung funktioniert (z. B. Temperatur und Alter der Chemikalien). Bis vor kurzem wurden noch häufig sogenannte „D-Filme“ (z.B. Ultraspeed) verwendet, welche im Vergleich zu den empfindlicheren „E-Filmen“ (z. B. Ektaspeed) ungefähr die doppelte Dosis benötigen. Im Vergleich zu den ebenfalls heute schon verwendeten Filmen einer noch besseren Kategorie (z. B. Insight) brauchen die D-Filme gar die 2,5fache Dosis. Passen die Entwicklungschemikalien nicht ideal zum verwendeten Filmtyp oder ist z. B. deren Temperatur nicht optimiert, muss dies ebenfalls durch eine höhere Dosis kompensiert werden.

Bei digitalen Technologien sprechen die Hersteller von einer Dosisreduktion bis zu 90 %. Die tatsächliche Einsparung hängt natürlich davon ab, mit welchem konventionellen System ich vergleiche, sowie von der Art des digitalen Systems (Speicherfolie oder direkte digitale Radiografie). In krassen Fällen kann aber durchaus ein Faktor 10 zwischen überkommener Filmanwendung (z. B. D-Film und mittelmäßiges Entwicklungsgerät) und moderner, optimierter digitaler Technik liegen.

Röhrenspannung und Strahlenqualität:

Grundsätzlich wird zuerst jene Röhrenspannung gewählt, welche für den jeweiligen Patienten und die jeweilige Fragestellung ideal ist, und dann für diese Röhrenspannung über die Expositionszeit die Dosis optimiert. Für das intraorale Kleinbildröntgen

hat sich eine Röhrenspannung zwischen 60 kV und 70 kV als Stand der Technik etabliert, wobei bei den meisten Geräten nur ein oder zwei Werte für die Röhrenspannung vorgegeben bzw. wählbar sind (siehe Kapitel 5). Diese Werte sollten aber möglichst genau reproduziert werden können, um Abweichungen und Schwankungen der Röhrenspannung nicht durch höhere Dosiswerte ausgleichen zu müssen.^{15,16} Da bei *gleicher* Expositionszeit eine höhere Röhrenspannung grundsätzlich mehr Röntgenstrahlung erzeugt, bestand beim Anwender bisweilen die irrierte Ansicht, dass Abweichungen nach unten harmlos wären. Wegen der niedrigeren Röhrenspannung muss aber mit der Expositionszeit und damit mit der Dosis hinaufgegangen werden. Auf Grund der höheren Absorption bei niederenergetischer Strahlung muss die Eingangsdosis überproportional höher sein, um am Film bzw. digitalen Sensor die gleiche Schwärzung bzw. das gleiche Signal zu erzielen.

Aus diesem Grund soll auch der niederenergetische Anteil im Energiespektrum des Nutzstrahls möglichst gering sein, was durch entsprechende Filterung des Nutzstrahls¹⁷ und DC-Technologie¹⁸ erreicht werden kann. Monopuls-Geräte benötigen im Vergleich zur DC-Technologie eine um etwa 50 % längere Expositionszeit [SATX04]. Alle die Röhrenspannung und Strahlenqualität betreffenden Faktoren zusammengekommen können auch innerhalb der in den technischen Normen zugelassenen Toleranzen zu einem Wert über 2 (mehr als 100 % über dem Idealwert) kumulieren.

Steuerung der Auslösezeit:

Wenn die Expositionszeit vom Sollwert abweicht, bewirkt dies eine entsprechende Abweichung der Dosis vom idealen Wert. Daher muss auch die gewünschte Expositi-

¹⁵ Nur bei wenigen Geräten ist vorgesehen, Spannungsabweichungen (in gewissen Grenzen) durch eine automatische Anpassung der Expositionszeiten zu kompensieren.

¹⁶ [5240-11] lässt eine relative Abweichung von maximal 10 % nach oben und unten zu (p 6, Punkt 5.2.1 der zitierten Norm).

¹⁷ Die (Eigen-)Filterung des Nutzstrahls muss gemäß § 41 (2) der Strahlenschutzverordnung mindestens 2 mm Aluminiumgleichwert betragen. Laut [5240-11] muss die Gesamtfilterung mindestens 1,5 mm Al (bis einschließlich 70 kV) bzw. 2,5 mm Al (über 70 kV) betragen (p 6, Punkt 5.3.1 der zitierten Norm).

¹⁸ DC (Direct Current) bedeutet, dass eine konstante Röhrenspannung erzeugt wird. Bei bloßer Transformation und Gleichrichtung der Netzspannung (Monopuls-Geräte) würden Spannungspulse entstehen, die auch einen niederenergetischen Anteil enthalten.

onszeit (Luftkerma in Abhängigkeit vom Strom-Zeit-Produkt¹⁹) möglichst genau reproduzierbar sein.²⁰ Anders als bei älteren Geräten ohne elektronische Steuerung stellt dies bei Geräten mit elektronischer Steuerung in der Regel kein Problem dar.²¹

Tubuslänge:

Der Abstand des Patienten vom Brennfleck der Röntgenröhre sollte möglichst groß, der Tubus also möglichst lang sein. Wegen der praktischen Handhabung stellt eine Tubuslänge von 30 cm mehr oder weniger die Obergrenze dar. Laut [5240-11] muss ein Mindestabstand von 10 cm (bis einschließlich 60 kV) bzw. 20 cm (über 60 kV) sichergestellt sein (p 7, Punkt 5.6.1 der zitierten Norm).

Geräteeinstellung:

Neben Röhrenspannung (s.o.) und in wenigen Fällen Röhrenstrom ist bei allen Kleinbildröntengeräten die Expositionszeit bei jeder Aufnahme richtig einzustellen. Sie steht in direktem linearem Zusammenhang mit der Dosis. Die Einstellung erfolgt entweder durch direkte Wahl der Zeitdauer (z. B. 0,2 s) oder über die Zahnauswahl (z. B. Symboltaste für hintere Backenzähne, Unterkiefer) und andere Parameter (z. B. Filmtype). Aus verschiedenen Gründen wird nicht immer die optimale Wahl getroffen. Solche sind beispielsweise:

- „one size fits all“ (insbes. bei alten Geräten mit Zeitschaltuhr): es wird nur zwischen ganz wenigen Einstellungen unterschieden und für die meisten Zähne die selbe Einstellung verwendet (siehe zweites Beispiel im Anhang 8, Erhöhung der Dosis um 60 %)
- schlechte Gebrauchsanweisung, z. B. falsche Bezeichnung von Ober- und Unterkiefer (siehe drittes Beispiel im Anhang 8, Erhöhung der Dosis um 60 %)

¹⁹ Bei den meisten Kleinbildgeräten sind eine oder maximal zwei Stromstärken fix vorgegeben.

²⁰ [5240-11] legt fest, dass der Variationskoeffizient aus mindestens 5 Messungen höchstens 5 % betragen darf (p 7, Punkt 5.7.1 der zitierten Norm).

²¹ Ein Fall ist jedoch bekannt, dass Expositionszeit und Dosis wegen eines Softwareproblems 20 % vom Sollwert abwichen.

- mangelnde Erfahrung: z. B. bei digitalen Geräten, wo ich auch bei 10-facher Expositionszeit die gleiche Bildqualität erhalte (die Bildqualität verschlechtert sich aber zusehends, wenn ich unter der idealen Expositionszeit liege), oder bei selten durchgeführten Aufnahmearten.

Besonders krass wäre z. B. eine Erwachseneneneinstellung bei Kinderaufnahmen. In solchen Fällen erhielte der kleine Patient nicht nur unnötigerweise die doppelte Dosis²², sondern er ist wegen seinen jungen Jahren auch besonders strahlenempfindlich. Dazu kommen in der Regel andere ungünstige Faktoren wie zu großes Nutzstrahlenfeld (siehe Abschnitt 3.2).

Fehlaufnahmen und Sonstiges:

Zu Fehlaufnahmen (Ausschuss²³) kann es nicht nur wegen falscher Geräteeinstellung kommen, sondern auch z. B. wegen schlechter Entwicklungsgeräte oder -bedingungen. Wenn der Transportmechanismus eines alten Entwicklungsgerätes durchschnittlich jedes zehnte Bild „durch den Rost“ fallen lässt (vorzugsweise Kinderaufnahmen, weil diese kleiner sind), so bedeutet dies für die betroffene Einzelperson die doppelte Dosis und über alle Patienten gemittelt eine Erhöhung um 11 %.

Weitere Faktoren zur Reduktion der Patientendosis sind z. B. die Anwendung von Strahlenschutzmittel (Bleischürze, Bleischild).

Abschließend möchte ich noch an einem Beispiel veranschaulichen, wie sich das Zusammentreffen von mehreren Schwachstellen auswirkt. Für praktisch alle in diesem Abschnitt angeführten dosisbestimmenden Größen gilt, dass sie nicht bloß additiv kumulieren, sondern multiplaktiv; der Begriff „Faktor“ ist also durchaus wörtlich zu nehmen. Das heißt konkret: Wenn ich wegen zu großem Nutzstrahlenfeld (schlechtes Tubusformat) eine Dosiserhöhung um 200 %, wegen alter Bildempfängertechnologie (unempfindlicher Film statt gutem Sensor) eine Dosiserhöhung um 500 %, und wegen

²² abgeleitet aus Herstellerangaben (Belichtungstabellen)

²³ Für die Radiologie allgemein gibt es Statistiken, nach denen der Ausschuss im internationalen Schnitt bei konventioneller Filmtechnik über 10 % liegt [BRAU01].

mittelmäßiger Gerätebedienung (d. h. Auswahl der Einstellparameter für die jeweilige Zahnaufnahme könnte besser sein) eine Dosiserhöhung um 100 % habe, so ergibt dies zusammen nicht eine Mehrbelastung von $200 \% + 500 \% + 100 \% = 800 \%$, sondern eine $3 \times 6 \times 2 = 36$ -fache Dosis, also eine Erhöhung um 3500 % (dreitausend-fünfhundert Prozent!).²⁴ Davon könnten in diesem Beispiel allein durch optimale Gerätebedienung 1800 Prozentpunkte (1800 % der Optimaldosis) eingespart werden. Oder anders ausgedrückt: Wenn sonst alles bestens ist, richtet ein einziger Faktor einen vergleichsweise geringen Schaden an (z. B. Dosiserhöhung um 100 % des Idealwertes), aber wenn noch zwei oder drei andere Faktoren ebenfalls schlecht sind, ist dessen Auswirkung enorm (z. B. Dosiserhöhung um 1800 % des Idealwertes durch diesen einen zusätzlichen Faktor).

Auf Grund dieser Kumulierung wird es auch verständlich, dass der Unterschied zwischen bester und schlechtester Praxis über einen Faktor 100 (100-fache Dosis im schlechtesten Fall) betragen kann, wie dies - zwar nicht für Zahnärzte, aber für radiologische Institute - in einer EU-Statistik festgestellt wurde [BRAU01]. Wie im übernächsten Kapitel dargelegt wird, sind die Dosisunterschiede bei den Linzer Zahnärzten nicht ganz so extrem - aber dennoch ein Zehnfaches der geringsten Dosis. Es stellt sich also immer wieder die Frage, welche Abweichungen noch tolerierbar seien. Dies wird subjektiv sehr unterschiedlich bewertet. Während für die einen eine Überschreitung des (realistischen) Optimalwertes um 50 % schon viel ist (Faktor 1,5), nehmen andere einen Faktor 10 (auch bei Neuanschaffung eines Gerätes) ohne weiteres in Kauf. Einen gewissen Spielraum wird die Strahlenschutzbehörde jedenfalls zulassen müssen. Um diesen im richtigen Rahmen zu sehen, wird im nächsten Kapitel etwas näher auf statistische Daten und andere röntgendiagnostische Untersuchungen eingegangen.

²⁴ Wem dieses „Manipulieren mit Zahlen“ undurchsichtig erscheint, der möge sich beispielhaft den physikalischen Hintergrund für diesen gewaltigen Anstieg vor Augen halten: Eine z. B. durch Fehlbedienung verursachte längere Expositionsdauer gilt ja nicht nur für jenen Teil des Strahlenbündels, der den Film oder Sensor trifft, sondern auch der überflüssige Anteil des Strahlenfeldes ist länger eingeschaltet. Und so ähnlich ist es bei allen anderen Faktoren auch (eine große Abweichung der Röhrenspannung vom Sollwert gilt regelmäßig während der gesamten, unnötig verlängerten Expositionszeit und für das gesamte Strahlenbündel, inklusive überflüssigem Anteil außerhalb des Bildempfängers etc.).

Haben Sie Angst vor einem Röntgen?

Stellen Sie sich vor, Sie sind der statistisch durchschnittliche Österreicher.

Wie hoch beurteilen Sie das Risiko, dass Sie als Spätfolge ihrer „Röntgenbilder“ (diagnostischer Radiologie) an Krebs sterben?

- a 2 % oder höher
- b 2 ‰
- c 0,2 ‰
- d wesentlich kleiner als 0,1 ‰
- e darüber gibt es keine Ernst zu nehmende Literatur

Wenn Sie keine der Antworten für richtig halten, kreuzen Sie jene an, die ihrer Meinung nach der richtigen am nächsten kommt.

Die Lösung findet sich in einer Fußnote des nächsten Kapitels.

Einschub 2 (Angst vor Röntgenstrahlen)

4. Das Kleinbild im Kontext medizinischer Radiodiagnostik

Der bei weitem größte Beitrag zur zivilisatorisch bedingten Strahlenexposition stammt bei uns von Röntgenstrahlen, welche wir als Patienten bei Röntgenuntersuchungen und interventionellen radiologischen Verfahren erhalten.²⁵ Durch diagnostische radiologische Maßnahmen werden bis zu 3 % der Krebsfälle verursacht [BEDA04, zitiert nach KLET04]. In Österreich wird der Anteil der Röntgendiagnostik an der gesamten Krebsrate auf 1 % geschätzt [KLET04], das sind über 200 Krebsfälle pro Jahr.^{26, 27, 28} Inwieweit trägt die Zahnmedizin dazu bei?

4.1 Vergleich einzelner Röntgenuntersuchungen

De minimis non curat praetor?

Bei zahnmedizinischen Untersuchungen sei die Dosis minimal im Vergleich zu anderen Röntgenuntersuchungen. Dies wurde oft als Argument gegen aufwändige Qualitätssichernde Maßnahmen mit dem Ziel einer weitergehenden Reduzierung der Strahlenbelastung in der zahnmedizinischen Radiologie vorgebracht. In der Tat ist die Aussage insofern richtig, als sich die Dosiswerte von Zahnrontgen am unteren Ende aller Werte von Röntgenuntersuchungen befinden. Aus diesem Grund hat sich die sogenannte Qualitätssicherung (im Sinne von planmäßigen und systematischen Maßnahmen) in der Computertomografie (CT) auch viel früher etabliert als im Bereich der Kleinbildröntgengeräte, wo sie erst jetzt allmählich umgesetzt wird. Während bei den

²⁵ Bei der interventionellen Radiologie werden (gering invasive) chirurgische Eingriffe unter Bildkontrolle durchgeführt, z. B. angiografische Verfahren an Gefäßen und Organen (Gefäßdilataationen, Sten-teinlagen etc.).

²⁶ Es soll hier keineswegs der Eindruck erweckt werden, Röntgenuntersuchungen seien grundsätzlich negativ. Dem Risiko steht ja ein direkter Nutzen des betroffenen Patienten gegenüber, der in aller Regel weit höher zu werten ist. Die zitierten Zahlen unterstreichen aber die Sinnhaftigkeit einer Optimierung der Strahlenbelastung.

²⁷ Die Statistik Austria weist für 2004 (praktisch unverändert innerhalb der letzten Jahre) insgesamt 19.245 Krebstote aus.

²⁸ Die richtige Antwort zum *Einschub 2* ist also . Weitere Angaben dazu und interaktive Links zur Literatur finden Sie in *Anhang 9*.

Liefer- und Wartungsfirmen von CT-Anlagen das Bewusstsein für Dosisoptimierung durchwegs verankert ist (und auch als wesentlich für die eigenen Marktchancen angesehen wird), gibt es diesbezüglich bei den Dentalfirmen - insbesondere was die praktische Umsetzung betrifft - sicher noch Aufholbedarf.

In welchem Verhältnis stehen nun die Dosiswerte tatsächlich zueinander? Wegen der Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungsbedingungen und der bereits im letzten Kapitel dargelegten großen Schwankungsbreite bei ein- und derselben Aufgabenstellung können immer nur Durchschnittswerte oder Werte für „Standard-Patienten“ verglichen werden und die Variation von Dosisangaben ist naturgemäß groß.²⁹ Dazu kommt ein unterschiedlicher Bezugszeitraum der verschiedenen Studien: Jüngere Erhebungen weisen tendenziell niedrigere Werte aus. Einen Überblick über die Strahlenbelastung verschiedener Untersuchungsarten vermittelt beispielhaft *Tabelle 1* [BFSS03, p 20].

Untersuchungsart	Effektive Dosis [mSv]
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	0,01 – 0,1
Schädel	0,03 – 0,1
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,05
Mammographie beidseits in 2 Ebenen	0,2 – 0,6
Lendenwirbelsäule (2 Ebenen)	0,8 – 1,8
Becken	0,5 – 1,0
Magen und Darm	6 – 18
Schlagadern (Arteriographie)	10 – 20
CT Kopf	2 – 4
CT Brustraum	6 – 10
CT Bauchraum	10 – 25

Tabelle 1 Mittlere Dosiswerte bei Röntgenuntersuchungen (an Standard-Patienten mit ca. 70 kg Körpergewicht)

²⁹ Grundsätzlich besteht auch das Problem, dass unterschiedliche Untersuchungen ganz andere Organe und Gewebe belasten und so unterschiedliche Risiken unterschiedlicher Tumorarten hervorrufen. Diese müssen also wie „Äpfel und Birnen“ miteinander verglichen werden. Die Methode dazu bildet das Konzept der effektiven Dosis. Das ist eine sehr komplizierte Dosisgröße, welche nicht un-

Hier wird die effektive Dosis für Zahnaufnahmen mit bis zu 10 μSv ($\leq 0,01 \text{ mSv}$) ausgewiesen, bei CT-Untersuchungen hingegen beträgt sie im Mittel das Tausendfache (10 mSv). Ähnliche Werte finden sich in [HART95] (z. B. 10 mSv für CT Bauch / Becken). In [MINI95], [BEBA95] und [SCHM95] (zitiert nach [KRIE02]) werden z. B. folgende Dosiswerte bei günstigen Bedingungen angegeben: 2,6 mSv (Kopf), 7 mSv - 36 mSv (Brustraum) bzw. 8 mSv - 60 mSv (Bauchraum) für CT-Untersuchungen und 2 μSv - 17 μSv für Zahnaufnahmen. Noch unterhalb der Zahnaufnahmen befinden sich in dieser Reihung Ellbogen und Knie (effektive Dosis $< 1 \mu\text{Sv}$).

An dieser Stelle soll auch auf den Vergleich zwischen Panoramabild und Kleinbild des Gebisses bzw. eines Zahnes eingegangen werden. Auch hier ist eine allgemeine Gegenüberstellung wegen der Vielzahl der unterschiedlichen Bedingungen schwierig.³⁰ Generell aber lässt sich sagen, dass eine komplette Panoramaaufnahme einerseits eine höhere Dosis verursacht als ein Kleinbild, andererseits aber die Strahlenbelastung geringer ist als bei einer Serie von Einzelbildern, welche das ganze Gebiss abdeckt. Für Panoramaaufnahmen des ganzen Gebisses beträgt die effektive Dosis (unter optimalen Bedingungen) etwa 20 μSv [GIDR02, LFDR93]. Ähnliche Werte werden in [LDDR03] - 22 μSv ³¹ - und [LEDR00] – 16,4 μSv ³² - angegeben. [FBDR94] weist 26 μSv aus. Für periapische Einzelaufnahmen wurden je nach Zahn zwischen 1 μSv (vorne) und 3 μSv (hinten) bei Verwendung eines Rechtecktubus bzw. 5 μSv (hinten) bei Verwendung eines Rundtubus ermittelt [GIDR02]. Eine etwas ältere Studie gibt eine Bandbreite von 1 μSv bis 4 μSv ³³ an [VADR91]. In der Praxis werden diese Literaturwerte wohl häufig überschritten. Ein grober Vergleich der in Linz durchgeführten

mittelbar messbar ist, sondern nur berechnet werden kann. Sie ist ein Maß für das mit einer Strahlenexposition verbundene stochastische Risiko.

³⁰ Abgesehen von unterschiedlichen Geräten werden in der Literatur insbesondere unterschiedliche Werte je nach ausgewähltem Zahn bzw. Mundbereich und verwendetem Tubus (siehe Abschnitt 3.2) dargestellt. Dazu kommt weiters, dass unterschiedliche Verfahren zur Berechnung der effektiven Dosis herangezogen werden. So etwa sind die Wichtungsfaktoren nach älteren Vorschriften nicht ident mit jenen aus [ICRP60] oder es werden zusätzliche Organe (Speicheldrüsen) bei der Berechnung der effektiven Dosis berücksichtigt (siehe die drei folgenden Fußnoten).

³¹ 6,2 μSv ohne Berücksichtigung der Speicheldrüsen

³² 9 μSv ohne Berücksichtigung der Speicheldrüsen

³³ Nach den damals noch vorgesehenen Wichtungsfaktoren der ICRP Publication 26 (1977) waren dies 2 μSv bis 11 μSv .

Messungen ergibt als Faustregel, dass eine Panoramaaufnahme hinsichtlich der Dosis in etwa 5 - 10 Einzelaufnahmen entspricht.³⁴

4.2 Beitrag der zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen zur Kollektivdosis

Auch Kleinvieh macht Mist!

In einer österreichischen Studie wurde die durch medizinische Röntgenuntersuchungen bewirkte effektive Kollektivdosis für das Jahr 2000 auf 9690 Personen-Sievert geschätzt, das sind 1,21 mSv pro Österreicher³⁵ [NOWO02]. *Abbildung 2* zeigt, wie sich diese Dosis auf die einzelnen Röntgenuntersuchungen aufteilt.

³⁴ Es verblüfft, dass eine österreichische Studie die effektive Dosis einer zahnmedizinischen Untersuchung mit Kleinbildaufnahmen mit 150 μ Sv ausweist, während sie bei Panoramaaufnahmen 26 μ Sv beträgt [NOWO02, unter Verwendung von Daten aus HOFRO1]. Die hohe Dosis bei den Kleinbildern wäre allenfalls erklärbar, wenn praktisch bei jeder Untersuchung gleich eine ganze Serie von Kleinbildern geschossen wird und/oder in diesem Bereich überwiegend alte Röntgengeräte und Techniken zum Einsatz kommen, deren Strahlenexposition ein Vielfaches des Idealwertes beträgt. Für Linz kann dieser Befund jedenfalls nicht bestätigt werden: Die Mehrzahl der Zahnärzte findet regelmäßig mit ein bis maximal drei Kleinbildern während einer Behandlung das Auslangen. Jene, welche häufig gleich eine ganze Aufnahmeserie des selben Patienten erstellen (lassen), verfügen meist über kein eigenes Panoramagerät und sind in der Minderheit. Auch gibt es keine auffälligen systematischen Unterschiede zwischen Panorama- und Kleinbildgeräten, was den Stand der Technik betrifft.

³⁵ Im Vergleich dazu liegt Deutschland mit 1,9 mSv / Jahr (1991-92, 1997) wesentlich höher, die Schweiz mit 1,0 mSv/Jahr (1998) etwas niedriger. Bezüglich Zahnaufnahmen ist Österreich jedoch Spitzenreiter: 0,1 mSv pro Österreicher und Jahr im Vergleich zu durchschnittlich 0,01 mSv pro Person und Jahr in jenen Ländern, die - wie Österreich - in die oberste Klasse der Gesundheitsversorgung fallen (Health Care Level I, [UNSC00]).

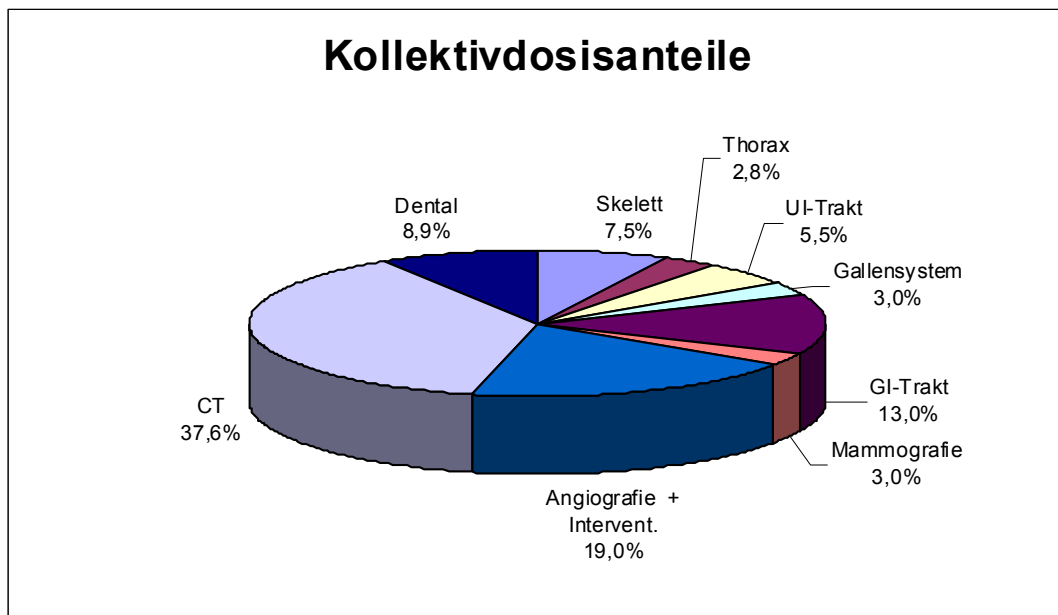


Abbildung 2 Grafische Darstellung des relativen Anteils an der kollektiven Dosis von verschiedenen Röntgen- und Dentaluntersuchungen in Österreich für das Jahr 2000 [NOWO02]

Ähnlich wie in *Tabelle 1*, ist auch hier die Computertomografie der Spitzenreiter. Zusammen mit Angiografie + interventioneller Radiologie trägt sie mehr als zur Hälfte zur Kollektivdosis bei, obwohl diese der Anzahl nach nur wenige Prozent der radiologischen Untersuchungen ausmachen. Zahnaufnahmen hingegen betragen mengenmäßig fast die Hälfte (46 % der Röntgenuntersuchungen). Trotz geringer Einzeldosen macht daher die Dosis der gesamten Zahnaufnahmen etwa 9 % der Kollektivdosis aus. Das ist immerhin mehr als das Dreifache der Dosis aller Thoraxaufnahmen, welche nach den Zahnaufnahmen die häufigste Röntgenuntersuchung darstellen.

Diese Zahlen sollen in einem Gedankenexperiment veranschaulicht werden: Dazu nehmen wir an, dass im Dentalbereich wegen der niedrigen Einzeldosen - ganz nach dem oben angeführten Motto „*de minimis non curat praetor*“³⁶ - dem Grundsatz der Optimierung keine besondere Beachtung geschenkt wird, also z. B. nicht der empfindlichste Film verwendet wird, die bestrahlte Fläche (Format) größer als erforderlich ist, das Gerät nicht optimiert ist, auf Strahlenschutzzubehör verzichtet wird etc.. Die dadurch hervorgerufenen Effekte multiplizieren sich sehr rasch zu ansehnlichen Werten,

³⁶ Etwa: „Um die ganz kleinen Dinge braucht sich der Prätor nicht zu kümmern“. Der Prätor war eine der Behörden im alten Rom.

wie im Abschnitt 3.3 gezeigt wurde. Nehmen wir an, dass sich durch eine lockere Handhabung die effektive Dosis im zahnmedizinischen Bereich um den Faktor 7 vermehrt. Dies wäre im Einzelfall keineswegs Besorgnis erregend. Für eine konkrete Kleinbildaufnahme stellt sich dies in Zahlen z. B. so dar: 1 μSv als Idealwert, 2 μSv als guter Praxiswert bei Optimierung, $2 \times 7 = 14 \mu\text{Sv}$ entsprechend unserer Annahme. Diese Strahlenbelastung ist immer noch wesentlich geringer als bei einer durchschnittlichen Lungenaufnahme und bloß ein Bruchteil jener einer Mammografie. Für unser Gedankenexperiment nehmen wir nun weiters an, dass die Strahlenexposition bei allen anderen, nicht zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen gleich bleibt, ebenso die Häufigkeit der Untersuchungen. Wie sieht in einem solchen Fall die Aufteilung der Kollektivdosis aus? Nun hätten sich die Gewichte gewaltig verschoben, das größte „Kuchenstück“ wäre der Dentalbereich: Mit 40,6 % wäre er größer als CT und Angiografie + interventionelle Radiologie zusammen, welche in diesem gedanklichen Beispiel mit 36,9 % zur Kollektivdosis beitragen würden.³⁷

Daraus ergibt sich praktisch zwingend, dass auch im zahnmedizinischen Bereich nicht auf Vorschriften zur Optimierung, Qualitätssicherung und adäquate Überwachung verzichtet werden kann.

³⁷ Das Gedankenexperiment kann natürlich auch in umgekehrter Richtung angestellt werden: Gelingt es durch sorgfältige Optimierung und Qualitätssicherung, welche nun auch im zahnmedizinischen Bereich durchgeführt wird, die durchschnittliche effektive Dosis der Patienten beim Zahnarzt zu halbieren, so würde der Anteil der Zahnmedizin an der Kollektivdosis aller Röntgenuntersuchungen auf 4,7 % sinken. Absolut betrachtet wäre dies eine Reduktion um mehr als 400 Personen-Sievert, was rein rechnerisch nach den oben zitierten Studien mehreren Krebsfällen pro Jahr (≥ 10) entspricht.

5. Patientenexposition bei Linzer Zahnärzten

In diesem Kapitel werden Dosismessungen an über 100 Kleinbildröntgengeräten dargestellt, welche zwischen 2001 und 2003 bei Überprüfungen gemäß § 17 Strahlenschutzgesetz in Linz vorgenommen wurden. Dabei wurde jeweils nachgefragt, welche Geräteeinstellung für die Aufnahme eines vorderen Backenzahns des Unterkiefers (34 oder 44 nach FDI) bei einem durchschnittlich starken Erwachsenen (etwa 80 kg) in der Regel³⁸ verwendet wird, und die Dosismessung nach diesen Angaben durchgeführt.

5.1 Gerätebestand

Welche Kleinbildröntgengeräte gibt es?

Die in Linz verwendeten Kleinbildgeräte stammen von europäischen, japanischen oder US-amerikanischen Herstellern. Dominiert wird der Markt von einigen wenigen europäischen Firmen. Die beiden führenden Unternehmen allein lieferten mehr als die Hälfte der untersuchten Geräte. Im *Anhang 10* sind interaktive Verknüpfungen zu diesen und einigen weiteren Herstellern enthalten. Die Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte auf die verschiedenen Hersteller ist in *Abbildung 3* dargestellt.³⁹ Nicht immer verfolgen die Hersteller die gleiche Philosophie, z. B. bei der Frage, ob möglichst viele technische Parameter variabel gehalten werden oder diese weitgehend fest vorgegeben sind und einige wenige einstellbare Größen ausreichen.

³⁸ Eine weitergehende Spezifikation der Referenzaufnahme - etwa welche medizinische Fragestellung beantwortet werden soll - war damit nicht erforderlich. Seitens der Gerätebetreiber wurde praktisch nie nach zusätzlichen Kriterien unterschieden.

³⁹ Die Abgrenzung zwischen den verschiedenen Herstellern ist naturgemäß unscharf, da während der Verwendungsdauer der Röntgengeräte vielfach Umstrukturierungen, Firmenübernahmen oder Unternehmenszusammenschlüsse erfolgten und die Unternehmensnachfolge nicht immer ohne weiteres eindeutig erkennbar ist. Die Tendenz geht sicher auch in diesem Marktsegment zu einer Konzentration auf einige wenige Anbieter.

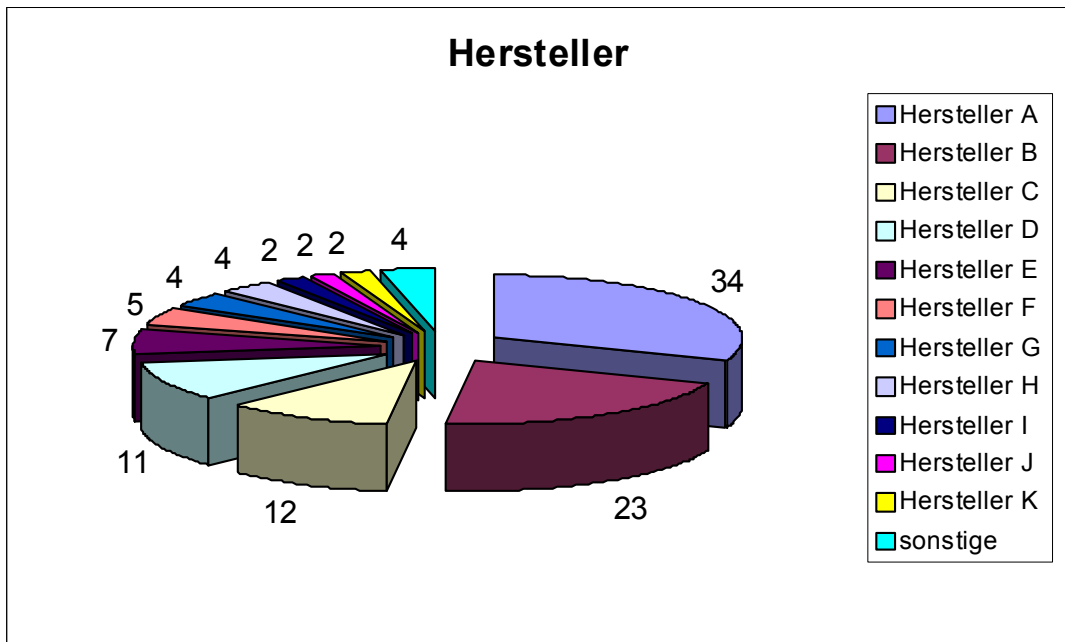


Abbildung 3 Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach Herstellern

Nach wie vor hat die überwiegende Mehrzahl der Geräte *eine* fest vorgegebene Röhrenspannung.

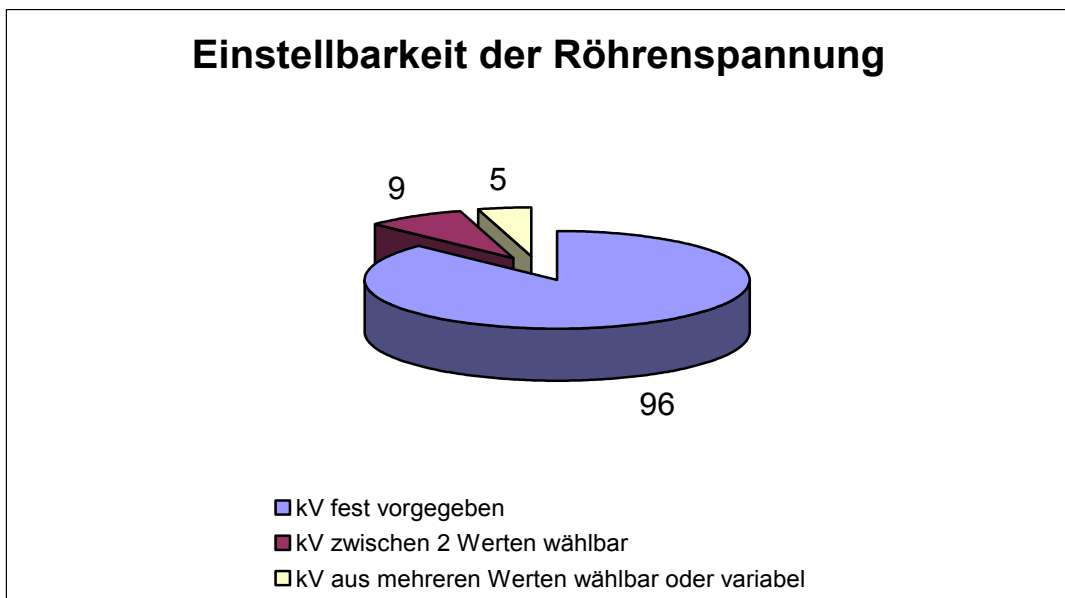


Abbildung 4 Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach der Möglichkeit, die Röhrenspannung einzustellen

Bei etwa 8 % kann zwischen zwei Werten gewählt werden und nur bei einigen wenigen Geräten kann sie in kleineren Schritten von einigen kV bestimmt oder kontinuierlich eingestellt werden (*Abbildung 4*). Welche Werte eingestellt werden können, ist in *Abbildung 5* dargestellt.

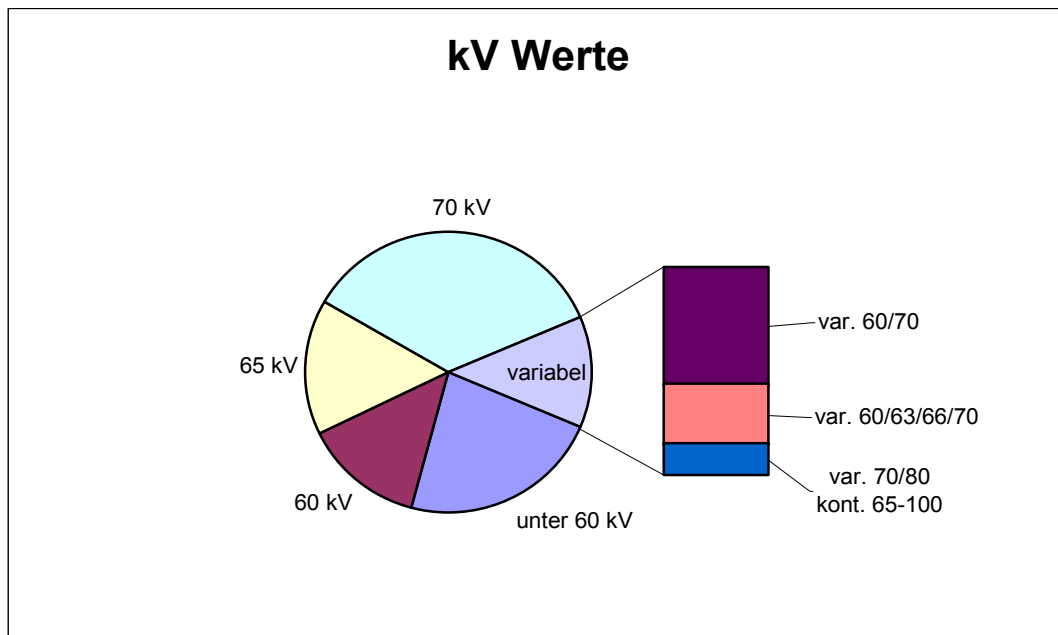


Abbildung 5 Aufteilung der untersuchten Röntengeräte nach der einstellbaren Röhrenspannung

Dabei sind in der Gruppe unter 60 kV vor allem ältere und zum Teil inzwischen ausgeschiedene Geräte zu finden. Unter dem Aspekt des patientenbezogenen Strahlenschutzes schneiden diese am schlechtesten ab (siehe unten, Abschnitt 5.3). Was den Schutz von Personal und Umgebung anbelangt, verhält es sich umgekehrt: Die Abschirmung ist umso aufwändiger, je höher die Röhrenspannung liegt. Schutzmaßnahmen sind stets nach der maximalen Röhrenspannung ausgelegt, welche für die hier untersuchten Kleinbildgeräte in *Abbildung 6* dargestellt ist.

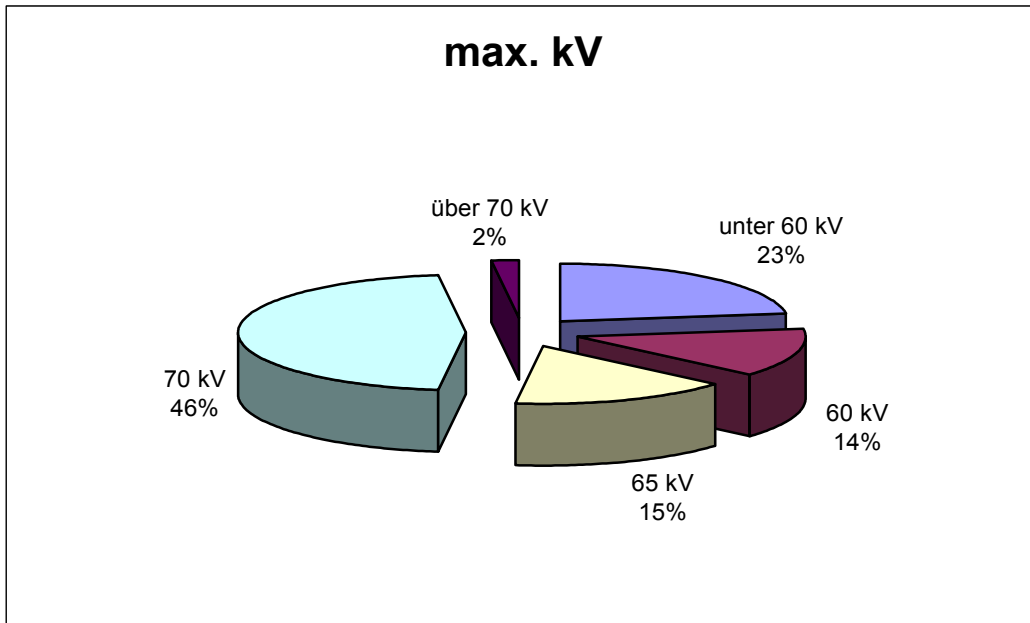


Abbildung 6 Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach der maximalen Röhrenspannung

5.2 Messgröße und Messwerte

Wie viel Dosis habe ich bekommen, Frau Doktor?

Gemessen wurde die Eingangsdosis am fokusfernen Tubusende.^{40,41,42} Von dieser kann auf die sogenannte Hauteintrittsdosis geschlossen werden, also auf jene Dosis, welche der Patient an der Körperoberfläche erhält. Im Körperinneren ist der Patient freilich einer immer geringer werdenden Dosis ausgesetzt, weil der Nutzstrahl umso

⁴⁰ Die Eingangsdosis ist als Luftkerma in der ungeschwächten Nutzstrahlung in einem anzugebenden Abstand vom Brennfleck und bei anzugebender Filterung definiert und wird üblicherweise mit dem Symbol K_E bezeichnet (p 5, Punkt 3.4 in [5214-1]).

Das Akronym „Kerma“ steht für „kinetic energy released per unit mass“. Sie ist also das Verhältnis der von der Röntgenstrahlung stammenden Bewegungsenergie geladener Sekundärteilchen zur Masse des betrachteten (Luft-)Volumens und wird in Gray (Gy) gemessen.

⁴¹ Die Eingangsdosis wurde früher auch als Einfallsdosis bezeichnet.

⁴² Es wird angenommen, dass der Tubus bei Aufnahmen nahezu auf die Haut aufgesetzt wird und somit der angegebene Abstand in etwa dem Fokus-Haut-Abstand entspricht.

schwächer wird, je weiter er in den Körper eindringt.⁴³ Der wesentliche Unterschied zwischen der in Luft gemessenen Eingangsdosis und einer am Patienten gemessenen Eintrittsdosis besteht darin, dass der Patient mit der von ihm verursachten Rückstreuung zusätzlich zur Dosis an der Körperoberfläche beiträgt.⁴⁴ Der Rückstreuteil hängt von der Querschnittsfläche des Strahlenbündels und dessen Energie ab; er liegt jedenfalls unter 30 % (Tabelle 14.12.1 in [KRIE02]).

Eintrittsdosis und Eingangsdosis sind nicht zu verwechseln mit der effektiven Dosis, welche zum Vergleich verschiedener radiologischer Untersuchungen herangezogen wird (siehe Abschnitt 4.1, Fußnote 29). Die effektive Dosis ist ungefähr um zwei Größenordnungen kleiner als die Eintrittsdosis. Sie kann nicht direkt gemessen werden. Ihre exakte Ermittlung ist relativ kompliziert und würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Prinzipiell kann sie aus Messdaten und Angaben zur Strahlenqualität (Röhrenspannung, Filterung) und zur (Patienten-)Geometrie (Format, Tubuslänge, Nutzstrahlrichtung, Kopfanatomie etc.) berechnet bzw. mittels Computersimulationen ermittelt werden.⁴⁵

Im allgemeinen korrelieren Eingangsdosis und effektive Dosis, weil sich die meisten der dosisbestimmenden Faktoren auf beide Größen gleich oder zumindest mit gleicher Tendenz auswirken (z. B. erhöht eine längere Belichtungszeit Eingangsdosis und effektive Dosis prozentuell im gleichen Ausmaß). Dies gilt aber nicht für alle dosisbestimmenden Faktoren. Daher ist es in Einzelfällen möglich, dass beim Vergleich zweier Untersuchungen die effektive Dosis geringer ist, obwohl die höhere Eingangsdosis gemessen wurde (z. B. bei Verwendung eines Rechtecktubus, der die effektive Dosis um bis zu 65 % reduziert, was aber bei der Messung der Eingangsdosis - welche im-

⁴³ Das gilt für die hier betrachtete Röntgenstrahlung, nicht aber allgemein für jede ionisierende Strahlung: Bei hoch energetischer Photonenstrahlung nimmt die Dosis zunächst zu.

⁴⁴ Wenn die Eintrittsdosis auf die Haut bzw. menschliches Gewebe bezogen wird, ist daneben noch zu berücksichtigen, dass Luft (Bezugssubstanz der Eingangsdosis) die Strahlung etwas schlechter absorbiert als menschliches Gewebe, welches ungefähr Wasser als Absorptionsmaterial entspricht. Bei diagnostischer Röntgenstrahlung werden dafür näherungsweise 5 % angesetzt.

Der Begriff ‚Eintrittsdosis‘ wird aber unterschiedlich verwendet. Oft steht er synonym für Oberflächendosis (entrance surface dose) und bezieht sich dann auf Luft als Absorptionsmaterial (*Luftkerma* im Fokus-Haut-Abstand einschließlich Rückstreuteil des Patienten, [KRIE02] p 380).

⁴⁵ Selbst bei gleichem Röntgengerät und gleicher Patientengeometrie sind noch mehrere Fallunterscheidungen möglich, die sich auf die Berechnung der effektiven Dosis auswirken: Je nachdem, ob von einer konservativen Betrachtung oder einer möglichst genauen Berechnung ausgegangen oder welche Definition - die im Laufe der Zeit adaptiert wurde - zu Grunde gelegt wird, kann z. B. die Erfassung der Speicheldrüsen oder anderer Organe das Ergebnis beeinflussen [GIDR02].

mer im Zentrum des Strahlenbündels vorgenommen wird - nicht erfasst wird; siehe Abschnitt 3.2).

Wegen der schon erwähnten Abschwächung des Nutzstrahls im Körperinneren ist die Eingangsdosis auch ein Mehrfaches der sogenannten Bildempfängerdosis.⁴⁶ Das ist jene Dosis, welche im Mund (intraoral) am Ort des Röntgenfilms bzw. digitalen Sensors gemessen würde. Die Bildempfängerdosis spielte bisher bei der Qualitätssicherung im zahnmedizinischen Bereich von allen Dosisgrößen die Hauptrolle: Sie darf einen für bestimmte Bedingungen vorgegebenen Grenzwert nicht überschreiten.⁴⁷ Wollte man aber die Bildempfängerdosis als Maß für die effektive Dosis heranziehen, würde dabei diese - anders als bei der Eingangsdosis - bei niedrigen Röhrenspannungen (z. B. 50 kV statt 65 kV) unterschätzt. Daher wird hier der Eingangsdosis der Vorzug gegeben.⁴⁸ Auch bei den in den letzten Jahren in Deutschland [BFSR03] und Österreich (MedStrSchV) veröffentlichten diagnostischen Referenzwerten für Röntgenaufnahmen außerhalb der Zahnmedizin geht der Trend zur Eingangs- oder Eintrittsdosis.⁴⁹ Seit 1.7.2003 ist die Messung der Eingangsdosis nun auch in den österreichischen Normen für Kleinbildröntengeräte vorgesehen [61223-3-4, 5240-11].⁵⁰

⁴⁶ Der auf den „Standardpatienten“ bezogene Unterschied hängt wieder von der Strahlenqualität ab. Bei 70 kV unterscheiden sich Eingangsdosis und Bildempfängerdosis um etwa eine Größenordnung.

⁴⁷ Bei digitaler Bilderfassung oder -verarbeitung darf die Bildempfängerdosis K_B maximal 200 μGy betragen (p 7, Punkt 5.8.1 von [5240-11]). Bei konventioneller Filmtechnik wird zusätzlich die bewirkte optische Nettdichte des Films, D_N , berücksichtigt. Die aus K_B und D_N abgeleitete Nenndosis K_N darf 360 μGy nicht überschreiten (p 8, Punkt 5.10.2.1 der zitierten Norm).

⁴⁸ Für eine standardisierte Ermittlung der Bildempfängerdosis müssten außerdem zusätzliche Annahmen z. B. über den Schwächungskörper getroffen werden. Die Messung der Eingangsdosis ist dem gegenüber etwas einfacher.

⁴⁹ Zur deutschen Bekanntmachung wurde festgestellt, dass „somit der bisher vorrangig auf die Bildempfängerebene gerichtete ‚Dosisfokus‘ auch auf die Strahlungseintrittsebene des Patienten gerichtet (wurde). Diese neue Weise bifokaler Dosisbetrachtung und Dosisbewertung bei der Strahlenanwendung könnte einen weiteren Optimierungsprozess hinsichtlich der Strahlenexposition einerseits und der medizinisch notwendigen Bildqualität andererseits einleiten.“ [HAKR04]

Der österreichische Verordnungsgeber bezieht seine Werte - offenbar nach deutschem Vorbild - ebenfalls sowohl auf die Eingangsdosis als auch auf die Oberflächendosis (Anlage 3, Tabelle 1 der MedStrSchV). Zum Begriff ‚Oberflächendosis‘ siehe Fußnote 44.

⁵⁰ In Punkt 5.7 der zitierten Normen ist die Messung der Strahlungsausbeute (K_E / Q) verlangt. Dies kann nicht ohne Messung der Eingangsdosis K_E geschehen.

Einzelmessungen und Mittelwerte

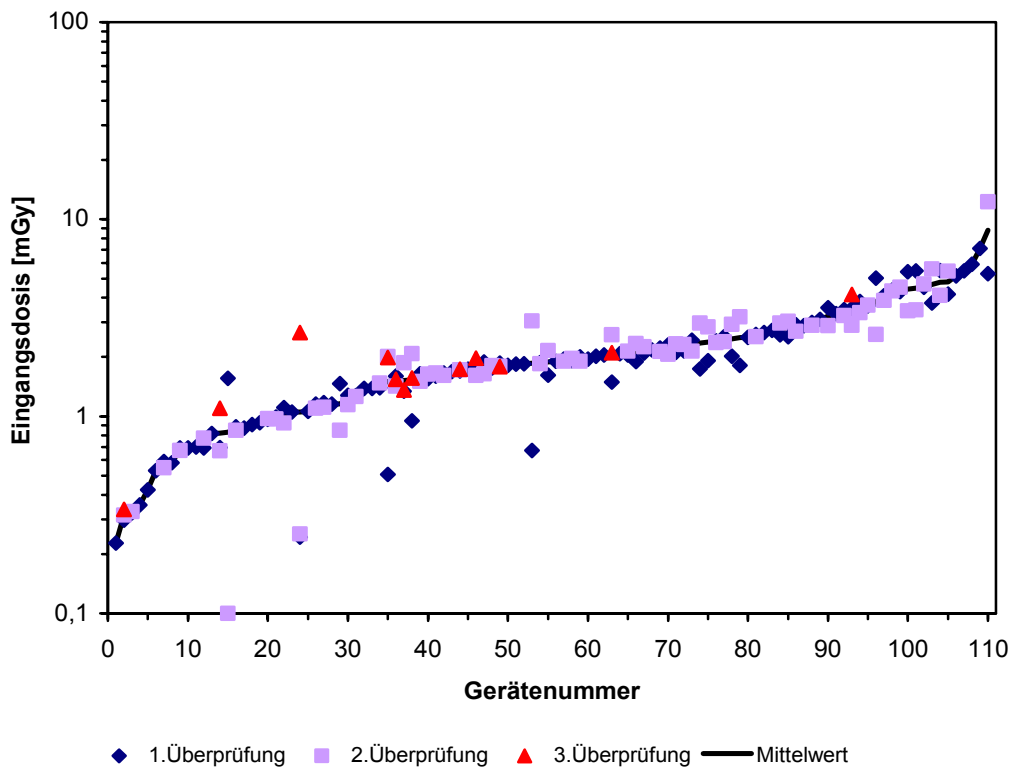


Abbildung 7 Darstellung aller Messwerte und der gerätebezogenen Mittelwerte der Eingangsdosis für eine Backenzahnaufnahme

Wer Messdaten präsentiert, muss sich auch mit den Messfehlern und anderen Unsicherheiten auseinandersetzen, mit denen diese Daten behaftet sind. Die Messunsicherheit des verwendeten, geeichten Dosimeters liegt unter 1,7 % (zweifache Standardunsicherheit⁵¹). Da die Messanordnung sehr einfach ist und auch nach Jahren leicht reproduziert werden kann, liegt darin ebenfalls keine größere Unsicherheit begründet. Wenn z. B. bei einer Tubuslänge von 20 cm der Ort des Messsensors vom Tubusende um 1 mm abweicht, würde sich dieser Fehler bei der Messung mit etwa 1% auswirken. Die solcherart abgeleiteten Fehlerbalken der Messwerte treten daher in den Hintergrund im Vergleich zu jenen Schwankungen, die die zeitliche Veränderung des jeweiligen Röntgengerätes einschließlich seiner Peripherie und Einsatzbedingungen (z. B. Alter der Entwicklerflüssigkeit, Verwendung anderer Einstellungen) verursa-

⁵¹ Bei einer Normalverteilung bedeutet dies einen Grad des Vertrauens von etwa 95 %.

chen kann. Die Auswirkung dieser Einflüsse ist in *Abbildung 7* ersichtlich: Hier ist für die untersuchten Röntgengeräte (nummeriert von 1 bis 110) die Eingangsdosis der angefragten Backenzahnaufnahme dargestellt, wie sie bei ein bis drei Überprüfungen desselben Röntgengerätes gemessen wurde. Dabei lag zwischen den Überprüfungen jeweils ein Zeitraum von 1 bis 2 Jahren, in dem sich Gerätezustand und Geräteverwendung natürlich merklich ändern konnten.⁵² Die Ergebnisse streuen in vielen Fällen um mehr als 10 %, bei einigen Geräten sogar um eine halbe Größenordnung (halblogarithmische Darstellung!). Die größten Unterschiede (Veränderungen zum Besseren) bestehen dort, wo das Röntgengerät zwischen den Überprüfungen auf eine digitale Technik umgerüstet wurde. Den Extremfall stellt das Gerät Nr. 15 dar, bei dem von einer (nicht optimalen) Filmtechnik auf einen digitalen Sensor umgestellt wurde und eine Verbesserung um einen Faktor 15 erzielt werden konnte. Veränderungen zum Schlechteren scheinen aber ebenfalls auf (z. B. Gerät Nr. 35). Abgesehen von einer Verschlechterung des Röntgengerätes und / oder der sonstigen Bedingungen mag dies in Einzelfällen auch damit zusammenhängen, dass die Angaben zur Geräteeinstellung für den spezifizierten Backenzahn bei der ersten Überprüfung geschönt waren, also eine kürzere Belichtungszeit vorgegeben wurde als sie üblicherweise verwendet und bei späteren Überprüfungen zu Grunde gelegt wurde.⁵³ Bei Geräten mit elektronischer Steuerung, bei denen es zwischen den Überprüfungen keinerlei Veränderung gegeben hat, war die Schwankung meist innerhalb der oben angeführten Fehlerbalken von wenigen Prozenten.

Vergleicht man in *Abbildung 7* die Geräte untereinander, so liegt zwischen dem niedrigsten Einzelwert (Gerät Nr. 15) und dem höchsten Wert einer einzelnen Messung (Gerät Nr. 110) ein Faktor 88. Die durchgezogene Linie in *Abbildung 7* stellt für jedes Gerät den Mittelwert der Messungen an diesem Gerät dar. Auch dieser unterscheidet sich noch immer um einen Faktor 39 zwischen dem 1. und dem letzten (110.) Gerät.

⁵² Es geht also nicht um mehrere, bei *derselben* Überprüfung hintereinander durchgeführte Messungen, wie sie etwa in Punkt 5.7 (Reproduzierbarkeit der Strahlungsausbeute) der ÖNORMEN [61223-3-4] und [5240-11] vorgesehen sind. Es wurde auch bewusst nicht darauf geachtet, dass z. B. die Entwicklerflüssigkeit vor einer genau definierten Zeitspanne angesetzt wurde (wie bei Konstanzprüfungen oft praktiziert), weil die Aufnahmebedingungen möglichst realitätsnah erfasst werden sollten.

⁵³ Unsicherheiten auf Grund der Angaben zur Geräteeinstellung dürften aber nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. In der Regel waren die Betreiber sehr kooperativ und ihre Angaben wurden auch durch andere Indizien (z. B. vorgefundene Geräteeinstellung, tatsächlich verwendete Belichtungstabellen etc.) bestätigt, so dass ich diese Fehlerquelle als gering erachte.

Vergleicht man die 10 besten Gerätemittelwerte mit den 10 schlechtesten, so beträgt der Unterschied im Mittel das 11-Fache der Dosiswerte der ersten Gruppe.

Ab wann sind nun Abhilfemaßnahmen zu treffen? Die übliche Strategie bei der Festlegung von Dosisreferenzwerten geht von der 3. Quartile (75% Quartile) der Verteilung der betreffenden Dosiswerte aus [NOWO02], d.h. als Orientierungshilfe wird die Grenze zwischen den 3 besseren und dem schlechtesten Viertel der Anwendungsfälle herangezogen.⁵⁴ *Abbildung 8* stellt daher die gerätebezogenen Mittelwerte der Eingangsdosis zusammen mit Median, Quartilen und der 90%-Perzentile dar (linearer Maßstab). Bei der Hälfte der Geräte liegt die spezifizierte Eingangsdosis unter 1,9 mGy und bei 3 Viertel der Geräte unter 2,7 mGy. Diese Werte wurden auch als Richtschnur bei der Beurteilung des patientenbezogenen Strahlenschutzes in Linz herangezogen.

Der Wert der Eingangsdosis allein bildete aber nicht die ausschließliche Entscheidungsgrundlage, wenn es darum ging, Verbesserungen vorzuschreiben. Insbesondere wurde auch berücksichtigt,

- was eine Verbesserung kostet (z. B. ist die Verwendung empfindlicherer Filme oft nur mit geringem finanziellen Aufwand verbunden),
- wie das Gerät eingesetzt wird (ob z. B. Stuserhebungen, welche gleich eine ganze Serie von Aufnahmen am selben Patienten beinhalten, häufig sind)
- und nicht zuletzt - mit Hinblick auf die effektive Dosis - ob ein Rund- oder Rechtecktubus verwendet wird.

In der Praxis waren Information und Empfehlung (ohne behördlichen Zwang) oft ausreichend, um eine Optimierung zu veranlassen.⁵⁵ In diesem Sinne wurde ab einer Eingangsdosis von 2 mGy hinterfragt, welche (einfachen) Verbesserungsmaßnahmen möglich wären.

⁵⁴ Für eine Reihe von Röntgenuntersuchungen sind nun in der neuen MedStrSchV solche „diagnostische Referenzwerte“ vorgesehen, bei deren „beständiger Überschreitung ... Abhilfemaßnahmen zu treffen“ sind (§ 14 Abs. 2 MedStrSchV, Anlage 3 MedStrSchV). Für den zahnmedizinischen Bereich wurden aber bisher keine solchen Referenzwerte veröffentlicht.

Median und Quartile

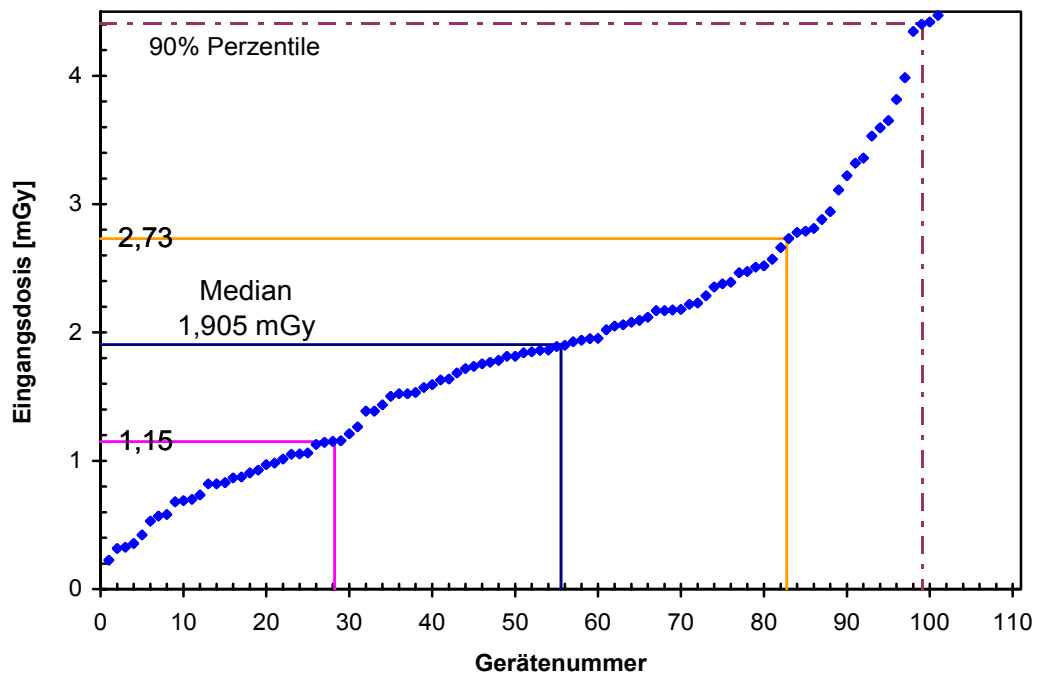


Abbildung 8 Mittlere Eingangsdosen der untersuchten Röntgengeräte, Median und Quartile

Bei 10 % aller Geräte lag die Eingangsdosis der Referenzaufnahme über 4,4 mGy. Bis auf eine Ausnahme - ein altes, inzwischen stillgelegtes Röntgengerät mit variabler Röhrenspannung - betrug die Nennspannung dieser Geräte unter 60 kV. Etwa zwei Drittel dieser Geräte sind bereits außer Betrieb.

⁵⁵ In letzter Zeit zeigten auch die Betreiber selbst vermehrtes Interesse daran, zu erfahren, wie sie im Vergleich mit Durchschnittswerten liegen.

5.3 Weitere Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wird ständig alles besser?

In Deutschland gehen verschiedene Autoren davon aus, dass die notwendige Dosis für ein- und dieselbe radiologische Untersuchung u. a. auf Grund der fortschreitenden Technik alle 10 Jahre halbiert [BOHO03] bzw. in den letzten 30 Jahren auf 1/10 reduziert wurde [HAKR04].⁵⁶ Gilt dies auch für zahnmedizinische Untersuchungen und entspricht die Situation der Linzer Zahnärzte dieser Tendenz? Der Untersuchungszeitraum ist mit knapp 3 Jahren zu kurz, um darauf eine umfassende Antwort geben zu können. Ein Vergleich des Anfangsbestandes an Röntengeräten mit dem Endbestand sollte aber zumindest die Tendenz aufzeigen:

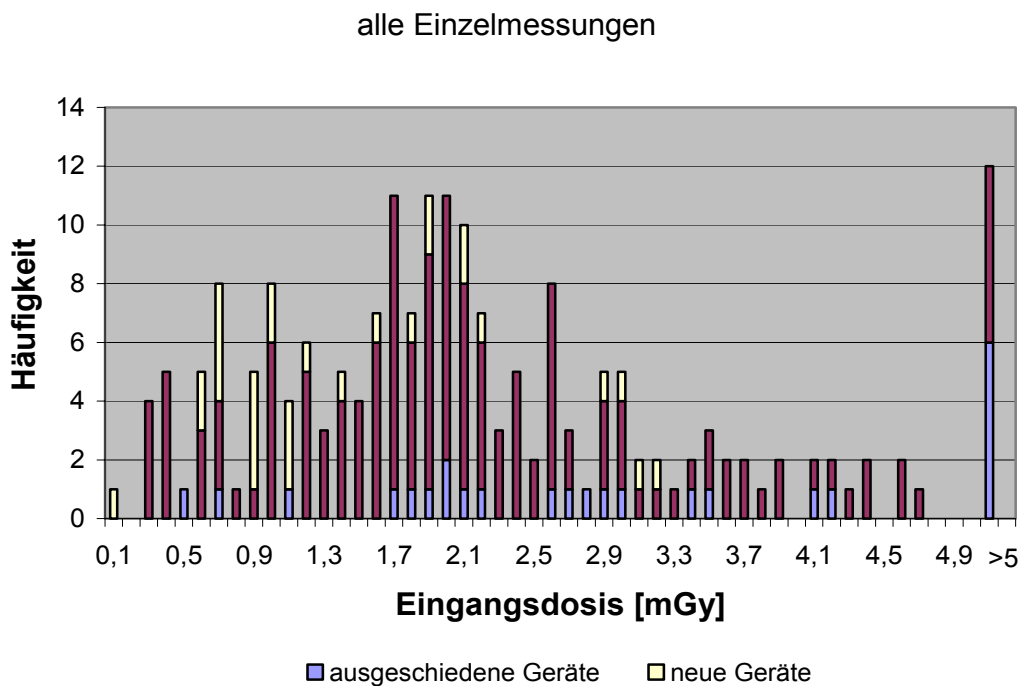


Abbildung 9 Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte der gemessenen Eingangsdosis

⁵⁶ Diese Einsparung an kollektiver Dosis wurde aber in den letzten 10 Jahren durch erhöhte Untersuchungsfrequenzen und neu hinzugekommene Untersuchungen (insbes. in der Computertomografie und interventionellen Radiologie) mehr als wettgemacht [HAKR04].

Abbildung 9 zeigt die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Dosiswert im Untersuchungszeitraum gemessen wurde; Abbildung 10 gibt die gleiche Darstellung für die gerätebezogenen Mittelwerte wieder. Dabei sind in beiden Abbildungen sowohl die im Untersuchungszeitraum neu hinzugekommenen als auch die in diesem Zeitraum ausgeschiedenen Geräte separat ausgewiesen, sodass ein Einblick in die durch die neuen Geräte bedingten Veränderungen der Häufigkeit möglich ist.

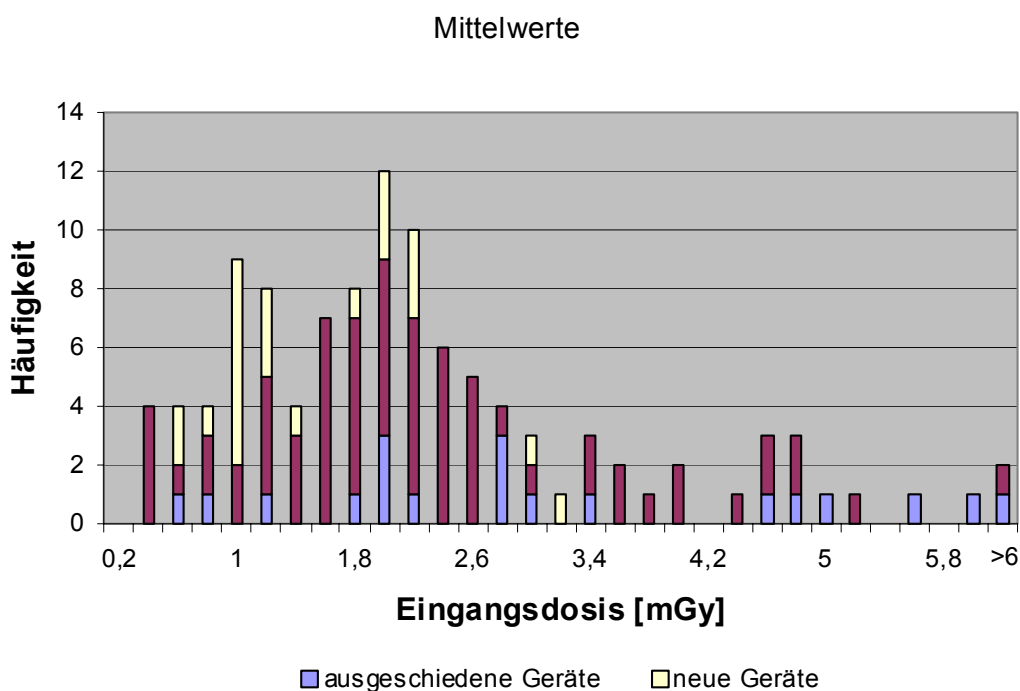


Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung der einzelnen Gerätemittelwerte

Die häufigsten Einzelwerte liegen zwischen 1,7 mGy und 2,1 mGy, also ziemlich genau um den Medianwert. Der häufigste Mittelwert ist im Intervall von 1,8 bis 2,0 mGy anzutreffen - ebenfalls wieder in Übereinstimmung mit dem Medianwert. Durch die neuen Geräte (oberer Balkenteil in den Diagrammen) verschiebt sich die Häufigkeitsverteilung tendenziell nach links, also zu niedrigeren Dosiswerten. Bei den neu angeschafften Geräten allein liegt die Eingangsdosis am häufigsten im Intervall zwischen 0,8 mGy und 1,0 mGy (Mittelwerte) bzw. zwischen 0,6 mGy und 0,9 mGy (Einzelmessungen), also wesentlich unter dem Medianwert aller Geräte (1,9 mGy). Allerdings finden sich auch neue Geräte, deren Eingangsdosis über dem Median aller Werte liegt.

Bei zwei Neugeräten lag die gemessene Eingangsdosis sogar über dem 3. Quartil. Dieses überraschende Ergebnis bedeutet zweierlei: Zum einen zeigt es, dass die technischen Normen nur einen solchen Stand der Technik festschreiben, den auch die schon länger in Verwendung stehenden Geräte erfüllen können. Neu installierte Systeme können daher die normierte Abnahmeprüfung bestehen, auch wenn sie bei weitem nicht alle heute gegebenen technologischen Möglichkeiten der Dosisoptimierung ausschöpfen und z. B. wegen schlecht abgestimmter Systemkomponenten die Dosiswerte beträchtlich über dem Durchschnitt von Neugeräten liegen. Zum anderen weist es auf die Gefahr hin, die ein Nachlassen der Strahlenschutzbemühungen in sich birgt, weil der Betreiber glaubt: „Jetzt habe ich ein neues Gerät. Das muss ohnehin um ein Vielfaches besser sein als das alte. Da brauche ich mich um den Patientenschutz nicht mehr zu kümmern.“ Laxer Umgang und schlecht zusammenpassende oder nicht optimierte Gerätekomponenten können daher bewirken, dass das Verbesserungspotential des neuen Gerätes nicht genutzt wird.⁵⁷ Grundsätzlich aber tragen die neuen Geräte zu einer Dosisreduktion bei.

Vergleicht man den Dosismittelwert des Gerätebestandes zu Beginn des Untersuchungszeitraumes (2,45 mGy) mit dem Mittelwert des Gerätebestandes am Ende des Untersuchungszeitraumes (2,01 mGy), so ergibt sich eine Verbesserung um 18 %.⁵⁸ Rechnet man diesen Wert auf 10 Jahre hoch, so ergibt sich daraus tatsächlich ziemlich genau eine Halbierung der Dosis nach 10 Jahren. Der Dosismittelwert der neuen Geräte allein (23 Geräte) liegt bei 1,39 mGy. Im Vergleich dazu betrug die Dosis der ausgeschiedenen Geräte (19 Geräte) im Mittel 3,09 mGy. Auch daraus ist die Verbesserung klar ersichtlich.

Einen wesentlichen Anteil an der Dosisreduktion hat die fortschreitende Digitalisierung. Derzeit sind unterschiedliche Systeme im Einsatz (Speicherfolie oder Festkörpersensor), wobei die Umstellung auf eine digitale Bilderfassung meist mit einem

⁵⁷ Die abnehmenden Firmen waren in diesem Zusammenhang bisher leider ebenfalls keine große Hilfe und deren Personal oft zu wenig geschult bzw. fehlte ein tieferes Verständnis der getätigten Messungen und Möglichkeiten zur Dosisoptimierung. Eine Verbesserung erhofft man sich nun durch § 10 (3) der neuen Medizinischen Strahlenschutzverordnung, der eine entsprechende Ausbildung vorschreibt.

⁵⁸ Die Berechnung erfolgte folgendermaßen: Für den Mittelwert des Anfangsbestandes wurde mit Ausnahme der im Untersuchungszeitraum neu angeschafften Geräte die jeweils älteste Messung an jedem Gerät herangezogen. Für den Mittelwert des Endbestandes wurde mit Ausnahme der im Untersuchungszeitraum ausgeschiedenen Geräte die jeweils letzte Messung an jedem Gerät herangezogen.

Tausch des Röntgengerätes verbunden ist. Dies muss aber nicht unbedingt so sein. Im Untersuchungszeitraum sind insgesamt 9 digitale Systeme hinzugekommen. Zu Beginn waren lediglich 6 vorhanden. Das bedeutet also mehr als eine Verdopplung. Dennoch überwiegt der Anteil der konventionellen Filmverarbeitung noch immer deutlich. Die Eingangsdosis der digitalen Systeme liegt im Mittel bei 0,78 mGy, das sind 35 % der durchschnittlichen Dosis bei konventioneller Filmverarbeitung (beides auf das Ende des Untersuchungszeitraumes bezogen). Im konkreten Einzelfall kann die Dosisersparnis beim Wechsel von einem alten auf ein modernes digitales Gerät natürlich auch wesentlich höher sein (über 90 %), oder auch weniger betragen, je nach Ausgangslage und digitalem System.

Weiters ist positiv zu vermerken, dass die neuen Geräte hinsichtlich Röhrenspannung und Strahlenqualität oft eine deutliche Verbesserung gegenüber den ausgetauschten Geräten brachten: Keines der neu in Betrieb genommenen Geräte arbeitet noch mit Monopulsen⁵⁹ oder hat eine Röhrenspannung unter 60 kV.⁶⁰ Allerdings gibt es Hersteller, die nunmehr Geräte mit variabler Röhrenspannung anbieten, welche den Bereich bis hinunter zu 50 kV abdecken. Hier liegt es dann wieder in der Verantwortung des Betreibers (Strahlenschutzbeauftragten), die niedrige Röhrenspannung von 50 kV nicht grundsätzlich oder gedankenlos zu verwenden, sondern nur in den besonders indizierten Fällen.

Im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren war die Austauschrate der Röntgengeräte im Untersuchungszeitraum relativ hoch.⁶¹ Oft erfolgte auch eine Umstellung des Bildempfängers auf ein besseres System (empfindlicher Film oder digitaler Detektor). Dazu mag das Inkrafttreten von neuen Rechtsvorschriften zur Qualitätssicherung und die damit verbundene vermehrte Überprüfungstätigkeit beigetragen haben. Aus Sicht des Strahlen- und Patientenschutzes ist diese Entwicklung sicher zu begrüßen.

⁵⁹ Zum Begriff „Monopuls“ siehe Fußnote 18 im Abschnitt 3.3.

⁶⁰ Die Nachteile dieser grundsätzlich veralteten Technologien sind in Abschnitt 3.3 beschrieben.

⁶¹ Aus dieser Austauschrate würde sich eine mittlere Verwendungsdauer der zahnmedizinischen Kleinbildgeräte von 14 Jahren errechnen.

6. Zusammenfassung

Kleinbildröntgengeräte bei Zahnärzten müssen mindestens einmal in zwei Jahren gemäß § 17 Strahlenschutzgesetz überprüft werden. Dabei stellt die Eingangsdosis eine für den Patientenschutz relevante Messgröße dar, welche mit geringem Aufwand erhoben und leicht reproduziert werden kann. Die im Raum Linz zwischen 2001 und 2003 für eine vordefinierte Zahnaufnahme gemessenen Werte wurden zusammengestellt und ausgewertet. Dabei zeigt sich:

Einzelmessungen an unterschiedlichen Geräten unterscheiden sich um bis zu 8700 %. Auch bei Mittelung über mehrere Geräte und mehrere Überprüfungen braucht die schlechteste Gerätegruppe immer noch mehr als das 10-Fache der Dosis der besten Gruppe. Da der Anteil der Zahnmedizin an der Kollektivdosis nicht vernachlässigbar ist, ist es daher durchaus richtig, auch die Kleinbildröntgengeräte in die Regelungen über Qualitätssicherung einzubeziehen und in diesem Bereich ebenfalls eine Dosisoptimierung zu fördern. Letzteres ist aber durch die Abnahmeprüfung allein keineswegs sichergestellt: Diese gewährleistet lediglich die Einhaltung von Limits, aber keine Optimierung. Leider haben bisher auch die Vertriebsfirmen der Dosisoptimierung wenig Beachtung geschenkt. So ist es erklärbar, dass auch Neugeräte über dem Medianwert und über der 3. Quartile liegen. Grundsätzlich wird aber durch die Modernisierung des Gerätebestandes eine Verbesserung erzielt: In Linz wurde im Untersuchungszeitraum eine Dosisreduktion um 18 % festgestellt, was in etwa einer Halbierung der Dosis nach 10 Jahren entspricht.

Als Richtschnur für zulässige Dosen kann aus den vorliegenden Daten ein Median- oder Quartilswert abgeleitet werden. Grundsätzlich scheint die Eingangsdosis besser geeignet als die Bildempfängerdosis und ist auch leichter zu verifizieren als die Oberflächendosis. Zusätzlich sollte das verwendete Tubusformat pauschal berücksichtigt werden (+ 80 % beim Rundtubus).⁶² Für Kinderformate wäre ein eigener, passender Tubus anzustreben. Abschließend sei festgehalten, dass die Patientenexposition nicht nur von technologischen Faktoren abhängt, sondern die korrekte Indikation und Anwendung des Röntgensystems ebenso wichtig sind.

⁶² Bei Referenzwerten für andere Röntgengeräte wird das Format über das Dosis-Flächen-Produkt berücksichtigt.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [BEBA95] J. H. Bernhardt, B. Bauer, Strahlenschutz des Patienten: Konzepte, Regelungen, in: Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik, Klausurtagung der Strahlenschutzkommission 18./19. Oktober 1993, Stuttgart (1995)
- [BEDA04] A. Berrington de Gonzalez, S. Darby, Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries, Lancet (2004) 363, 345 ff.
- [BFSSR03] Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2.7.2003
<http://www.bfs.de/ion/medizin/referenzwerte01.pdf> (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)
- [BFSS03] Strahlung und Strahlenschutz, Verantwortung für Mensch und Umwelt, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2. Auflage, 2003
http://www.bfs.de/bfs/druck/broschueren/str_u_strschutz.pdf (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)
- [BOHO03] H. von Boetticher, W. Hoffmann, Retrospektive Bestimmung der kumulierten Strahlenexposition durch Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin für eine repräsentative Bevölkerungstichprobe, in: Strahlenschutz bei medizinischen Anwendungen, Gemeinsame Jahrestagung vom 12. bis 15. Oktober 2003 in Dortmund, ReproDesign, Hilden (2003)
- [BRAU01] B. Braunschmid, Tagung Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik, Erfahrungen aus der Praxis, Linz, 24.4.2001
- [FBDR94] N. L. Frederiksen, B. W. Benson, T. W. Sokolowski, Dentomaxillofacial Radiology (1994) 23, 123 ff.
- [GIDR02] F. Gijbels et al., Dentomaxillofacial Radiology (2002) 31, 159 ff.
- [HAKR04] F. Haamann, H. Kreienfeld, die BG 08/2004, 413 ff.
- [HART95] D. Hart et al., Doses to patients from medical X-ray examinations in the UK - 1995 review. NRPB-R289. London, HMSO, 1996

zitiert nach http://www.medicalnet.at/strahlendosis/org_10d.htm#typisch
(zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

- [HOFR01] P. Homolka et al., Fortschr. Röntgenstr. 173 (2001), 1-5
- [ICRP60] 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press Oxford, New York, Toronto, Sydney, Frankfurt.
- [KLET04] K. Kletter, Neue Debatte über Langzeitfolgen medizinischer Strahlenexposition - Radiodiagnostik: Segen oder Fluch? JATROS 2/2004, 12 f.
- [KRIE02] H. Krieger, Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Band 1, 5. Aufl. (2002), Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden.
- [LDDR03] J. B. Ludlow, L. E. Davies-Ludlow, S. L. Brooks, Dentomaxillofacial Radiology (2003) 32, 229 ff.
- [LEDR00] A. R. Lecomber et al., Dentomaxillofacial Radiology (2000) 29, 107 ff.
- [LFDR93] A. R. Lecomber, K. Faulkner, Dentomaxillofacial Radiology (1993) 22, 69 ff.
- [MINI95] J. R. Mini, Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik, in: Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik, Klausurtagung der Strahlenschutzkommission 18./19. Oktober 1993, Stuttgart (1995)
- [NOWO02] R. Nowotny et al., Bericht zum Forschungsauftrag Entwicklung und Vergleich von Methoden zur Ermittlung und Überprüfung von Dosisreferenzwerten in der Röntgendiagnostik gemäß Patientenschutzrichtlinie EU 97/43, 2002
<http://www.bmgf.gv.at/cms/site/attachments/9/7/0/CH0055/CMS1065194276970/diagnrefwerte.pdf> (zuletzt eingesehen am 22.10.2004, am 23.9.2005 nur mehr als Ausdruck verfügbar)
- [NRPB01] British Dental Association et al., Guidance Notes for Dental Practitioners on the Safe Use of X-Ray Equipment, 2001
http://www.nrpb.org/publications/misc_publications/dental_guidance_notes.pdf (zuletzt eingesehen am 22.10.2004, am 23.9.2005 nur mehr als Ausdruck verfügbar)
- [SATX04] Satelec, Datenblatt X-Mind (Ref. D03803-04), 2004

- [SCHM95] Th. Schmitt, Strahlenexposition bei digitalen Verfahren - Computertomographie, in: Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik, Klausurtagung der Strahlenschutzkommission 18./19. Oktober 1993, Stuttgart (1995)
- [UNSC00] United Nations Scientific Committee on the Effects and Atomic Radiation. *UNSCEAR 2000 report to the General Assembly*. Volume I, UN, New York, 2000 (zitiert nach [NOWO02])
- [VADR91] X. L. Velders, J. van Aken, P. F. van der Stelt, *Dentomaxillofacial Radiology* (1991) 20, 209 ff.
- [5240-11] ÖNORM S 5240-11, Ausgabe: 2003-08-01
- [5214-1] ÖNORM S 5214-1, Ausgabe: 2002-01-01
- [61223-3-4] ÖVE/ÖNORM EN 61223-3-4, Ausgabe: 2003-07-01
- [elomed] <http://www.elomed.at/roentgen.htm> (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)
- [sirona] http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=intraoral_sensoren (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen und Einschübe

<i>Tabelle 1</i>	Mittlere Dosiswerte bei Röntgenuntersuchungen (an Standard-Patienten mit ca. 70 kg Körpergewicht)	22
<i>Abbildung 1</i>	Beispiel für Rund- und Rechtecktubus	10
<i>Abbildung 2</i>	Grafische Darstellung des relativen Anteils an der kollektiven Dosis von verschiedenen Röntgen- und Dentaluntersuchungen in Österreich für das Jahr 2000 [NOWO02]	
<i>Abbildung 3</i>	Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach Herstellern	25
<i>Abbildung 4</i>	Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach der Möglichkeit, die Röhrenspannung einzustellen	28
<i>Abbildung 5</i>	Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach der einstellbaren Röhrenspannung	28
<i>Abbildung 6</i>	Aufteilung der untersuchten Röntgengeräte nach der maximalen Röhrenspannung	29
<i>Abbildung 7</i>	Darstellung aller Messwerte und der gerätebezogenen Mittelwerte der Eingangsdosis für eine Backenzahnaufnahme	30
<i>Abbildung 8</i>	Mittlere Eingangsdosen der untersuchten Röntgengeräte, Median und Quartile	33
<i>Abbildung 9</i>	Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte der gemessenen Eingangsdosis	36
<i>Abbildung 10</i>	Häufigkeitsverteilung der einzelnen Gerätemittelwerte	37
		38
<i>Einschub 1</i>	Multiple Choice Test für Interessierte	14
<i>Einschub 2</i>	<i>Haben Sie Angst vor einem Röntgen?</i>	20

Anhang 1

Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes:

Euratom:

Die zwei wichtigsten Richtlinien auf diesem Gebiet sind die Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13.5.1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (**Strahlenschutzgrundnorm**)

http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=de&numdoc=31996L0029&model=guichett (deutsch, ohne wichtige Tabellen)

http://europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/pdf/1996/en_1996L0029_do_001.pdf

und die Richtlinie 97/43/Euratom des Rates vom 30.6.1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/Euratom (**Patientenschutzrichtlinie**).

http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=DE&numdoc=31997L0043&model=guichett

Grundsätzlich sind die Richtlinien nicht unmittelbar anwendbar, sondern müssen im nationalen Recht berücksichtigt werden. Geschieht dies aber nicht rechtzeitig – wie es derzeit in Österreich zum Teil der Fall ist - sind jene Bestimmungen unmittelbar anzuwenden, die inhaltlich unbedingt und hinreichend genau erscheinen. Näheres dazu enthalten Erlässe (siehe weiter unten).

Die Richtlinien ihrerseits berücksichtigen insbesondere die Empfehlung Nr. 60 der **ICRP** (International Commission on Radiological Protection) aus dem Jahr 1990.

<http://www.icrp.org/> (Text der Empfehlung ist nicht kostenfrei zugänglich)

national:

Das wichtigste österreichische Gesetz auf diesem Gebiet ist das **Strahlenschutzgesetz** (1969) [StrSchG].

<http://umwelt.lebensministerium.at/article/archive/7341>

Zu diesem Gesetz gibt es mehrere Verordnungen. Die umfangreichste ist die **Strahlenschutzverordnung** (1972) [StrSchV].

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=bnd&q=%280%29%3APARA%2CBSTPARA++++und+%2820050519%3E%3DIDAT+und+20050519%3C%3DADAT>

[%29+und+%28Strahlenschutzverordnung%29&e=BND.10469.2&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=71&Markierte+Dokumente+anzeigen.y=10](#)

-> Geltende Fassung

Etliche Bestimmungen der StrSchV sind inzwischen durch Euratom-Vorschriften überholt (s.o.).

Die wichtigste Verordnung für den medizinischen Bereich ist die **Medizinische Strahlenschutzverordnung** (2004) [MedStrSchV].

http://www.bmgf.gv.at/cms/site/attachments/6/2/7/CH0343/CMS1100188716997/medstrschv_2004.pdf (MedStrSchV ohne Anhänge)

http://www.bmgf.gv.at/cms/site/attachments/6/2/7/CH0343/CMS1100188716997/medstrschv-anlagen_2004.pdf (Anhänge der MedStrSchV)

Weitere Verordnungen sind z.B. die Radioaktive Abfälle-Verbringungsverordnung (1997) [RAbf-VV].

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=bnd&q=++++++und+%2820050519%3E%3DIDAT+und+20050519%3C%3DADAT%29+und+%28Radioaktive+Abf%E4lle-Verbringungsverordnung%29&e=BND.11168.1&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=140&Markierte+Dokumente+anzeigen.y=9>

-> Geltende Fassung

Andere für den Strahlenschutz relevante österreichische Gesetze gibt es im Transportwesen, z.B. das Gefahrgutbeförderungsgesetz (1998) [GGBG]

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=bnd&q=++++++und+%2820050519%3E%3DIDAT+und+20050519%3C%3DADAT%29+und+%28Gefahrgutbef%F6rderungsgesetz%29&e=BND.206277.2&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=32&Markierte+Dokumente+anzeigen.y=7>

-> Geltende Fassung

oder betreffen Haftungsfragen, wie das **Atomhaftungsgesetz** (1999) [AtomHG].

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=bnd&q=%280%29%3APARA%2CBSTPARA++++++und+%2820040113%3E%3DIDAT+und+20040113%3C%3DADAT%29+und+%28Atomhaftungsgesetz%29&e=BND.3639.1&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=71&Markierte+Dokumente+anzeigen.y=8>

-> Geltende Fassung

Mehrere **Erlässe**, welche ebenfalls veröffentlicht wurden, regelten Fragen der Qualitätssicherung (nunmehr auf Grund der MedStrSchV gegenstandslos) und in wie weit Euratom-Richtlinien direkt anwendbar sind.

<http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/UmsetzErlauss.pdf> (BMLFUW 14.9.2000, Inkrafttreten der Richtlinien 96/29/Euratom; unmittelbare Anwendbarkeit)

<http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/Beilage1.pdf> (Zur unmittelbaren Anwendbarkeit der Richtlinie 96/29/Euratom (Strahlenschutz-Grundnormenrichtlinie) ab dem 13.5.2000)

<http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/Beilage2.pdf> (Gegenüberstellung der Bestimmungen der Richtlinie 96/29/Euratom und der österreichischen Regelungen)

Für konkrete Strahlenquellen sind auch die oft umfangreichen Vorschriften (Auflagen, Bedingungen) diverser **Bescheide** (z.B. Errichtungsbewilligung, Betriebsbewilligung, Bauartzulassung) zu beachten.

Technische Normen:

Solche gibt es ebenfalls auf nationaler wie auf europäischer und internationaler Ebene, z.B. die ÖNORM S 5240-11, Ausgabe 1.8.2003 (Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben, Teil 11: Abnahmeprüfung an zahnmedizinischen Röntgen-Einrichtungen – Grenzwerte)

<http://www.on-norm.at/> (Text der Normen ist nicht kostenfrei zugänglich)

und die Europäische bzw. Internationale Norm EN / IEC 61223-3-4:2000 (Bewertung und routinemäßige Prüfung in Abteilungen für medizinische Bildgebung, Teil 3-4: Abnahmeprüfungen – Leistungsmerkmale zur Bildgebung von zahnärztlichen Röntgen-einrichtungen).

<http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm> (CEN: Comité Européen de Normalisation)

<http://www.iec.ch/> (IEC: International Electrotechnical Commission)

Sie dienen der Auslegung der Gesetze (was ist Stand der Technik?) und werden des öfteren durch Verordnung oder Bescheid verbindlich gemacht (vgl. z.B. § 17 (2) Strahlenschutzgesetz, § 9 (5) MedStrSchV).

(alle interaktiven Verknüpfungen zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Anhang 2

Auszug aus dem Bundesgesetz vom 11. Juni 1969, BGBl. Nr. 227, über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzgesetz) idF BGBl. I Nr. 137/2004

Begriffsbestimmungen

§ 2. Für dieses Bundesgesetz gelten folgende Begriffsbestimmungen:

(36) „Strahlenschutzbeauftragter“ ist eine für die Erfordernisse ihres Tätigkeitsbereiches qualifizierte Person, deren Ausbildung und Fachkenntnis von der zuständigen Behörde anerkannt ist und die mit der Wahrnehmung des Strahlenschutzes vom Bewilligungsinhaber oder dessen vertretungsbefugtem Organ betraut ist. Diese Person muss die erforderliche Verlässlichkeit besitzen und für die in Betracht kommende Tätigkeit körperlich und geistig geeignet sein.

Einwirkungen ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper

§ 4. (1) Jede Exposition ist innerhalb der auf Grund dieses Bundesgesetzes festgesetzten zulässigen Dosisgrenzwerte so niedrig wie möglich zu halten; jede unnötige Einwirkung ist zu vermeiden. Dabei sind durch Optimierung, gegebenenfalls unter Heranziehung von Dosisbeschränkungen, die Expositionen von Einzelpersonen sowie der Bevölkerung insgesamt so niedrig zu halten, wie dies unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren möglich und vertretbar ist.

(2) Alle neuen Kategorien bzw. Arten des Umganges mit Strahlenquellen, bei denen es zu einer Exposition durch ionisierende Strahlen kommt, müssen vor ihrer erstmaligen Bewilligung oder Zulassung durch Abwägung ihres zu erwartenden Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt werden. Die Rechtfertigung bestehender Kategorien oder Arten des Umganges mit Strahlenquellen kann überprüft werden, sobald wesentliche neue Erkenntnisse über den Nutzen bzw. die Auswirkungen der Tätigkeit vorliegen. Bezüglich der Bewertung kann die Strahlenschutzkommission befasst werden.

(3) Auf den menschlichen Körper dürfen ionisierende Strahlen nach Maßgabe des jeweiligen Standes der medizinisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse ausschließlich für medizinische Zwecke angewendet werden, sofern nicht durch Bundesgesetz andere gerechtfertigte Anwendungen für zulässig erklärt wurden.

(4) Nicht zulässig sind 1. die Herstellung von Lebensmitteln, Verzehrprodukten und Zusatzstoffen, Spielwaren und kosmetischen Erzeugnissen im Sinne des Lebensmittelgesetzes 1975 sowie von persönlichen Schmuckgegenständen unter dem absichtlichen Zusatz radioaktiver Stoffe und 2. das Inverkehrbringen in Österreich einschließlich der Einfuhr oder Ausfuhr der in Z 1 genannten Waren.

Betrieb von Anlagen

§ 7. (1) Der Betrieb von Anlagen für den Umgang mit Strahlenquellen, deren Errichtung nicht gemäß § 5 und deren Betrieb nicht gemäß § 6 bewilligungspflichtig ist, bedarf einer Betriebsbewilligung. Vor Erteilung dieser Bewilligung dürfen solche Anlagen nicht betrieben werden.

(2) Die Betriebsbewilligung nach Abs. 1 ist zu erteilen, wenn 1. für den Strahlenschutz, auch im Hinblick auf den in Aussicht genommenen Standort sowie auf potentielle Expositionen und radiologische Notstandssituationen, in ausreichendem Maße Vorsorge getroffen ist, soweit erforderlich ein Konzept für die Stilllegung der Anlage, der Wiederverwertung oder Wiederverwendung radioaktiver Stoffe und die Beseitigung radioaktiver Abfälle vorliegt und, soweit erforderlich, eine aufrechte Haftpflichtversicherung

oder eine gleichwertige Sicherstellung im Sinne der Bestimmungen des Atomhaftungsgesetzes 1999, BGBl. I Nr. 170/1998, nachgewiesen wird,

2. ein Strahlenschutzbeauftragter mit dessen nachweislicher Zustimmung bestellt worden ist oder erforderlichenfalls eine Strahlenschutzabteilung unter der Leitung des Strahlenschutzbeauftragten eingerichtet worden ist, wobei die innerbetrieblichen Befugnisse schriftlich geregelt sein müssen, und

3. hinsichtlich der Verlässlichkeit des Antragstellers in Anbetracht des beabsichtigten Umgangs keine Bedenken bestehen. Ist der Antragsteller eine juristische Person oder eine Personengesellschaft des Handelsrechts, muss die Verlässlichkeit des vertretungsbefugten Organs gegeben sein.

(3) 1. In den Bescheid, mit dem die Betriebsbewilligung nach Abs. 1 erteilt wird, sind erforderlichenfalls solche den Betrieb der Anlage betreffende Bedingungen und Auflagen aufzunehmen, deren Erfüllung vom Standpunkt des Strahlenschutzes unter Berücksichtigung potentieller Expositionen und radiologischer Notstandssituationen notwendig ist.

2. Insbesondere ist unter Bedachtnahme auf den beabsichtigten Umgang und die dadurch notwendigen Strahlenschutzmaßnahmen vorzuschreiben, dass

a) erforderlichenfalls weitere Personen, die nachweislich für ihren Tätigkeitsbereich hinreichende Kenntnisse im Strahlenschutz besitzen, mit dessen Wahrnehmung zu betrauen sind,

b) eintretende radiologische Notstandssituationen unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden und Abschätzungen der Umstände und Folgen entsprechend dem Verlauf der radiologischen Notstandssituation zu übermitteln sind,

c) der Bewilligungswerber alle geeigneten Maßnahmen zur Verringerung der Folgen einer radiologischen Notstandssituation zu ergreifen hat.

(4) Liegen die in Abs. 2 geforderten Voraussetzungen nur für Teile der Anlage oder nur für eine geringere Betriebskapazität als vorgesehen vor, so kann die Behörde eine entsprechend eingeschränkte Betriebsbewilligung erteilen.

(5) Dem Antrag auf Erteilung einer Betriebsbewilligung sind die erforderlichen Unterlagen, insbesondere eine genaue Darstellung des beabsichtigten Umganges und dessen Umfang unter Anschluss einer Sicherheitsanalyse, einer Störfallanalyse und einer Notfallplanung in mindestens dreifacher Ausfertigung beizuschließen. In dem Antrag um Erteilung der Betriebsbewilligung ist der Name des Strahlenschutzbeauftragten bekannt zu geben.

(6) Über das Vorliegen der gemäß Abs. 2 Z 1 geforderten Voraussetzungen sind qualifizierte Sachverständige zu hören.

(7) Ist auch durch die Vorschreibung von Bedingungen und Auflagen die Vorsorge für einen ausreichenden Strahlenschutz nicht möglich, so ist die Bewilligung nach Abs. 1 zu versagen.

Sonstiger Umgang mit Strahlenquellen

§ 10. (1) Der Bewilligungspflicht unterliegt

1. der Umgang mit Strahlenquellen, für den eine gemäß §§ 5, 6 oder § 7 bewilligungspflichtige Anlage nicht benötigt wird,

2. jede Änderung oder Erweiterung des Umganges nach Z 1, die geeignet ist, eine zusätzliche Gefährdung des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft durch ionisierende Strahlen herbeizuführen.

(2) Diese Umgangsbewilligung ist zu erteilen, wenn

1. für den Strahlenschutz auch im Hinblick auf potentielle Expositionen und radiologische Notstandssituationen in ausreichendem Maße Vorsorge getroffen ist, soweit erforderlich ein Konzept für die Wiederverwertung oder Wiederverwendung radioaktiver Stoffe und die Beseitigung radioaktiver Abfälle vorliegt und, soweit erforderlich, eine aufrechte Haftpflichtversicherung oder eine gleichwertige Sicherstellung im Sinne der Bestimmungen des Atomhaftungsgesetzes 1999, BGBl. I Nr. 170/1998, nachgewiesen wird,

2. ein Strahlenschutzbeauftragter mit dessen nachweislicher Zustimmung bestellt worden ist und

3. hinsichtlich der Verlässlichkeit des Antragstellers in Anbetracht des beabsichtigten Umgangs keine Bedenken bestehen. Ist der Antragsteller eine juristische Person oder eine Personengesellschaft des Handelsrechts, muss die Verlässlichkeit des vertretungsbefugten Organs gegeben sein.

(3) Vom Erfordernis der Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten gemäß Abs. 2 Z 2 kann abgesehen werden, wenn es sich um den Umgang mit Strahlenquellen handelt, die auch nach § 19 zugelassen werden können.

(4) 1. In den Bescheid, mit dem die Bewilligung erteilt wird, sind erforderlichenfalls solche Bedingungen und Auflagen aufzunehmen, deren Erfüllung vom Standpunkt des Strahlenschutzes notwendig ist.

2. Insbesondere ist unter Bedachtnahme auf den beabsichtigten Umgang vorzuschreiben, dass

a) erforderlichenfalls weitere Personen, die nachweislich hinreichende Kenntnisse im Strahlenschutz besitzen, mit dessen Wahrnehmung zu betrauen sind,

b) eintretende radiologische Notstandssituationen unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden und Abschätzungen der Umstände und Folgen entsprechend dem Verlauf der radiologischen Notstandssituation zu übermitteln sind,

c) der Bewilligungswerber alle geeigneten Maßnahmen zur Verringerung der Folgen einer radiologischen Notstandssituation zu ergreifen hat.

(5) Dem Antrag auf Erteilung einer Bewilligung sind die erforderlichen Unterlagen, insbesondere eine genaue Darstellung des beabsichtigten Umgangs unter Anschluss einer Sicherheitsanalyse, einer Störfallanalyse und einer Notfallplanung in mindestens dreifacher Ausfertigung beizuschließen. In dem Antrag um Erteilung der Bewilligung ist der Name des Strahlenschutzbeauftragten bekannt zu geben.

(6) Über das Vorliegen der gemäß Abs. 2 Z 1 geforderten Voraussetzungen sind qualifizierte Sachverständige zu hören.

(7) Ist auch durch die Vorschreibung von Bedingungen und Auflagen die Vorsorge für einen ausreichenden Strahlenschutz nicht möglich, so ist die Bewilligung nach Abs. 1 zu versagen.

(8) Der Wechsel des Inhabers einer Bewilligung gemäß Abs. 1 ist der Behörde zu melden, wobei § 9 Abs. 2 Anwendung findet. Die Behörde hat festzustellen, inwieweit die Voraussetzungen für die weitere Gültigkeit der Bewilligung vorliegen.

(9) Tätigkeiten externer Arbeitskräfte bedürfen einer Umgangsbewilligung gemäß § 10. Sofern diese Tätigkeiten der Gewerbeordnung 1994, BGBl. Nr. 194/1994, unterliegen, ist die Bewilligung im Rahmen der gewerberechtlichen Betriebsanlagengenehmigung zu erteilen.

Vorschreibung weiterer Auflagen

§ 11. Ergibt sich nach rechtskräftiger Erteilung einer Bewilligung gemäß §§ 6, 7, 10 oder nach rechtskräftiger Zulassung einer Bauart gemäß §§ 19 oder 20, dass trotz Erfüllung der Bedingungen und Einhaltung der Auflagen der Strahlenschutz nicht hinreichend gewährleistet ist, so ist die Vorschreibung weiterer

Auflagen für den Betrieb unter möglichster Schonung erworbener Rechte zulässig.

Überwachung von Strahlenbetrieben; Untersagung des Betriebes und Maßnahmen bei unmittelbar drohender Gefahr

§ 17. (1) Der gemäß §§ 6 oder 7 bewilligte Betrieb oder der gemäß § 10 bewilligte Umgang mit Strahlenquellen sowie die Verwendung von gemäß §§ 19 und 20 bauartzugelassenen Geräten ist von der Bewilligungsbehörde mindestens einmal in zwei Jahren zu überprüfen. Wenn es aus Gründen des Strahlenschutzes erforderlich ist, insbesondere bei Forschungsreaktoren, hochaktiven radioaktiven Strahlenquellen, Teilchenbeschleunigern, Hochdosisgammabestrahlungseinrichtungen und größeren nuklearmedizinischen Einrichtungen, sind solche Überprüfungen mindestens einmal jährlich von der Bewilligungsbehörde durchzuführen.

(2) Art und Weise sowie Umfang der Überprüfungen gemäß Abs. 1 sind von der Behörde unter Bedachtnahme auf den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik im Verordnungswege oder durch

Verbindlicherklärung einer entsprechenden ÖNORM festzulegen. Ebenfalls durch Verordnung sind von der Behörde Regelungen betreffend die Tragung der Kosten für die Überprüfungen zu treffen.

(3) Die Behörde kann sich zur Durchführung der Überprüfungen gemäß Abs. 1, soweit es sich nicht um Forschungsreaktoren, hochaktiven radioaktive Strahlenquellen, Teilchenbeschleuniger, Hochdosis-gammabestrahlungseinrichtungen und größere nuklearmedizinische Einrichtungen handelt, akkreditierter Stellen bedienen. Die Behörde hat in diesem Zusammenhang durch Verordnung zu regeln,

1. welche näheren Anforderungen an die akkreditierten Stellen hinsichtlich der Überprüfungen gemäß Abs. 1 gestellt werden, wobei insbesondere sicherzustellen ist, dass die überprüfenden Stellen weder mit der Planung, Konstruktion, Herstellung, dem Vertrieb noch der Instandhaltung jener Geräte und Anlagen, bezüglich welcher sie ihre Überprüfungsstätigkeiten entfalten, befasst sind,

2. in welcher Form und innerhalb welchen Zeitintervalls das Überprüfungsergebnis dem Bewilligungsinhaber sowie der zuständigen Behörde zu übermitteln ist,

3. in welcher Form bei von der akkreditierten Stelle festgestellten Mängeln, die eine Gefährdung der Gesundheit oder des Lebens von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft befürchten lassen, vorzugehen ist, und

4. wer die Kosten für die Überprüfungen gemäß Abs. 1 durch akkreditierte Stellen zu tragen hat.

(4) Der Betrieb, der Umgang oder die Verwendung ist zu untersagen, wenn eine der Voraussetzungen für die Erteilung der Bewilligung gemäß §§ 6, 7 oder 10 oder die Verwendung einer gemäß §§ 19 oder 20 zugelassenen Bauart nicht gegeben und hierdurch eine Gefährdung der Gesundheit oder des Lebens von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft zu befürchten ist.

(5) Der Betrieb, der Umgang oder die Verwendung darf erst wieder aufgenommen werden, wenn die Behörde festgestellt hat, dass der die Untersagung begründende Mangel behoben worden ist.

(6) Berufungen gegen Bescheide nach Abs. 4 kommt keine aufschiebende Wirkung zu.

(7) Die Behörde kann bei Vorliegen wichtiger Gründe (wie insbesondere Strafanzeigen, Beschwerden, Verdacht des Vorliegens von Untersagungsgründen, Verdacht eines rechtswidrigen Betriebes) Überprüfungen gemäß §§ 6 oder 7 bewilligter Anlagen oder des gemäß § 10 bewilligten Umganges mit Strahlenquellen und der Verwendung von gemäß §§ 19 und 20 bauartzugelassenen Geräten jederzeit durchführen.

Zulassung von Bauarten

§ 20. (1) Überschreitet bei Geräten, die Strahlenquellen enthalten, die Aktivität oder Dosisleistung die durch Verordnung festzusetzenden Werte, sind deren Bauarten auf Antrag durch Bescheid zuzulassen, wenn die Voraussetzungen des Abs. 2 erfüllt sind.

(2) Bauarten dürfen nur unter folgenden Voraussetzungen zugelassen werden:

1. Hinsichtlich der Verlässlichkeit des Antragstellers in Anbetracht der beabsichtigten Tätigkeit dürfen

keine Bedenken bestehen. Ist der Antragsteller eine juristische Person oder eine Personengesellschaft des Handelsrechts, muss die Verlässlichkeit des vertretungsbefugten Organs gegeben sein.

2. Die Bauart muss den Vorschriften dieses Bundesgesetzes und den auf Grund dieses Bundesgesetzes erlassenen Verordnungen dem Strahlenschutz entsprechend ausgeführt sein.

3. Die Bauart muss dem anerkannten Stand der Technik entsprechen und eine sichere Bedienung ermöglichen.

4. Bauarten, die radioaktive Stoffe enthalten, müssen so ausgeführt sein, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung eine Verbreitung radioaktiver Stoffe in die Umwelt mit Sicherheit verhindert wird.

(3) Dem Antrag auf Zulassung einer Bauart ist ein Gutachten eines qualifizierten Sachverständigen über das Vorliegen der Voraussetzungen nach Abs. 1 und Abs. 2 Z 2 bis 4 anzuschließen. Ferner sind dem Antrag die zur Beurteilung erforderlichen Unterlagen, insbesondere eine genaue Beschreibung des Ge-

rätes, das radioaktive Stoffe enthält, oder der Strahleneinrichtung samt Plänen und eine Angabe des Verwendungszweckes sowie eine Sicherheitsanalyse, eine Störfallanalyse und eine Notfallplanung beizuschließen. Dabei ist auf potentielle Expositionen, radiologische Notstandssituationen und, soweit erforderlich, auf die Wiederverwertung oder Wiederverwendung radioaktiver Stoffe und die Beseitigung radioaktiver Abfälle Bedacht zu nehmen.

(4) Die Behörde hat in ihren Zulassungsbescheid die Merkmale der Bauart, deren zugelassene Verwendung sowie allfällige Bedingungen und Auflagen für die Herstellung, Kennzeichnung und Verwendung, sowie gegebenenfalls für die Wiederverwertung oder Wiederverwendung radioaktiver Stoffe und die Beseitigung radioaktiver Abfälle aufzunehmen.

(5) Durch die Zulassung einer Bauart auf Grund der Bestimmungen der Abs. 1 bis 4 wird eine Bewilligungspflicht gemäß §§ 5, 6, 7 oder 10 nicht berührt. Jedoch kann die Behörde im Zulassungsbescheid eine Ausnahme von der Bewilligungspflicht gemäß §§ 7 oder 10 aussprechen, wenn auf Grund der Beschaffenheit oder des Verwendungszweckes der Bauart ein ausreichender Strahlenschutz gewährleistet ist.

(6) Die für den Standort des Verwenders zuständige Behörde hat die Verwendung der Bauart, für die eine Ausnahme von der Bewilligungspflicht gemäß §§ 7 oder 10 ausgesprochen wurde, zu untersagen, wenn ihr bekannt wird, dass der betreffende Verwender nicht über die erforderliche Verlässlichkeit verfügt.

Anhang 3

Entwürfe von Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes:

Strahlenschutzgesetz

<http://wko.at/up/enet/stellung/StrSchEUGentw.pdf>
http://wko.at/up/enet/stellung/technik_begut.htm#StrSchEUG

Strahlenschutzverordnungen

<http://wko.at/up/enet/stellung/MedStrSchentw.pdf>
http://wko.at/up/enet/stellung/technik_begut.htm#MedStrSch

Allgemeine Strahlenschutzverordnung

http://wko.at/up/enet/stellung/technik_begut.htm#AllgStrSchV
<http://wko.at/up/enet/stellung/AllgStrSchVentw.pdf>

Strahlenschutzverordnung; Schutz des fliegenden Personals

<http://wko.at/up/enet/stellung/strscheuentw.pdf>

<http://wko.at/up/enet/stellung/medstrventw.pdf> (Medizin, 22.7.2002)

<http://wko.at/up/enet/stellung/medstrverl.pdf> (Erläuterungen)

<http://wko.at/up/enet/stellung/medstrvstell.htm> (Stellungnahme der WKO, 12.9.2002)

Judikatur auf dem Gebiet des Strahlenschutzes:

VwGH

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=vwgh&q=und%28%3C%3DDATUM+und+20050923%3E%3DDATUM%29+++++und+%28Konstanzpr%FCfungen%29&e=VwGHR.146678.2&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=62&Markierte+Dokumente+anzeigen.y=12> (nachträgliche Vorschreibung von Konstanzprüfungen - Rechtssatz)

<http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=vwgh&q=und%28%3C%3DDATUM+und+20050923%3E%3DDATUM%29++++++und+%28Konstanzpr%FCfungen%29&e=VwGHT.52587.1&Markierte+Dokumente+anzeigen.x=86&Markierte+Dokumente+anzeige.n.y=9> (nachträgliche Vorschreibung von Konstanzprüfungen - Text)

(alle interaktiven Verknüpfungen zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Anhang 4

Der Strahlenschutzbeauftragte (SSB)

Definition: § 2 (43) Strahlenschutzgesetz („Wahrnehmung des Strahlenschutzes“)

Wie wird man SSB?

Voraussetzungen:

Ausbildung: § 28 und Anlage 6 der StrSchV (Umgang mit Strahlenquellen zu medizinische Zwecke) bzw. Anlage 1 der MedStrSchV, § 29 f StrSchV (nichtmedizinische Zwecke, Kernanlagen)

Körperliche und geistige Eignung

Verlässlichkeit

Bestellung:

durch den (künftigen) Bewilligungsinhaber

SSB muss nachweislich zustimmen (§§ 6, 7, 10, jeweils Abs. (2) Z. 2. Strahlenschutzgesetz)

Welche Aufgaben hat der SSB?

explizit: § 31 StrSchV (Belehrung, Funktionstüchtigkeit der Geräte, Aufzeichnungen etc.), innerbetriebliche Organisation, Durchführung und Überwachung des Strahlenschutzes.

§ 31. (1) Dem Strahlenschutzbeauftragten obliegt insbesondere:

- a) die Belehrung der in Strahlenbereichen tätigen Personen über die möglichen Gefahren und die einzuhaltenden Sicherheits- und Strahlenschutzmaßnahmen sowie Verhaltensmaßregeln. Die Belehrung dieser Personen hat im erforderlichen Ausmaß, insbesondere vor Aufnahme ihrer Tätigkeit und weiterhin in regelmäßigen Zeitabständen sowie aus gegebenem Anlass, wie nach Zwischenfällen oder Unfällen, zu erfolgen;
- b) die nähere Festlegung von Art und Umfang technischer und sonstiger dem Strahlenschutz dienenden Maßnahmen bei den einzelnen Arbeitsvorgängen sowie deren Überwachung im notwendigen Ausmaß;
- c) die Obsorge für die Funktionstüchtigkeit der für den Strahlenschutz bestimmten Einrichtungen, Geräte und Ausrüstungsgegenstände;
- d) die Führung von Aufzeichnungen über die Belehrung gemäß lit. a;
- e) die Belehrung sonstiger Personen, die Strahlenbereiche fallweise betreten müssen.

(2) Die Belehrung gemäß Abs. 1 lit. a kann, soweit es sich um

allgemeine Kenntnisse im Strahlenschutz und nicht um spezielle Erfordernisse des Betriebes handelt, auch im Rahmen einer Strahlenschutzausbildung erfolgen.

In der Praxis wird er meist den Bewilligungsinhaber bei dessen in Zusammenhang mit dem Strahlenschutz gegebenen Verpflichtungen beraten und unterstützen müssen.

Pflichten des Bewilligungsinhabers:

§ 3 (2) Strahlenschutzgesetz:

Der Bewilligungsinhaber ist für die *Einhaltung praktisch aller Rechtsvorschriften des Strahlenschutzes* verantwortlich; insbes. auch für die Einhaltung der Auflagen und Bedingungen des Bewilligungsbescheides (z.B. Meldepflichten).

In folgenden Paragraphen des **Strahlenschutzgesetzes** sind einige Pflichten speziell als solche des Bewilligungsinhabers angeführt:

- § 12 (6) Bekanntgabe von Umständen, die Erlöschen der Bewilligung bewirken (z.B. Röntgengerät wird verkauft oder entsorgt)
- § 15 (1) Anwesenheitspflicht des SSB oder weiterer mit der Wahrnehmung des Strahlenschutzes betrauter Personen
- § 16 (1) Wechsel des SSB ist zu melden
- § 25 (2) Meldung des Besitzes von Strahlenquellen an das Zentrale Strahlenquellen-Register
- § 25 (3) Meldung der Tätigkeit externer Arbeitskräfte im Kontrollbereich
- § 29 Belehrungspflicht (auch bei externen Arbeitskräften)
- § 32 (1) ärztliche Untersuchungen – Kat. A
- § 33 (1) – Kat. B, sonst (bei Arbeitnehmern ist der Arbeitgeber verpflichtet)

Weitere Pflichten ergeben sich z.B. aus:

- § 26 (2), letzter Satz Verständigung der Behörde bei Verlust oder Fund bewilligter radioaktiver Stoffe
- § 27 (1) möglichst geringe Umweltbelastung (geeignete Arbeitsmethoden)
- § 34 (1) Physikalische Kontrolle (Dosisüberwachungen)

Auch die **Medizinische Strahlenschutzverordnung** enthält eine Reihe von Pflichten, welche ausdrücklich den Bewilligungsinhaber treffen, z. B.:

- § 8 (1) Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollprogramme
- § 9 (1) Durchführung von (Teil)Abnahme- und Konstanzprüfungen
- § 12 (1) Erstellung und Übermittlung des Bestandsverzeichnisses
- § 31 (1) Z.2 und § 33 (4) Z. 3
Strahlenschutz auf anderen Abteilungen bei Brachytherapie bzw. Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen
- § 34 (1) Umgang mit radioaktiv belasteten Leichen

Weitere Anmerkung:

Der **Entwurf der MedStrSchV vom 8.7.2002** enthielt (weitgehend gleichartige) Vorschriften über die „Aufgaben des Bewilligungsinhabers bzw. des Strahlenschutzbeauftragten“ (§ 31 des Entwurfs MedStrSchV) sowie Näheres zu den „Strahlenschutzbe-

lehrungen“ (§ 32 des Entwurfs MedStrSchV), den „Pflichten und Rechte(n) des Strahlenschutzbeauftragten und der weiteren Personen“ (§ 33 des Entwurfs MedStrSchV) und den „Aufgaben des Bewilligungsinhabers oder Arbeitgebers“ in Zusammenhang mit den ärztlichen Untersuchungen (§ 22 des Entwurfs MedStrSchV).

Dieser Entwurf - den Text des Entwurfs finden sie z.B. unter <http://wko.at/up/enet/stellung/medstrventw.pdf> - ist aber nicht in Kraft getreten. Inhaltlich jedoch sind die zitierten Vorschriften weitgehend in den **Entwurf der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung vom 19.4.2004** (AllgStrSchV) übernommen worden („Aufgaben des Bewilligungsinhabers oder Arbeitgebers“ in § 26 des Entwurfs AllgStrSchV, „Aufgaben des Bewilligungsinhabers bzw. des Strahlenschutzbeauftragten“ in § 37 des Entwurfs AllgStrSchV, „Strahlenschutzbelehrungen“ in § 38 des Entwurfs AllgStrSchV, „Pflichten und Rechte des Strahlenschutzbeauftragten und der weiteren Personen“ in § 39 des Entwurfs AllgStrSchV).

Ob und wann dieser Entwurf in Kraft tritt, ist derzeit offen. Den Text des Entwurfs der AllgStrSchV finden sie z.B. unter <http://wko.at/up/enet/stellung/AllgStrSchVentw.pdf> .

Anhang 5

Rechtfertigung radiologischer Untersuchungen

aus „ORIENTIERUNGSHILFE RADIOLOGIE, ANLEITUNG ZUM OPTIMALEN EINSATZ DER KLINISCHEN RADIOLOGIE, ZWEITE AUFLAGE, 2002“

Arbeitsgruppe "Orientierungshilfe Radiologie" der Bundesfachgruppe Radiologie der Österreichischen Ärztekammer, der Österreichischen Röntgengesellschaft, des Verbandes für medizinischen Strahlenschutz und des Verbandes für Bildgebende Diagnostik.

<http://www.fruehwald.at/vbdo/03.htm> (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Eine sinnvolle Untersuchung ist jene, bei der das positive oder negative Ergebnis das Patientenmanagement ändert, eine klinische Diagnose bestärkt oder auch stellt. Es gibt klinische Situationen, in welchen radiologische Untersuchungen diese Kriterien nicht erfüllen. Unnötige Untersuchungen erhöhen die Wartezeit unserer Patienten, belasten unsere limitierten Ressourcen, vermindern unsere Standards und führen zu unnötiger Strahlenbelastung.

Die Hauptgründe für sinnlose radiologische Untersuchungen sind:

1. Untersuchungen, deren Ergebnis das Patientenmanagement wahrscheinlich nicht ändern werden; entweder weil das erwartete positive Ergebnis irrelevant ist, oder weil ein positives Ergebnis unwahrscheinlich ist.
Brauche ich diese Untersuchung?
2. Zu häufige Untersuchungen. Wiederholungen von Untersuchungen in zu kurzen Zeiträumen, in denen eine Veränderung noch gar nicht erwartet werden kann und die Behandlung daher nicht beeinflusst.
Brauche ich die Untersuchung jetzt?
3. Wiederholungsuntersuchungen, die ohnehin schon angefertigt worden sind (in anderen Spitälern, Untersuchungen, die von ambulanten Patienten bereits mitgebracht werden usw.).
Ist die Untersuchung vielleicht bereits gemacht worden? Alte Untersuchungen beschaffen!
4. Haben wir genügend klinische Informationen, um die gestellten Fragen mit den richtigen radiologischen Methoden zu beantworten? Ein Mangel an Information führt zum Einsatz unnötiger radiologischer Verfahren.
Ist das Problem klar genug formuliert?
5. Anfordern der falschen Untersuchung.
Die radiologischen Techniken entwickeln sich ungeheuer schnell. Es ist daher oft angebracht, die Verfahrensfrage mit dem Radiologen vorab zu diskutieren.
Ist die angeforderte Untersuchung tatsächlich die sinnvollste?

Anhang 6

Grenzwerte im Strahlenschutzrecht:

Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13.5.1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (**Strahlenschutzgrundnorm**):

Fundstelle	Grenzwert	Stichwort	
Art 9 (1)	100 mSv in 5 a, max. 50 mSv/a	beruflich strahlenexponierte Personen	effektive Dosis
(2) a)	150 mSv/a		Augenlinse
(2) b) c)	500 mSv/a		Haut, Extremitäten
Art 11 (1)	s.o. Art 9	(in Ausbildung)	
Art 10 (1)	1 mSv	ungeborenes Kind	
Art 13 (2)	1 mSv/a	Einzelpersonen der Bevölkerung	effektive Dosis
(3) a)	15 mSv/a		Augenlinse
(3) b)	50 mSv/a		Haut
Art 18 (1)	s.o. Art 13	Strahlen(schutz)bereich	
Art 21	6 mSv/a	Kategorie A der beruflich strahlenexponierten Personen	effektive Dosis
	45 mSv/a		Augenlinse
	150 mSv/a		Haut, Extremitäten
Art 42	1 mSv/a	Schutz des Flugpersonals vor kosmischen Strahlen	
Art 3 (2) c) iii)	1 μ Sv/h in 0,1 m	bauartzugelassene Geräte mit radioaktivem Stoff	
Art 3 (2) d) ii)	1 μ Sv/h in 0,1 m	bauartzugelassene elektrische Geräte	
Art 3 e)	1 μ Sv/h in 0,1 m	CRT-Bildschirme, elektrische Geräte bis 30 kV	
Anhang I, Tabelle A	z.B. 10 kBq und 10 kBq/kg für $^{137}\text{Cs}^+$	Freigrenzen, nach Isotopen geordnet	

Weitere Grenzwerte enthalten Anhang I, 3 a) und b). In Österreich nicht relevant sind die Grenzwerte in Art 11 (2) für Auszubildende und Studierende unter 18 Jahren.

MedStrSchV

Fundstelle	Grenzwert	Stichwort
§ 19 (2)	3 mSv/a	wissentlich und willentlich helfende Personen
§ 20 (3)	20 mSv in 10 a	Freiwillige für Forschungszwecke
§ 27 (1)	1 mSv/h in 0,02 m	Nahbestrahlungstherapie
§ 30 (2)	25 µSv/h	Brachytherapie, Ortsdosisleistung am Patientenbett

§ 31 (1) Z.3 bzw. § 33 (4) Z.4	0,3 mSv/a	Brachytherapie bzw. offene radioaktive Stoffe	Unbeteiligte
	1 mSv/a		Familienangehörige
	3 mSv/a		w. w. helfende Personen
§ 34 (2)	1 GBq	Obduktion von Leichen	
Anlage 4	120 µSv/Woche	Ortsdosis außerhalb von Strahlenanwendungsräumen	beruflich strahlenexponiert
	20 µSv/Woche		nicht kontrollierbar

Anmerkung: Die diagnostischen Referenzwerte sind keine Grenzwerte.

StrSchV

Fundstelle	Grenzwert	Stichwort	
§ 12 (6)	150 mSv/a	beruflich strahlenexponierte Personen - Teilkörperdosen	Organe mit Ausnahmen
	300 mSv/a		Haut
§ 13 (1)	100 mSv bzw. 250 mSv	Zwischenfälle, Strahlenunfall – Einzel- bzw. Lebensdosis	
§ 15 i.V.m. § 12 (6)	5 mSv/a	Allgemeinbevölkerung - Teilkörperdosen	Organe mit Ausnahmen
	10 mSv/a		Haut
	25 mSv/a		Extremitäten
§ 18 (1)	100 mSv	ärztliche Untersuchung	
§ 6 (1) I	5 µSv/h in 0,05 m	ionisierende Strahlen parasitär	
§ 8	1 µSv/h in 0,1 m	Bauartzulassung gemäß § 19 (1) Strahlenschutzgesetz	
§ 81 (1)	300 µSv/h in 0,05 m, 20 µSv/h in 1 m	Aufbewahrung radioaktiver Stoffe in eigenem Raum	
§ 83 (2) c)	2 mSv/h an Oberfläche,	Schutzbehälter für Transport innerhalb von Betrieben	
§ 89 (2)	100 µSv/h in 1 m	Sammlung von Abfällen in Abfallbehältern	
§ 94 (8)	1 mSv/h in 1 m	umschlossener radioaktiver Stoff	Herstellerbescheinigung
§ 95 (3)			autorisierte Stellen
§ 101 (1)	1 mSv/h in 1 m	Strahlenanwendungsraum, Bedienen im Nebenraum	
§ 6 (1) b)	3,7 MBq	Bewilligungspflicht - Freigrenze	nicht angeführte Isotope, $\tau \leq 1h$
§ 6 (1) c) (i)	37 kBq		nicht angeführte Isotope, $\tau > 1h$, $Z \leq 81$
§ 6 (1) c) (ii)	3,7 kBq		nicht angeführte Isotope, $\tau > 1h$, $Z > 81$
§ 6 (1) e)	74 Bq/g		Konzentration radioaktiver Stoffe, ausgenommen ²³⁵ U-Anreicherung
§ 6 (1) f)	370 Bq/g		feste rad. Stoffe natürlichen Ursprungs

§ 6 (1) h) (i)	5,55 MBq, 277,5 MBq		Uhren am Körper – ^{147}Pm , ^3H
§ 6 (1) h) (ii)	7,4 MBq, 370 MBq 7,4 kBq		Uhren, nicht am Körper – ^{147}Pm , ^3H , ^{226}Ra
§ 7 b)	3,7 MBq	Meldepflicht – Freigrenze, falls nicht EU strenger	nicht angeführte Isotope, $\tau \leq 1\text{h}$
§ 7 c) (i)	37 kBq		nicht angeführte Isotope, $\tau > 1\text{h}$, $Z \leq 81$
§ 7 c) (ii)	370 k Bq		nicht angeführte Isotope, $\tau > 1\text{h}$, $Z > 81$
§ 92 a)	370 kBq/m ³	feste Abfälle mit $\tau \geq 100\text{ d}$, wie inaktiv	
§ 94 (4)	185 MBq	emanierende radioaktive Stoffe - Glashülle	
Anlage 3, Spalte 4 (&5)	z.B. 37 kBq für ^{137}Cs und ^{131}I	Freigrenzen, nach Isotopen geordnet (falls nicht EU strenger)	
Anlage 11, b) bis d)	z.B. 111 Bq/Hand für Alphastrahler	höchstzulässige Kontamination	
Anlage 12	z.B. 37 MBq zw. C & B für Umgang IV, Kl. 2	Arbeitsplatztypen je nach Art des Umganges und der Toxizitätsklasse	
Anlage 11 a)	129 nC / kg h in 5 cm	Dosisleistung - Kontamination durch Gamma- strahlung	

Weitere (derzeit noch gültige) Grenzwerte enthalten z.B. § 14, § 100 (2) und (5) oder auch die Anlagen 7 und 8 bezüglich Röhrenspannung (kV) und Röhrenauslastung (mAmin/Woche). Darüber hinaus wird oft auch indirekt auf Grenzwerte verwiesen.

Allgemeine Bemerkungen:

Das Konzept der Lebensalterdosen, Quartalsdosen und Teilkörperdosen (§§ 12 ff) passt nicht zu den EU-Vorschriften (Strahlenschutzgrundnorm) und wird nur noch in einzelnen, eher theoretischen Fällen relevant sein. Bezüglich Ganzkörperdosen (z.B. § 15) gilt die strengere Strahlenschutzgrundnorm. Auch bei den abgeleiteten Grenzwerten (z.B. in den Anlagen 2 und 5, eventuell auch Anlage 11, § 62 (1) b) (i) und c), § 92 a) etc.) ist dies zu berücksichtigen. Ebenso gelten für die Meldepflicht § 7 und Anlage 3, Spalte 5 dann nicht, falls die betroffenen Isotope im Anhang I, Tabelle A der Strahlenschutzgrundnorm erfasst sind und die Grenze dort niedriger ist. Problematisch ist derzeit auch die (analoge oder teilweise) Anwendung der §§ 2 und 3 (Kontroll- und Überwachungsbereich).

Das Strahlenschutzgesetz selbst enthält keine Grenzwerte.

Sonstige Rechtsvorschriften

Fundstelle		Grenzwert	Stichwort
§ 10 (2) AtomHG		370 GBq	Haftpflichtversicherung
Anhang 2 der RAbf-VV		z.B. 10 kBq und 10 kBq/kg für $^{137}\text{Cs}^+$	vgl. Anhang I, Tabelle A der Strahlenschutzgrundnorm
z. B. ADR 2003:	2.2.7.2	0,4 Bq/cm ² bzw. 0,04 Bq/cm ²	Definition Kontamination
	Tabelle 2.2.7.7.2.1	z.B. 2 TBq bzw. 0,6 TBq, 10 Bq/g und 10 kBq für $^{137}\text{Cs}^+$ (vgl. Anhang I, Tabelle A der Strahlenschutzgrundnorm)	A ₁ bzw. A ₂ , nach Isotopen geordnet, freigestellte Stoffe bzw. Sendung

Anhang 7

Einheiten im Strahlenschutz

aus „Strahlung und Strahlenschutz, Verantwortung für Mensch und Umwelt, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2. Auflage, 2003“

http://www.bfs.de/bfs/druck/broschueren/str_u_strschutz.pdf (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Zusammenhang zwischen den geltenden SI-Einheiten und den alten Einheiten im Strahlenschutz

	SI-Einheit	Alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq); 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq 1 Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci
Energiedosis	Gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy 1 Gy = 100 rd
Äquivalentdosis effektive Dosis	Sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 rem
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg = 3876 R

Dezimalstellen – wie wird umgerechnet

Vielfaches		Math. Zeichen
$10^3 = 1.000$	Tausend	k = Kilo
$10^6 = 1.000.000$	Million	M = Mega
$10^9 = 1.000.000.000$	Milliarde	G = Giga
Bruchteil		Math. Zeichen
$10^{-3} = 0,001$	Tausendstel	m = Milli
$10^{-6} = 0,000\ 001$	Millionstel	μ = Mikro
$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$	Milliardstel	n = Nano

Anhang 8

Prüfungsbeispiele im Rahmen der Ausbildung zum radiologisch-technischen Dienst

Ein Zahnrontgen (Kleinbild) wird mit einem „D-Film“ angefertigt, welcher im Vergleich zum besseren „E-Film“ die doppelte Belichtungszeit benötigt. Der verwendete Rundtubus (\varnothing 6 cm) hat eine Querschnittsfläche, welche um 80 % größer ist als die eines Rechtecktubus (3.5 cm x 4.5 cm).

Im Vergleich zu einer Zahnaufnahme mit „E-Film“ und Rechtecktubus erhält der Patient

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> die 1,8-fache Dosis | <input type="checkbox"/> mehr als die dreifache Dosis |
| <input type="checkbox"/> die doppelte Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 180 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> die 2,8-fache Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 280 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> die dreifache Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 360 % höhere Dosis |

Von einem Backenzahn wird ein Zahnrontgen angefertigt. Es wird dabei ein „D-Film“ verwendet, welcher im Vergleich zum besseren „E-Film“ die doppelte Belichtungszeit benötigt. Außerdem wird nicht zwischen Backen- und Mahlzähnen unterschieden, sondern grundsätzlich für beide Fälle dieselbe Belichtungszeit gewählt, welche um 60 % länger ist, als für einen Backenzahn erforderlich wäre.

Im Vergleich zu einer Zahnaufnahme mit „E-Film“ und Backenzahneinstellung erhält der Patient

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> die 1,6-fache Dosis | <input type="checkbox"/> mehr als die dreifache Dosis |
| <input type="checkbox"/> die doppelte Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 160 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> die 2,6-fache Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 260 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> die dreifache Dosis | <input type="checkbox"/> eine um 360 % höhere Dosis |

Vom unteren Backenzahn eines Kindes wird ein Zahnrontgen angefertigt. Aus Schlampigkeit wird statt der Kindereinstellung die Belichtungszeit für Erwachsene gewählt, welche doppelt so lang ist. Außerdem wird auf Grund einer fehlerhaften Bedienungsanleitung bei der Auswahl der Belichtungszeit das Unter- mit dem Oberkiefer vertauscht, was – bei Kindern und Erwachsenen gleichermaßen – eine Dosiserhöhung um 60 % bewirkt.

Im Vergleich zu einer korrekt gewählten Einstellung der Belichtungszeit (Kind, Unterkiefer) erhält der kleine Patient

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> die 1,6-fache Dosis | <input type="checkbox"/> mehr als die dreifache Dosis |
|--|---|

- | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | die doppelte Dosis | <input type="checkbox"/> | eine um 160 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> | die 2,6-fache Dosis | <input type="checkbox"/> | eine um 260 % höhere Dosis |
| <input type="checkbox"/> | die dreifache Dosis | <input type="checkbox"/> | eine um 360 % höhere Dosis |

Lösung: jeweils mehr als die dreifache Dosis
 $2 * 1,8$ (bzw. $1,6$) = $3,6$ (bzw. $3,2$) -> *3,6-fache Dosis, d.h. um 260 % höher*
(bzw. *3,2-fache Dosis, d.h. um 220 % höher*).

Anhang 9

Literatur zu „Haben Sie Angst vor einem Röntgen?“

Univ.-Prof. DDr. Kurt Kletter, Neue Debatte über Langzeitfolgen medizinischer Strahlenexposition **Radiodiagnostik: Segen oder Fluch?** JATROS 2/2004, 12 f.

1 % der Krebsrate

A. Berrington de Gonzalez, S. Darby, Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries, Lancet (2004) 363, 345 ff.

www.statistik.at/fachbereich_03/gesundheit_txt.shtml (zuletzt eingesehen am 23.9.2005)

Krebsrate 2004: 25.9 %

R. Nowotny et al., Bericht zum Forschungsauftrag Entwicklung und Vergleich von Methoden zur Ermittlung und Überprüfung von Dosisreferenzwerten in der Röntgendiagnostik gemäß Patientenschutzrichtlinie EU 97/43, 2002

http://www.bmgf.gv.at/cms/site/attachments/9/7/0/CH0055/CMS1065194276970/diagn_refwerte.pdf (zuletzt eingesehen am 22.10.2004, am 23.9.2005 nur mehr als Ausdruck verfügbar)

jährlich durch medizinische Röntgenuntersuchungen bewirkte effektive Dosis pro Österreicher (2000): 1.21 mSv

1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press Oxford, New York, Toronto, Sydney, Frankfurt; zitiert z.B. in

H. Krieger, Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Band 1, 5. Aufl. (2002), Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden; p 338 ff (Kapitel 11.6.1).

Mortalitätsrate: 5 % / Sv

zusätzlich 1 % / Sv nicht letale Krebsfälle

relativer letaler Anteil an allen Krebsfällen (ohne Haut) zw. 10 % (Schilddrüse) und 99 % (akute Leukämie)

Nachsatz:

In einer Gruppe von 16 Studentinnen und Studenten, die zum radiologisch-technischen Dienst ausgebildet wurden, votierten bei spontaner Antwort 3 für b, 6 für c, 4 für d und 3 für e als Lösung.

Anhang 10

Internet-Adressen ausgewählter Hersteller von zahnmedizinischen Rönt- engeräten

http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=intraoral_roentgen

http://www.gendex.de/html/german/company/company_ger.htm

<http://www.castellini.com/engvers/homeeng.html>

<http://www.planmeca.com/>

http://www.acteongroup.com/sitesatpr/cad_al.htm (Satelec)

http://www.delmedical.com/cgi-bin/r.cgi/a_index.html?SESSION=qZ8UDIfXiQ (Villa sistemi)

<http://www.newliferadiology.it/indexENG.htm>

<http://www.trophy.fr/gb/index.php>

<http://www.takara-belmont.de/dental/xray/belray.html>

<http://portal.dental-plaza.com/portal/web/index.jsp> (Morita)

<http://www.yoshida-net.co.jp/en/products/roentgen/>

<http://www.ritterconcept.com/>

<http://www.cemm.it/faq-eng.htm>

http://www.sirona.de/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_geschichte

(alle zuletzt eingesehen am 23. 9. 2005)