



Sarah-Maria Hahnfeldt, *1991
Milan Simon Schade, *1990

Schule:
Universität Marburg,
Zahnklinik

Eingang der Arbeit:
September 2012

Zur Veröffentlichung angenommen:
Oktober 2013

Weniger Risiko beim Röntgen

Reduzierte Strahlenbelastung bei Zahnfilmaufnahmen

Nicht selten ist der Besuch beim Zahnarzt mit einer Röntgenaufnahme verbunden. Der sogenannte Zahnfilm ist praktisch und klein, aber die den Patienten treffende Bestrahlungsfläche unnötigerweise mehr als doppelt so groß. Wir haben ein System entwickelt, womit bei gleichbleibender Bildqualität die Strahlenbelastung für den Patienten um mehr als die Hälfte reduziert wird.

1 Einleitung

1.1 Erläuterung der Themenwahl

Nicht immer kann ein Zahnarzt einem Zahn von außen ansehen, ob und wie stark er geschädigt ist. In einem solchen Fall muss der Zahn geröntgt werden. Ein Zahn ist im Vergleich zu anderen Körperteilen sehr klein und so ist auch der Film, auf dem der Zahn abgebildet wird, nicht gerade groß. Der Bereich, der mit Röntgenstrahlung bestrahlt wird, müsste also ebenfalls überschaubar sein.

Tatsächlich besitzt ein sogenannter Zahnfilm, der die Aufnahme von maximal vier Zähnen gleichzeitig ermöglicht, Abmaße von 3 x 4 cm. Dadurch kann man den Film in beinahe jede beliebige Position im Mund des Patienten anbringen und gezielte Röntgenaufnahmen erstellen. Das bestrahlte Feld wird durch zwei Faktoren begrenzt:

Die Abmaße des Tubus (Röhrenvorsatz für das Röntgengerät zur Eingrenzung des

Strahlenfeldes): Üblicherweise werden Rundtuben mit einem Durchmesser von 6 cm oder Rechtecktuben mit den Maßen 3,4 x 4,3 cm verwendet.

Die Abmaße der Blenden: Als gängige Hilfsmittel und zur Eingrenzung des Strahlenganges gibt es Blenden, die mit einer Bleifolie ausgestattet sind, um überflüssige Strahlen zu absorbieren. Deren Maße sind 3,2 x 4,2 cm oder - für Kinderfilmaufnahmen - 1,6 x 2,8 cm.

Dieser Zahlenvergleich verschafft den Eindruck, dass die Blendenöffnung gerade groß genug ist, um überhaupt noch genügend Strahlen für die komplette Belichtung des Filmes durchzulassen. Warum also beschäftigen wir uns mit einer Reduzierung der Strahlenbelastung, zumal diese Belastung nur sehr kurze Zeit anhält (maximal 0,4 s), für medizinische Diagnosezwecke notwendig ist und bisher nicht als ein Karzinom fördernder

Faktor nachgewiesen werden konnte?

1.2 Einführung in die Röntgentechnik

Röntgenstrahlung ist Photonenstrahlung. Für Zahnfilmaufnahmen werden Strahlen mit einer Photonenenergie im Bereich von 10 keV bis 70 keV verwendet. Die in der Röntgenröhre (Abb. 1) erzeugte Strahlung breitet sich gradlinig aus und ist weder reflektierbar noch durch Magnetfelder, Prismen oder Ähnlichem ablenkbar. Voraussetzungen für die Erzeugung dieser Strahlung sind:

- Es sind freie Elektronen vorhanden.
- Es ist eine entsprechende Spannung vorhanden.
- Es ist eine geeignete Bremsfläche vorhanden.

Die freien Elektronen werden im Vakuum der Röntgenröhre durch die an der Anode

anliegende Spannung auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Beim Zusammenprall der Elektronen mit der Anode als Bremsfläche geben sie ihre hohe Energie an das Anodenmaterial ab und es entsteht die kurzwellige Röntgenstrahlung. Dies geschieht auf einer ca. 1 mm² großen Fläche, dem Fokus. Je höher die Anodenspannung, desto größer die Geschwindigkeit der Elektronen und desto härtere, also energiereichere Röntgenstrahlen entstehen an der Anode. Und je größer der Heizstrom, desto mehr freie Elektronen werden gewonnen. Die am Fokus entstandenen Röntgenstrahlen treten durch das Austrittsfenster der Röntgenröhre und passieren einen Aluminium-Filter, der die weiche, also niederenergetische Photonenstrahlung absorbiert. Das gefilterte Strahlenbündel gelangt dann in den Tubus, der gewöhnlich zwischen 15 cm und 25 cm lang ist und an dessen Öffnung mittels Bleiblen den Strahlungsfeld auf die nötige Größe minimiert werden soll. Da sich die Röntgenstrahlen divergierend ausbreiten, bewirkt eine Blende der Größe 3,2 cm x 4,2 cm eben nicht ein Strahlungsfeld bei dem Patienten von 3,2 cm x 4,2 cm, sondern eines, was sich mit zunehmendem Abstand von Blende zu Objekt vergrößert; genau genommen bewirkt die Verdopplung des Abstandes die Vervierfachung der bestrahlten Fläche. Auch die Länge des Tubus spielt dabei eine Rolle. Bei gleichbleibender Größe der Tubusöffnung ändert sich mit dem Abstand vom Fokus zur Öffnung bzw. Blende nämlich der Winkel α , in dem die Strahlen austreten (Abb. 2).

Aus diesen zwei Überlegungen heraus stellten sich uns folgende Fragen

- inwieweit sich das bestrahlte Feld auf dem Patienten verändert, wenn der Abstand Tubusöffnung bzw. Blende – Film oder der Abstand Fokus – Tubusöffnung bzw. Blende variiert
- wie groß die tatsächliche Strahlenbelastung des Patienten ist
- wie sehr sie sich durch bereits vorhandene Hilfsmittel eingrenzen lässt
- wie viel Strahlung man zusätzlich einspart, wenn man nur den Film belichtet und
- inwieweit das praktisch umsetzbar ist.

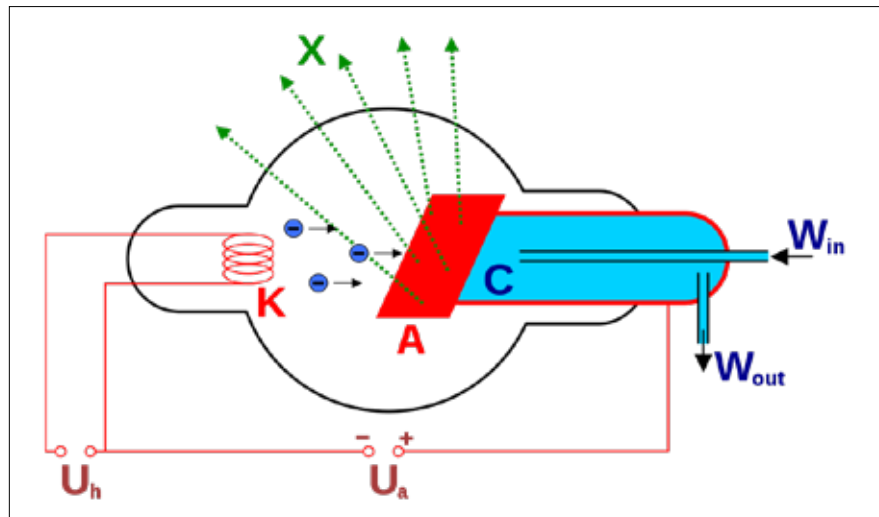


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre: K Kathode, A Anode, X Röntgenstrahlung, Umzeichnung nach [1].

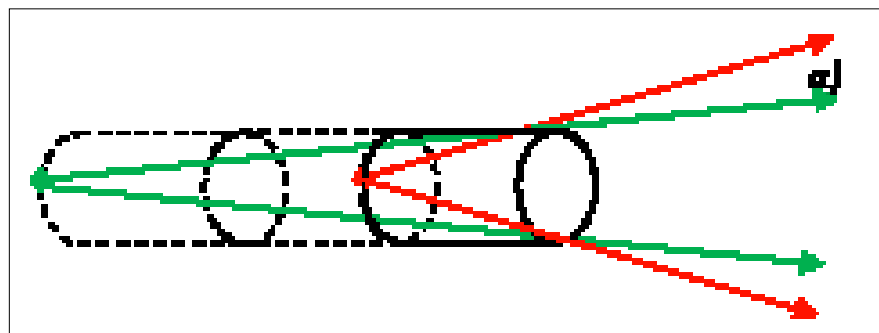


Abb. 2: Vergrößerung des Strahlenfeldes durch Verkürzung des Tubus: Roter Strahlengang bei kurzem Tubus, grüner Strahlengang bei langem Tubus.

2 Hauptarbeit

2.1 Messungen und Stand der Technik

Um den Stand der Technik festzustellen, führten wir Messungen mit unterschiedlichen Röntgenanlagen durch, die die Situation des dentalen Röntgens in der Praxis so gut wie möglich simulierten. Dazu bestrahlten wir einen Röntgenfilm, dessen Aufbau hier kurz erklärt sei.

Der einfachste Aufbau besteht aus einem sogenannten folienlosen Zahnfilm. Dieser besteht aus drei unterschiedlichen Schichten, wobei die Trägerschicht mittig positioniert vorliegt. Hierfür wird Polyester verwendet, das meist blaugrün schimmert. Auf diesem Trägermaterial wird beidseitig eine gelartartige dünne Haftschrift aufgetragen, die die Haftung der lichtempfindlichen Emulsion auf dem Träger garantieren soll. Außenherum wird noch eine Schutzschicht angebracht und der komplette Film in eine biegsame, dünne Plastikverpackung zusammen mit einer schwarzen Stabilisierungspappe und einer darin liegenden Bleifolie zur Absorption der störenden

Streustrahlung gepackt. Die deutlich größeren Kassettenfilme, die für Panoramasaufnahmen verwendet werden und in der Lage sind, den gesamten Kiefer abzubilden, sitzen zusätzlich in einer Kassette mit Verstärkerfolien, die die Belichtung des Bildes verstärken.

Wir haben eine solche Kassette zur Registrierung der verschiedenen großen Strahlenfelder verwendet, indem wir zunächst einen Rundtubus direkt auf die Kassette aufsetzten und belichteten und in einem zweiten Versuch den Abstand von Tubusöffnung zu Kassette auf 5 cm erhöhten. Diese 5 cm werden bei Röntgenaufnahmen am Patienten ebenfalls benötigt, da der Tubus frei schwebend und ohne den Patienten zu berühren angebracht wird und die Strahlen zunächst durch Luft, dann die Wange, den Kieferknochen und den Zahn verlaufen, bevor sie hinter dem Zahn auf den Film treffen. Auf die so belichteten, also geschwärzten Areale legten wir zum besseren Größenvergleich der Felder einen ausgepackten Zahnfilm (3,0 x

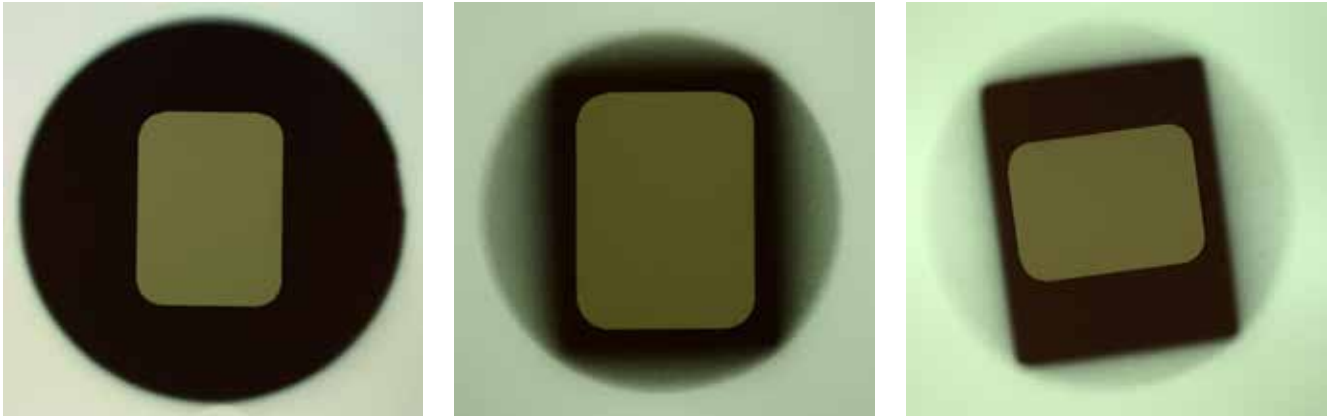


Abb. 3: Links: Der ausgepackte Zahnfilm liegt mittig auf dem von einem auf einer Röntgenkassette aufliegendem Rundtubus geschwärzten Feld; Mitte: gleiche Anordnung wie links, dieses Mal unter Verwendung einer kommerziellen Blende; Rechts gleiche Anordnung wie in der Mitte, dieses Mal mit 5 cm Abstand zum Film.

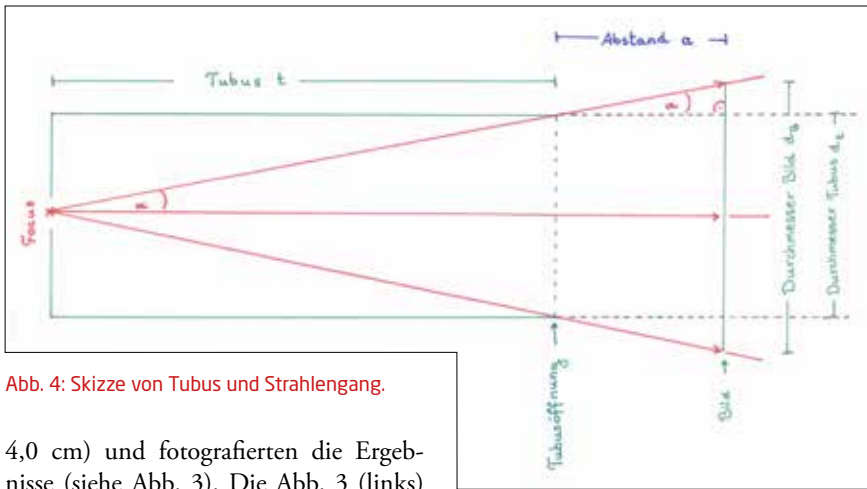


Abb. 4: Skizze von Tubus und Strahlengang.

4,0 cm) und fotografierten die Ergebnisse (siehe Abb. 3). Die Abb. 3 (links) zeigt, dass bereits der auf den Film aufgesetzte übliche Rundtubus ein viel zu großes Feld belichtet und dass auch die üblicherweise verwendeten Blenden (Abb. 3, Mitte) weder die Strahlung komplett absorbieren, noch das Strahlungsbündel auf das nötige Minimum reduzieren. Noch schlimmer wird es, wenn man, wie in Abb. 3 (rechts) gezeigt, den Tubus samt Blende in einen Abstand von 5 cm zum Film anbringt, was im Praxisalltag unumgänglich ist, und dann belichtet. In diesem Fall passt der Film sowohl waagrecht als auch senkrecht in das bestrahlte Feld, obwohl die Blende nur für eine waagerechte Aufnahme bestimmt war.

Auch beim Rechtecktubus mit den anfänglich passend erscheinenden Maßen der Tubusöffnung von 3,4 x 4,3 cm gewinnt das Bestrahlungsfeld über eine Distanz von 5 cm zum Film deutlich an Größe. Anhand der Messergebnisse haben wir eine Skizze erstellt (Abb. 4), mittels derer wir uns die physikalischen und geometrischen Zusammenhänge von Tubuslänge, Größe der Tubusöffnung und Größe des Strahlenfeldes erschließen konnten. Anschließende Berechnungen

gaben uns Auskunft, welche Maße eine Blende besitzen und in welchem Abstand sie zum Objekt angebracht werden müsste, damit ausschließlich der Film belichtet werden würde, dieser aber wiederum vollständig und zuverlässig.

2.2 Berechnungen

Bei gleichbleibender Größe der Tubusöffnung, ändert sich mit dem Abstand Fokus – Öffnung der Winkel α der austretenden Strahlen. Je größer der Abstand, desto kleiner der Winkel α . Da der Zentralstrahl im günstigsten Fall, und wie in Abb. 4 abgebildet, senkrecht auf Objekt und Film auftrifft, ergibt sich aus der Verlängerung der Tubusenden und den austretenden Strahlen ein rechtwinkliges Dreieck, bei dem man den Winkel α mittels des Tangens, der gleich dem Quotient aus Gegenkathete zu Ankathete ist, berechnen kann.

Die Gegenkathete ist die halbe Differenz aus dem Durchmesser des Bildes d_b und aus dem Durchmesser des Tubuses d_t . Die Ankathete beschreibt den Abstand a von der Tubusöffnung zum Bild.

$$\tan \alpha = \frac{1}{2} \frac{d_b - d_t}{a} \quad (1)$$

Um das Abhängigkeitsverhältnis des Winkels α zum Tubus t darzustellen, kann man den Tangens auch dadurch beschreiben, dass man als Gegenkathete $\frac{1}{2} d_t$ und als Ankathete t wählt. Hieraus ergibt sich:

$$\tan \alpha = \frac{1}{2} \frac{d_t}{t} \quad (2)$$

Will man nun die Strahlenbelastung reduzieren, muss man den Winkel der Austrittsstrahlen möglichst klein halten, also den $\tan \alpha = 0$ setzen. Dies wäre nur möglich, wenn sich der Durchmesser des Bildes d_b an den Durchmesser des Tubus d_t angleichen würde. Hierfür muss man den Abstand von der Tubusöffnung $a = 0$ setzen oder die Tubuslänge t sehr groß machen. Beides ist in der Praxis aber nicht realisierbar. Gut realisierbar hingegen wäre die über die Eingrenzung der Tubusöffnung d_t bedingte Eingrenzung des Bilddurchmessers d_b .

Der Abstand a sei wieder die gegebene Größe. Aus der Skizze (Abb. 4) und den vorangegangenen Rechnungen ergibt sich aus Glg 1:

$$d_b = d_t + 2a \tan \alpha$$

Wird Glg (2) eingesetzt, gilt

$$d_b = d_t + 2a \left(\frac{1}{2} \frac{d_t}{t} \right)$$

Da wir d_b bereits kennen, denn die Bildgröße soll ja der Filmgröße entsprechen, löst man die Gleichung nun nach d_t auf und erhält:

$$d_t = \frac{d_b}{1 + \frac{a}{t}}$$

So kann man also die Größe der Tubusöffnung bzw. Blende berechnen, die in Abhängigkeit von der Länge t des Tubus und dem Abstand a von Öffnung zum Bild variiert und trotzdem jeweils genau auf die Zahnfilmgröße zugeschnitten ist. Beispiel: Bei einer Filmbreite $d_b = 3$ cm müsste die Blendenöffnung d_i an einem Tubus der Länge $t = 20$ cm mit dem Abstand $a = 5$ cm zum Film exakt 2,4 cm breit sein.

Mit diesen Erkenntnissen kommen wir zurück zu unseren Messergebnissen. Wie aus der Abb. 3 ersichtlich wurde, absorbieren die Blenden nicht vollständig, sodass um die ohnehin schon zu großräumig bestrahlte Fläche einen Kranz von weniger intensiver, aber zusätzlicher Strahlung kommt. Um wie viel Prozent es sich dabei tatsächlich handelt, haben wir mit einer Schwärzungskurve (siehe Abb. 5) herausbekommen. Sie gibt Auskunft über die Bildqualität und Empfindlichkeit des vorliegenden Materials. Zum Vergleich haben wir den Film einmal direkt belichtet (blaue Punkte mit Trendlinie) und einmal durch einen Absorber hindurch, welcher die Blende darstellte (rote Punkte mit Trendlinie), wodurch wir ihre Strahldurchlässigkeit testen konnten. Zum Film ist zu sagen, dass er einen natürlichen Grauschleier besitzt, da auch bei kleiner Belichtung eine leichte Schwärzung von ca. 0,3 vorliegt. Für die Bestimmung der Schwärzung benutzten wir ein Densitometer. Hierbei wird der Film zwischen einer Lichtquelle und einem Sensor eingeklemmt und die Lichtdurchlässigkeit des Filmes bestimmt. Angezeigt wird der Wert des dekadischen Logarithmus des Quotienten von eingestrahelter zu durchgelassener Lichtintensität. Für die Aufnahmen hinter der angeblich strahlendichten Blende erhielten wir die Messergebnisse aus Abb. 5.

Die grünen Verbindungslinien verbinden Punkte mit gleichem Schwärzungsgrad. So wird die gleiche Schwärzung des Films einmal nach 0,13 s ohne Blende und einmal nach 0,4 s Bestrahlung mit kommerzieller Blende erzielt. Als Rückschluss ergibt sich, dass recht genau ein Drittel der Strahlung trotz Bleifolie in der Blende unseren Film erreicht hat und damit bei realen Röntgenaufnahmen das umliegende Gewebe des Patienten bestrahlt. Die gängigen

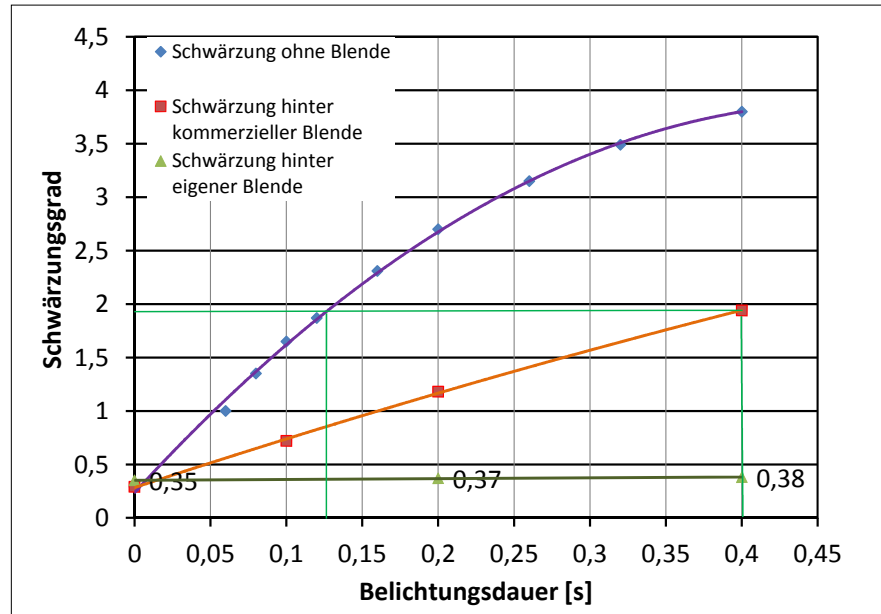


Abb. 5: Schwärzungskurve von Zahnfilmen ohne Blende, durch kommerzielle Blenden hindurch, so wie hinter unserer eigenen Blende.

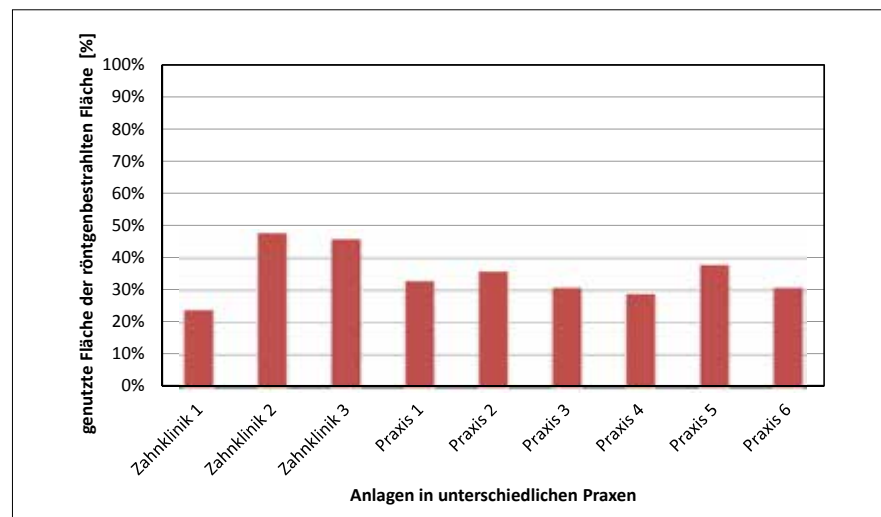


Abb. 6: Vergleich des Nutzteils der Röntgenstrahlung in unterschiedlichen Einrichtungen. Folgende Tuben wurden verwendet: Zahnklinik 1: Rundtubus ohne Blende, Zahnklinik 2: Rundtubus mit Blende, Zahnklinik 3: Rechtecktubus ohne Blende, Praxis 1-4: Rundtubus, Praxis 5: Rechtecktubus, Praxis 6: Rundtubus.

Blenden absorbieren also die überflüssige Strahlung nur zu zwei Drittel.

2.3 Überprüfung der Annahmen auf Allgemeingültigkeit

Um ausschließen zu können, dass unsere Messungen nur aufgrund der möglicherweise in der Zahnklinik veralteten Röntgenanlagen so bezeichnend ausfallen, haben wir unter gleichen Bedingungen Röntgenaufnahmen in verschiedenen Praxen erstellt (siehe Abb. 6). Es wurde zum besseren Vergleich immer ein Abstand von 5 cm zwischen Tubusöffnung und Film eingehalten. Dabei haben wir die geschwärzte, also bestrahlte Fläche gemessen und ins Verhältnis zu unserer Zahnfilmgröße, also

der eigentlich notwendigen Feldgröße gesetzt.

Beispiel: Der bei einem Rundtubus gemessene Durchmesser $d_{\text{Rundtubus}}$ beträgt im Abstand a von 5 cm zum Film 7,9 cm. Mit der Formel: $A_{\text{Kreis}} = \pi r^2$ ergibt sich eine Fläche $A_{\text{Rundtubus}} = 49,01$ cm². Setzen wir diese gleich 100 %, erhalten wir durch Dreisatzumformungen für unsere Filmfläche $A_{\text{Film}} = 24,48$ %. Es werden also nur 24,48 % der bestrahlten Fläche für den Bildaufbau genutzt.

2.4 Zwischenergebnisse

Die Ergebnisse zeigen zum Ersten, dass die Situation in den Praxen, was die maximale Nutzung des Strahlenfeldes

betrifft, mindestens genauso unzureichend ist, wie die der verschiedenen Abteilungen der Zahnklinik. Zum Zweiten werden in den Praxen überwiegend Rundtuben verwendet, die durch ihren großen Durchmesser eine besonders große Fläche des Patienten unnötig bestrahlen. Zum Dritten werden kaum Blenden verwendet, da sich sonst die Werte der Versuchspraxen im Bereich der „Zahnklinik 2“ befinden müssten. Zum Vierten machte es bei unseren Versuchen keinen Unterschied, ob das Bild digital oder noch analog aufgenommen wird. Die Praxen 2 und 3 sind auf digitale Röntgenverfahren umgestiegen, stehen aber im Vergleich mit 36 % und 31 % genutzter Fläche auf einer Stufe mit den älteren Modellen. Das liegt daran, dass beim digitalen Röntgen lediglich der Film durch einen modernen Sensor ersetzt wird, der als Speicherkarte fungiert und im Gegensatz zum Röntgenfilm wiederverwendet werden kann. Ansonsten hat sich weder an der Röntgenapparatur noch an den Blenden etwas geändert, sodass der gleiche Strahlenanteil den Röntgenfilm verfehlt. Die angepriesene Reduzierung der Strahlenbelastung kommt daher, dass der Sensor sehr empfindlich ist und eine kürzere Belichtungsdauer ermöglicht. Und je kürzer die Zeit der einwirkenden Strahlung, desto weniger schädlich ist die Aufnahme für den Patienten. Allerdings sind bis zu 65 % überflüssiger Strahlung kaum durch eine kürzere Belichtungszeit kompensierbar.

2.5 Umbauten am Tubus

Anhand unserer voran gegangenen Berechnungen und der Testergebnisse bauten wir nun einen ausrangierten Tubus nach unseren Vorstellungen um. Da wir die Experimente zur Verbesserung des Tubus unmöglich alle nur mit Röntgenstrahlung durchführen konnten, haben wir uns zunächst aus einer weißen LED, die mittels einer Fotofilmdose an die Position des eigentlichen Fokus geklebt wurde, eine Lichtquelle zur Simulation der Strahlung entwickelt. Diese Simulationseinrichtung hatte den Vorteil, völlig ungefährlich und transportabel zu sein. Weiterhin war nun das Röntgenfeld als Lichtfeld sichtbar, was uns ermöglichte, die Ergebnisse unserer Experimente direkt zu verfolgen. Sobald die Apparatur funktionierte, erstellten wir unsere ersten eigenen Blenden aus Pappkarton. Dabei gab es keinerlei Probleme. Bei un-

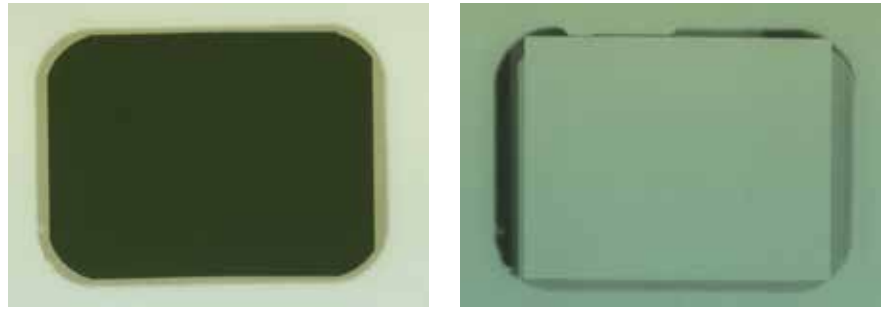


Abb. 7: Schwärzung des Röntgenfilms hinter selbst konzipierter Blende, im Abstand von 7cm zum Film, mit (rechts) und ohne (links) aufgelegtem Zahnfilm.



Abb. 8: Patientin erst nur mit Filmhalter, dann mit arretiertem Tubus samt Blende und Röntgenanlage.



Abb. 9: Panoramaansicht der gesamten Röntgenanlage mit modifiziertem Tubus samt Blende und eingespanntem Filmhalter.



Abb. 10: Röntgenaufnahme von Prämolaren und Molaren im Unterkiefer.

serer ersten Bleiblende mussten wir aber feststellen, dass die errechneten Idealmaße praktisch insofern untauglich sind, als dass eine sehr genaue Justierung der Anlage notwendig ist, was in mehrfacher Hinsicht kaum möglich ist: Erstens hängt der Tubus samt der Röntgenquelle an einem langen Schwenkarm mit mehreren Gelenken, der für die Ausrichtung am Patienten notwendig, aber insgesamt wackelig ist. Zweitens sind die Filmhalterstangen bisher in eine Fassung einzufädeln, die dem Filmhalter Spielraum in seiner Kippachse erlaubt, wodurch der Filmhalter, auf den der Patient aufbeißt, schließlich wie ein langer Hebelarm wirkt und die Justierung verzerrt. Schließlich sind die Schnappvorrichtungen für den Zahnfilm momentan so offen gestaltet, dass es nicht möglich ist, den Film bei jedem Einsetzen gleich mittig zu fixieren.

Wir haben trotzdem mehrere Röntgenaufnahmen erstellt, um die Abweichung vom Idealwert besser abschätzen zu können. Wir erzielten zwar erstaunlich gute Ergebnisse, sind aber zu dem Schluss gekommen, dass im Praxisalltag, wo ja leider oft gänzlich auf Blenden verzichtet wird, diese Handhabung zu zeitaufwändig ist.

Die nächsten erstellten Blenden beinhalteten demzufolge einen minimalen Karenzraum waagrecht, was im Abstand von mindestens 5 cm zum Film die Treffsicherheit der Strahlung auf den Film garantierte. Die überschüssige Strahlenbelastung beträgt dabei noch unter 10 %, wie wir anhand der Abb. 7 verdeutlichen wollen. Dabei haben wir mit unserem umgebauten Tubus wie gewohnt eine größere Röntgenkassette belichtet und zum Größenvergleich einen ausgepack-

ten Zahnfilm (3,0 x 4,0 cm) auf das geschwärzte Feld gelegt.

Außerdem verdickten wir die Bleiblende unserer Blende auf 2 mm, sodass zukünftig keine Strahlung vorzufinden ist, wo keine hingehört. Dies haben wir mittels der gemessenen Schwärzungskurve (siehe Abb. 6) überprüft. Wie anhand der untersten grünen Kurve zu erkennen ist, haben wir durch unsere eigene Bleiblende hindurch belichtet und tatsächlich keinen Anstieg mehr gemessen.

Als nächstens verbesserten wir die wackelige Halterung und die Handhabung, damit sich zukünftig die Reduzierung der Strahlenbelastung mittels Blenden-systemen durchsetzt. Bislang wurde der Halter zunächst in das Halterungsloch in der Blende eingefädelt, dann die Komposition im Munde des Patienten ausgerichtet und zum Schluss die Röntgenanlage dazu geschoben und bewusst frei justiert. So liegt der Zahnfilm in der richtigen Position und die Blende ungefähr in der gleichen Ebene. Die im Lehrbuch stehende Paralleltechnik, die besagt, dass Zahnfilm und Zahn zueinander parallel ausgerichtet werden sollen und die Positionierung des Zentralstrahls der Röntgenstrahlung im rechten Winkel dazu erfolgt, um Größenverhältnisse am Zahn korrekt wiedergeben zu können, ist damit dennoch nicht realisiert. Wir wollten an der gewohnten Reihenfolge des Zusammenmontierens allerdings möglichst wenig ändern, auch um die Ablehnung der Neuerung wegen möglicherweise aufwändigem Umlernen zu vermeiden. Statt der Einfädung in ein Halterungsloch überlegten wir uns, den Filmhalter besser an einer Kunststoffkante anzulegen und dann mittels eines Schwenkhebels zu arretieren. Durch die lange Kante erzielt man eine bessere Stabilität und hat zudem genügend Platz zum einfachen Anlegen des Halters. Die schwebende Blende haben wir direkt auf die Tubusöffnung geklebt (Abb. 8) So stört sie den Patienten nicht, muss nicht zusätzlich montiert werden, kann nicht vergessen werden und verrutscht nicht. Damit ist auch die Treffsicherheit gewährt, die bei unseren kleinen Blendenmaßen sehr wichtig ist. Weiterhin garantiert unsere feste Verbindung vom Tubus zum Film, dass die Paralleltechnik zur Geltung kommt und das Bild nicht verzerrt wird (Abb. 9).

3 Ergebnisse und Ausblick

Abschließend können wir sagen, dass uns unser Vorhaben, die Strahlenbelastung bei dentalen Röntgenaufnahmen auf das medizinisch notwendige Minimum zu reduzieren, gelungen ist. Zumindest für Zahnfilm-aufnahmen bei Erwachsenen haben wir mit unseren Blendenmaßen 2,2 x 3,0 cm eine gute Grundlage für strahlenbewusstes Röntgen geschaffen. Dabei haben wir zur Sicherheit einen mit 7cm etwas größeren Abstand vom Tubus zum Film eingebaut. Damit erhalten wir eine bestrahlte Fläche $A = 3,1 \times 4,1 \text{ cm}^2$. Bei unserer Filmgröße von 12 cm^2 macht die überschüssige Strahlung – abhängig von der Genauigkeit bei der Justierung des Films im Filmhalter – jetzt nur noch ca. 7 % bis 9 % aus. Wie allerdings auffällt, entspricht die Größe unserer Bleiblen-de in etwa der der Kinderblende mit $1,6 \times 2,8 \text{ cm}$ – das bedeutet, dass man auch hier neue Berechnungen anstellen und eine korrekte Blende konzipieren müsste, woran wir momentan arbeiten. Das Schwierigste daran ist die schnelle, unkomplizierte Anbringung an unserem Tubus, ohne dass sie den Exzenterhebel für die Arretierung des Filmhalters behindert oder, da Blei ein sehr weiches Material ist, unsere erste Blende verbiegt. Diese ist inzwischen korrekt ausgerichtet und auch für reale Zahnfilm-aufnahmen einsetzbar, wie wir mit Abb. 10 zeigen wollen. Nach Einverständniserklärung des Strahlenschutzbeauftragten, sowie unter Aufsicht eines Radiologen durften wir das folgende Röntgenbild an einem Patienten der Zahnklinik erstellen.

Vom Aufbiss der Patienten auf den Filmhalter bis zum Einblendrand unserer neuen Blende ist alles auf der Aufnahme enthalten, die Kontrastierung gut und die Wurzelspitzen der Zähne, die oft Ärger verursachen und daher von besonderem Interesse sind, vollständig abgeleuchtet. Durch den Einsatz unseres Blendensystems wird zudem die Forderung der Röntgenverordnung „[...] jede Strahlenexposition von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes der Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.“ [8] erfüllt.

Trotz allem wurden wir bei der Vorstellung unserer Arbeit immer wieder mit der Frage konfrontiert, ob die errungene Einsparung an Strahlendosis überhaupt relevant sei, da eine analoge Zahnfilm-aufnahme einen Dosiswert von nur 0,08 mSv, eine digitale Aufnahme sogar von nur 0,045 mSv hat, aber die natürliche, kosmische Strahlenbelastung bereits 2,4 mSv pro Jahr beträgt. Das seien ganz andere Dimensionen und außerdem würde man nicht bei jedem Zahnarztbesuch geröntgt, hieß es weiter. Wie sehen das aus einer anderen Perspektive: Warum sollte man nicht, sofern möglich, versuchen, zusätzliche Strahlung zu minimieren? Warum sollte man ein zusätzliches Risiko, z. B. an einem Meningiom zu erkranken, eingehen, wenn man es ohne Aufwand auch vermeiden kann? Man sollte bedenken, dass sich die verhältnismäßig kleine Strahlendosis auch auf eine sehr kleine Fläche am Patienten konzen-

triert und dass Zähne topographisch sehr nah zu Auge und Gehirn liegen. Sicherlich gibt es bisher keine Studie, die häufiges dentales Röntgen als Krankheitsursache beweisen kann, aber wir möchte in diesem Zusammenhang auf die kürzlich in der Zeitschrift „Cancer“ veröffentlichte Arbeit „Dental X-Rays and Risk of Meningioma“ von Elisabeth B. Claus (Yale University School of Medicine) [9] verweisen, in der eben diese Frage genauer untersucht wurde. Das Ergebnis war, dass die Personen der Testgruppe, die mindestens einmal pro Jahr geröntgt wurde, auffällig häufiger erkrankten, als die Testpersonen, die der Strahlung nicht ausgesetzt wurden. Wir hoffen, dass weitere Forschungen auf diesem Gebiet genaueren Aufschluss über den Einfluss von dentaler Strahlenapplikation gibt und sowohl den behandelnden Arzt als auch die Patienten etwas für dieses Thema sensibilisieren.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Professor Michael Gente, der uns nicht nur an die entsprechende Literatur heranzuführte, sondern trotz Vorlesung und Studententbetreuung jederzeit erreichbar war und sehr geduldig auf alle Fragen und Bitten einging. Weiterhin bedanken wir uns bei Armin Heimann und der Röntgenabteilung der Zahnklinik der Philipps Universität Marburg, die uns hilfsbereit ihre Apparaturen für die Testaufnahmen zur Verfügung stellten. Abschließend seien die Praxen erwähnt, die uns erlaubten, unsere Messungen zu vervollständigen.

Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.radiologie-bingen.de/leistungsangebot/roentgenbilder/ROENTGENROEHRE.jpg>, erstellt von Dr. N. Vogel, Dr. P. Kalden, Dr. A. Hlawatsch; gelesen am 19.09.11
- [2] <http://gsg-physik.de/physik/abstandsgesetz/strahlensatz.gif>, erstellt vom Geschwister-Scholl-Gymnasium Wetter (Ruhr); gelesen am 19.09.11
- [3] Friedrich A. Pasler, Heiko Visser, Taschenatlas der Zahnärztlichen Radiologie, Thieme-Verlag; Stuttgart 2003
- [4] Friedrich A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme-Verlag; Stuttgart 1998, 2. überarbeitete Auflage
- [5] Volker Harms, Physik für Mediziner und Pharmazeuten, Harms-Verlag; Lindhöft 2006, 17., überarbeitete Auflage
- [6] Kentzler-Kaschner Dental GmbH, Leitfaden Manual, RWT Filmhaltersysteme für die Rechtwinkel-/Paralleltechnik, Geschäftsbereich KKD; Ellwangen/Jagst 2010
- [7] Röntgenverordnung, Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen, BGBl. 2002 I Nr. 36; vom 18.06.2002
- [8] Elisabeth B. Claus, MD; Lisa Calvo-coressi; Melissa L. Bondy; Joellen M. Schildkraut; Joseph L. Wiemels; and Margaret Wrensch, Dental X-Rays and Risk of Meningioma, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com)