



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

LOLLAR



Reduzierte Strahlenbelastung bei Zahnfilmaufnahmen

Sarah-Maria Hahnfeldt

Milan Schade

Schule:

Zahnklinik Marburg
Georg-Voigt-Str. 3
35033 Marburg/Lahn

Universität Marburg
Technische Werkstätten Feinmechanik

Fachgebiet: Arbeitswelt

Thema: Reduzierte Strahlenbelastung bei Zahnfilmaufnahmen

Teilnehmer: Sarah-Maria Hahnfeldt und Milan Schade

Beim dentalen Röntgen wird zu diagnostischen Zwecken ein Zahnfilm benutzt, der die Abbildung eines Ausschnittes aus dem Kiefer des Patienten ermöglicht. Dabei fiel uns auf, dass das bestrahlte Feld im Patienten größer ist als die Fläche des Zahnfilmes, womit sichergestellt ist, dass obwohl Röntgenstrahlenfeld und Film ohne mechanische Verbindung zueinander ausgerichtet werden, trotzdem der gesamte Film belichtet wird. Nach unseren Messungen tragen aber zwischen 52% und 76% der in den Patienten eingestrahlten Röntgendosis nicht zum Bild sondern nur zu seiner Strahlenbelastung bei! Aber wie weit kann man das Strahlenfeld eingrenzen, also die Belastung reduzieren und dennoch den gesamten Film zuverlässig belichten?

Um das herauszufinden, haben wir einen konventionellen Tubus, das ist ein Vorsatz für das Röntgengerät zur Eingrenzung des Strahlenfeldes, verwendet und die Röntgenstrahlenquelle durch eine weiße LED ersetzt. So konnten wir das Strahlenfeld als Lichtfeld direkt sehen und mit dieser Simulationseinrichtung eine Blende konstruieren, die das Strahlenfeld theoretisch auf die Fläche des Röntgenfilmes minimiert. Damit das Feld den Zahnfilm genau trifft, haben wir eine Verbindung zwischen unserem selbst modifizierten Tubus und einem konventionellen Filmhalter entwickelt. Diese Verbindung ist gut arretierbar und trotzdem leicht lösbar, sodass sie in der Praxis einsetzbar ist, da es unser Ziel ist, die unnütze Strahlung im klinischen Alltag auf weniger als 10% zu reduzieren.

Unser verbessertes Blenden-Filmhaltersystem kann auch in gleicher Weise für die Reduktion der Strahlenbelastung bei digitalen Röntgenaufnahmen genutzt werden. Auch bei diesem System ist die bestrahlte Fläche weitaus größer als die des digitalen Sensorsystems.

Jugend forscht 2012 – Arbeitswelt

Reduzierte Strahlenbelastung bei Zahnfilmaufnahmen

Sarah-Maria Hahnfeldt und Milan Schade

Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm.

Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Tubus. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Dosis. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Zahnfilm. Strahlung. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Dosis. Reduzierung. Filmhalter.

Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Dosis. Rechtwinkeltechnik. Filmhalter. Blende. Tubus. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Dosis. Rechtwinkeltechnik. Filmhalter. Blende. Tubus. Reduzierung. Dosis. Filmhalter. Blende. Rechtwinkeltechnik. Belastung. Tubus. Röntgen. Zahnfilm. Strahlung. Dosis. Filmhalter. Blende. Reduzierung. Dosis.

Marburg, den 17.03.2012

Inhaltsverzeichnis

Datenblatt

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung

- a. Erläuterung der Themenwahl S. 3
- b. Einführung in die Röntgentechnik S. 3-4

II. Hauptarbeit

- a. Messungen zum Stand der Technik S. 5-6
- b. Berechnungen und Erläuterungen S. 7-9
- c. Überprüfung der ersten Annahmen auf Allgemeingültigkeit S. 9
- d. Zwischenergebnisse S. 10
- e. Umbauten am Tubus und Schwierigkeiten S. 10-13

III. Ergebnisse und Ausblick S. 13-14

IV. Danksagung S. 14

V. Literaturverzeichnis S. 15

I. Einleitung

a) Erläuterung der Themenwahl

Wer nicht allzu oft beim Zahnarzt ist und wenn, dann nur zu unspektakulären Kontrollen, weiß mit dem Thema sicherlich wenig anzufangen. Immerhin ist ein Zahn im Vergleich zu anderen Körperteilen recht klein. Somit wird auch der Film, auf dem der Zahn abgebildet wird, nicht gerade groß ausfallen, wodurch das Feld der Röntgenstrahlung also ohnehin schon überschaubar sein müsste.

Tatsächlich besitzt ein sogenannter Zahnfilm, der die Aufnahme von maximal vier Zähnen gleichzeitig ermöglicht, Abmaße von 3cm x 4cm. Dadurch kann man den Film in beinahe jede beliebige Position im Mund des Patienten anbringen und gezielte Röntgenaufnahmen erstellen – eine Reduzierung der Strahlendosis von so einer kleinen Fläche scheint doch überflüssig. Des Weiteren wird das bestrahlte Feld bereits durch zwei Faktoren begrenzt:

1. Die Abmaße des Tubus¹. Üblicherweise werden Rundtuben mit einem Durchmesser von 6cm oder Rechtecktuben mit den Maßen 3,4cm x 4,3cm verwendet.
2. 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 3,2cm x 4,2cm oder, für Kinderfilmaufnahmen entwickelt, 1,6cm x 2,8cm.

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 0,4sec), für medizinische Diagnosezwecke notwendig ist und bisher nicht als ein Karzinom fördernder Faktor nachgewiesen werden konnte?

b) Einführung in die Röntgentechnik

Röntgenstrahlung kann als Photonenstrahlung beschrieben werden, wobei die einzelnen Photonen² eine Energie im Bereich von 10 bis 70 keV aufweisen. Die in der Röntgenröhre (Abb. 1) erzeugte Strahlung breitet sich gradlinig aus und ist weder reflektierbar noch durch Magnetfelder, Prismen oder

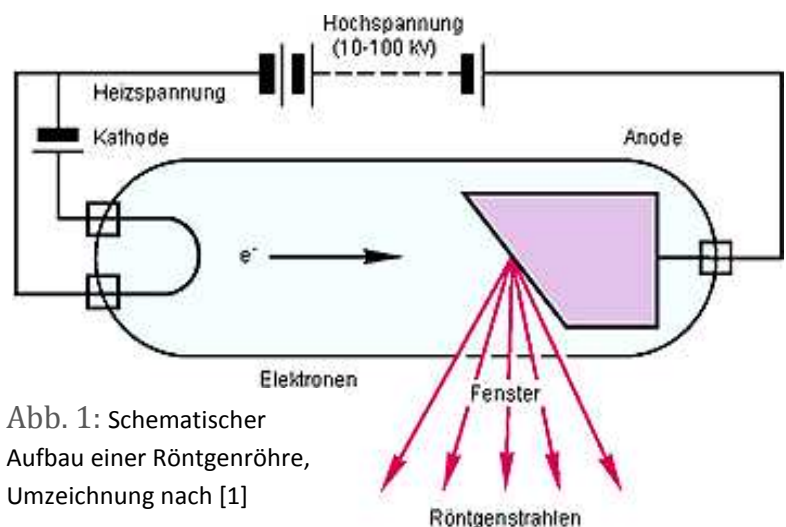


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre, Umzeichnung nach [1]

¹ Tubus: Röhrenvorsatz für das Röntgengerät zur Eingrenzung des Strahlenfeldes

² Photon: in der Quantentheorie das kleinste Energieteilchen einer elektromagnetischen Strahlung

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 in Form von sehr kurzwelligem Strahlen ab. Dies geschieht auf einer ca. 1mm^2 großen Fläche, dem Focus. Je höher die Anodenspannung, desto größer die Fluggeschwindigkeit der Elektronen und desto härtere Röntgenstrahlen entstehen an der Anode. Und je größer der Heizstrom, desto mehr freie Elektronen werden gewonnen. Die am Focus entstandenen Röntgenstrahlen passieren einen Aluminium-Filter, der die nutzlose, weiche Strahlung absorbiert. Anschließend tritt das restliche Strahlenbündel durch ein kleines Austrittsfenster in den Tubus, der gewöhnlich zwischen 15cm und 25cm lang ist und an dessen Öffnung mittels Bleiblen den Strahlungsfeld auf die nötige Größe minimiert werden soll.

Da sich aber Röntgenstrahlen divergierend ausbreiten, bewirkt eine Blende der Größe $3,2\text{cm} \times 4,2\text{cm}$ eben *nicht* ein Strahlungsfeld bei dem Patienten von $3,2\text{cm} \times 4,2\text{cm}$, sondern eines, was sich, wie untenstehend verdeutlicht, mit zunehmendem Abstand von Blende zu Objekt vergrößert (Abb. 2). Auch die Länge des Tubus spielt dabei eine Rolle. Bei gleichbleibender Größe der Tubusöffnung, ändert sich mit dem Abstand vom Focus zur Öffnung bzw. Blende nämlich der Winkel α , in dem die Strahlen austreten (Abb. 3).

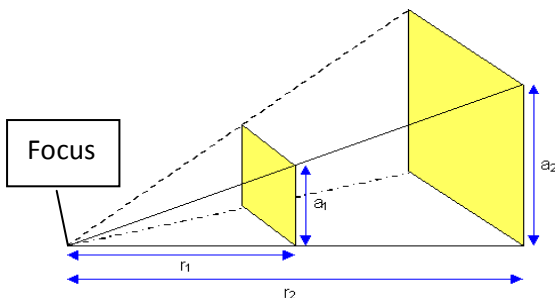


Abb.2: Vergrößerung des Strahlenfeldes mit zunehmendem Abstand (Umzeichnung nach [2])

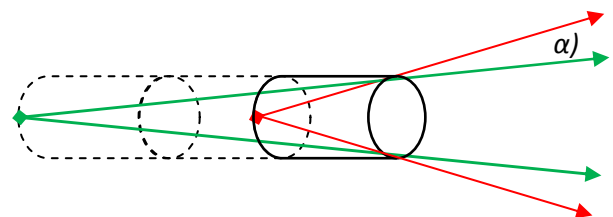


Abb. 3: Vergrößerung des Strahlenfeldes durch Verkürzung des Tubus

Aus diesen zwei Überlegungen heraus stellen sich uns jetzt die Fragen

- *inwieweit* sich das bestrahlte Feld auf dem Patienten verändert, wenn
 - a) der Abstand Tubusöffnung bzw. Blende – Film variiert
 - b) der Abstand Focus – 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 belichtete und
- *inwieweit* das praktisch umsetzbar ist.

II. Hauptarbeit

a) Messungen zum 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.

Den einfachsten Aufbau besitzt ein sogenannter folienloser Zahnfilm. Er 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 gelartige dünne Haftschrift aufgetragen, die die Haftung der lichtempfindlichen Emulsion auf dem Träger garantieren soll. Außenherum wird natürlich 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 Panoramaschichtaufnahmen verwendet werden und in der Lage sind, den gesamten Kiefer abzubilden, sitzen in einer Kassette mit Verstärkerfolien, die die Belichtung des Bildes verstärken.

Auf unser belichtetes, also geschwärztes Bild legten wir zum besseren Größenvergleich der Felder einen ausgepackten Zahnfilm (3,0cm x 4,0cm) und fotografierten die Ergebnisse:

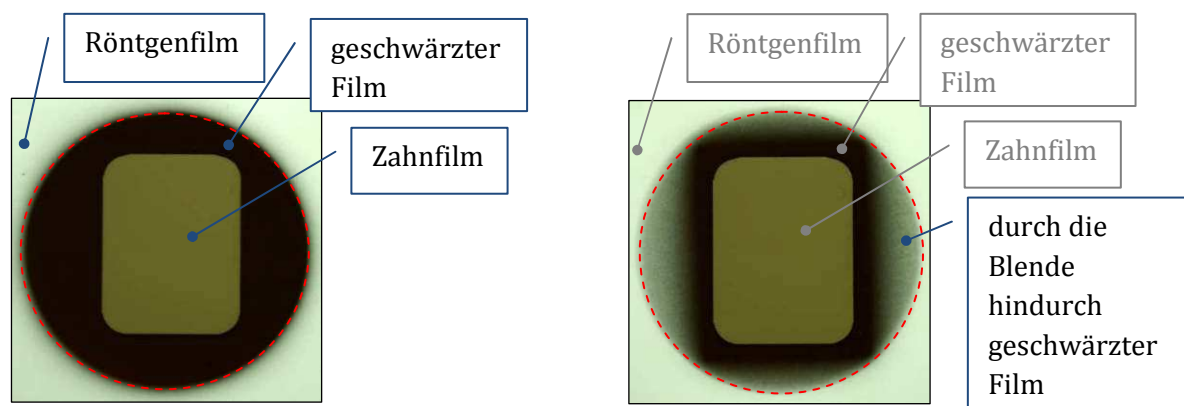


Abb. 4a) und b): Rundtubus, erst ohne, dann mit kommerzieller Blende, dem Film aufgesetzt

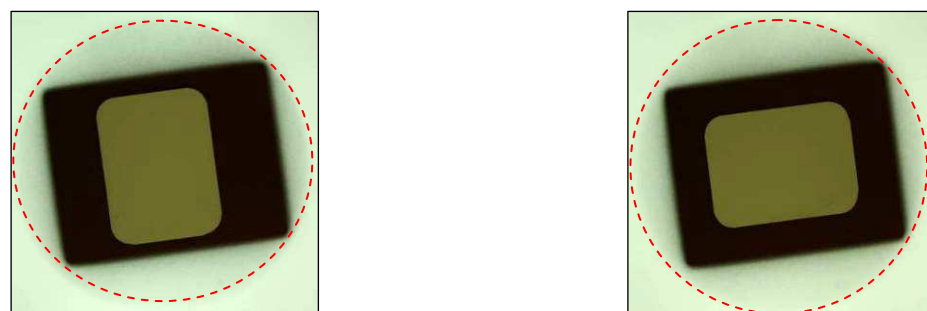


Abb. 5a) und b): Rundtubus mit kommerzieller Blende, im Abstand von 5cm zum Film

Die Abbildung 4a) zeigt eindrucksvoll, dass bereits der auf den Film aufgesetzte übliche Rundtubus ein viel zu großes Feld belichtet und dass auch die üblicherweise verwendeten Blenden (Abb. 4b)) weder die Strahlung komplett absorbieren, noch das Strahlungsbündel auf das nötige Minimum reduzieren. Noch gravierender wird es, wenn man, wie in Abbildung 5a) und b) gezeigt, den Tubus samt Blende in einen Abstand von 5cm zum Film anbringt, was im Praxisalltag ein realistischer Abstand bei Röntgenaufnahmen 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 hier beim Rechtecktubus in Abbildung 6 wird deutlich, dass die anfänglich scheinbar passend zugeschnittenen Maße der Tubenöffnung (3,4cm x 4,3cm) und damit des Bestrahlungsfeldes über eine Distanz von 5cm zum Film deutlich an Größe gewinnen. Anhand dieser Messergebnisse haben wir eine Skizze erstellt (Abb. 7), mittels derer wir uns die physikalischen und geometrischen Zusammenhänge von Tubuslänge, Größe der Tubenöffnung und Größe des Strahlenfeldes zunächst erschließen konnten, um dann Berechnungen zu erheben, die uns sagten, welche Maße eine Blende besitzen müsste und in welchem Abstand sie zum Objekt angebracht werden müsste, damit ausschließlich der Film belichtet werden würde, dieser aber wiederum vollständig und zuverlässig.

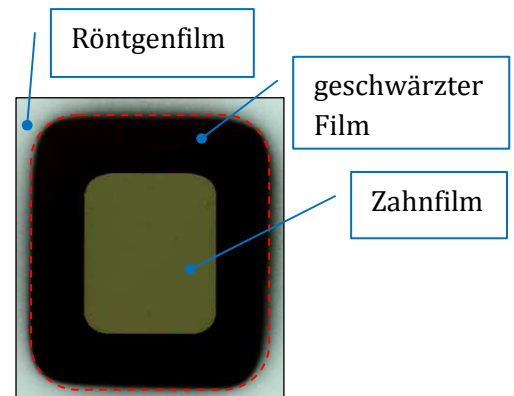


Abb. 6: Rechtecktubus, im Abstand von 5cm zum Film

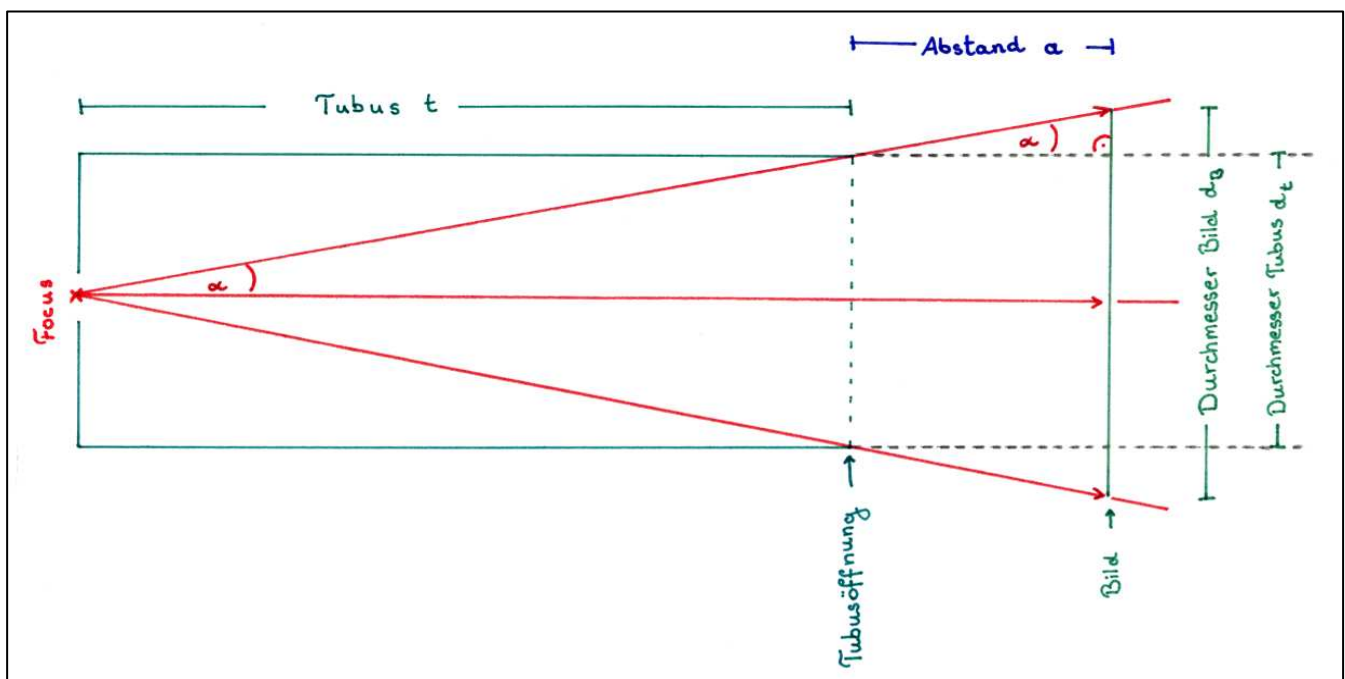


Abb. 7: Skizze von Tubus und Strahlengang

b) Berechnungen und Erläuterungen

Bei gleichbleibender Größe der Tubusöffnung, ändert sich mit dem Abstand Focus – 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 der Skizze 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 , der ein Stufenwinkel ist, mittels des Tangens mit Gegenkathete dividiert durch Ankathete berechnen kann.

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

Die Gegenkathete lässt sich wiederum aus der Differenz von dem Durchmesser des Bildes d_b in Abhängigkeit vom Abstand a und dem Durchmesser des Tubuses d_t berechnen. Diese Differenz halbiert man anschließend, da sie ja, wie auch in der Abbildung sichtbar, auf beiden Seiten gleich groß ist.

Die Ankathete beschreibt den Abstand a von der Tubusöffnung zum Bild. 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 für $\tan(\alpha)$:

$$\tan(\alpha) = \frac{1}{2} \frac{d_{b(a)} - d_t}{a}$$

und

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

Will man nun die Strahlenbelastung reduzieren, indem man den Winkel der Austrittsstrahlen möglichst klein hält, muss man $\tan(\alpha) = 0$ setzen. Dies wäre nur möglich, wenn sich $d_{b(a)} = d_t$ angleichen würde, indem man $a = 0$ setzt oder t unglaublich groß werden würde. Beides ist in der Praxis aber nicht realisierbar. Gut realisierbar hingegen, wäre die über die Eingrenzung der Tubusöffnung d_t bedingte Eingrenzung der Bildfläche d_b . Der Abstand a sei wieder gegebene Größe. Aus der unterstehenden Skizze und den vorangegangenen Rechnungen ergibt sich Folgendes:

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

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

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

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 $d_b = 3\text{cm}$ müsste die Blendenöffnung d_t an einem Tubus der Länge $t = 20\text{cm}$ mit dem Abstand $a = 5\text{cm}$ zum Film exakt 2,4cm breit sein.

Mit diesen Erkenntnissen kommen wir zurück zu unseren Messergebnissen. Wie aus vorangegangenen Abbildungen 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 (siehe Abb.4b)). Wie viel Prozent der Röntgenstrahlung tatsächlich durch eine kommerzielle Blende hindurch strahlen, haben wir herausbekommen, als wir eine Schwärzungskurve der Zahnfilme anfertigten. So eine Schwärzungskurve gibt Auskunft über die Bildqualität und Empfindlichkeit des vorliegenden Materials. Zum Vergleich haben wir einmal den Film direkt belichtet (blaue Punkte mit daraus resultierender violetter Trendlinie) und einmal durch ein Hindernis hindurch, welches die Blende darstellte (rote Punkte mit daraus resultierender oranger Trendlinie), wodurch wir ihre Strahldurchlässigkeit testen konnten. Zum Film ist zunächst zu sagen, dass er einen natürlichen Grauschleier besitzt, da auch bei gar keiner Belichtung eine leichte Schwärzung von ca. 0,3 vorliegt. Ansonsten steigt der Schwärzungsgrad bis zum Wert 2 regelmäßig und annähernd proportional zur Belichtungszeit, was soweit der Regel entspricht. Für die Bestimmung der Schwärzung benutzten wir ein Densitometer, was den Film zwischen einer Lichtquelle und einem Sensor einklemmt und die Lichtdurchlässigkeit des Filmes bestimmt. Angezeigt wird der Wert des dekadischen Logarithmus des Quotienten von eingestrahelter Lichtintensität zu durchgelassener Lichtintensität. Für die Aufnahmen hinter der angeblich strahlendichten Blende erhielten wir, wie vermutet, nennenswerte Messergebnisse. Insgesamt fielen die Kurven wie folgt aus:

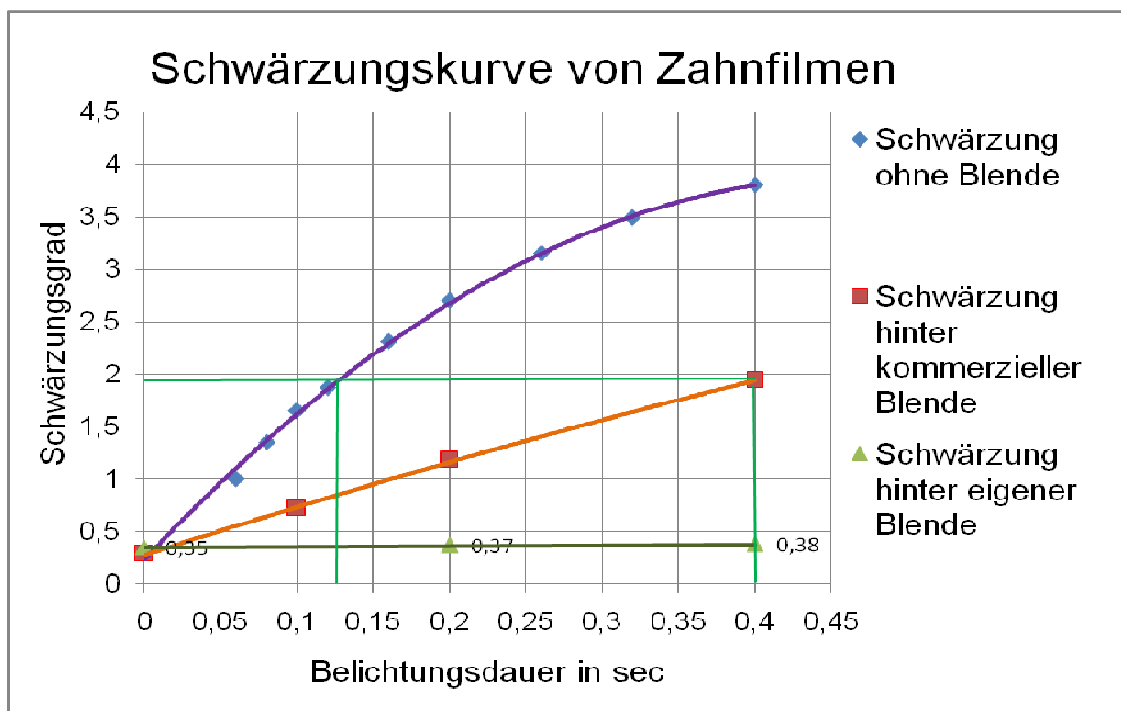


Abb. 8: Schwärzungskurve von Zahnfilmen ohne Blende und durch kommerzielle Blenden hindurch, sowie hinter unserer eigenen Blende

Die grünen Verbindungslinien dienen der besseren Übersicht. Der Wert 0,4sec ist beispielsweise mit dem von 0,13sec auf einer Höhe, was bedeutet, dass die gleiche Schwärzung des Films einmal innerhalb von 0,13sec und einmal mit 0,4sec Bestrahlung erzielt werden kann. 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 Blenden absorbiert also die überflüssige Strahlung nur zu zwei Drittel.

c) Überprüfung der ersten 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. Es wurde zum besseren Vergleich immer ein Abstand von 5cm 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 $d_{Rundtubus}$ beträgt im Abstand $a = 5cm$ zum Film 7,9cm. Mit der Formel: $A_{Kreis} = \pi r^2$ ergibt sich eine Fläche $A_{Rundtubus} = 49,01cm^2$. Setzen wir diese gleich 100%, erhalten wir durch Dreisatzumformungen der Gleichung

$$\frac{49,01cm^2}{100\%} = \frac{12cm^2}{x\%}$$

für unsere Filmfläche $A_{Film} = 24,48\%$. Es werden also nur 24,48% der bestrahlten Fläche sinnvoll für den Bildaufbau genutzt.

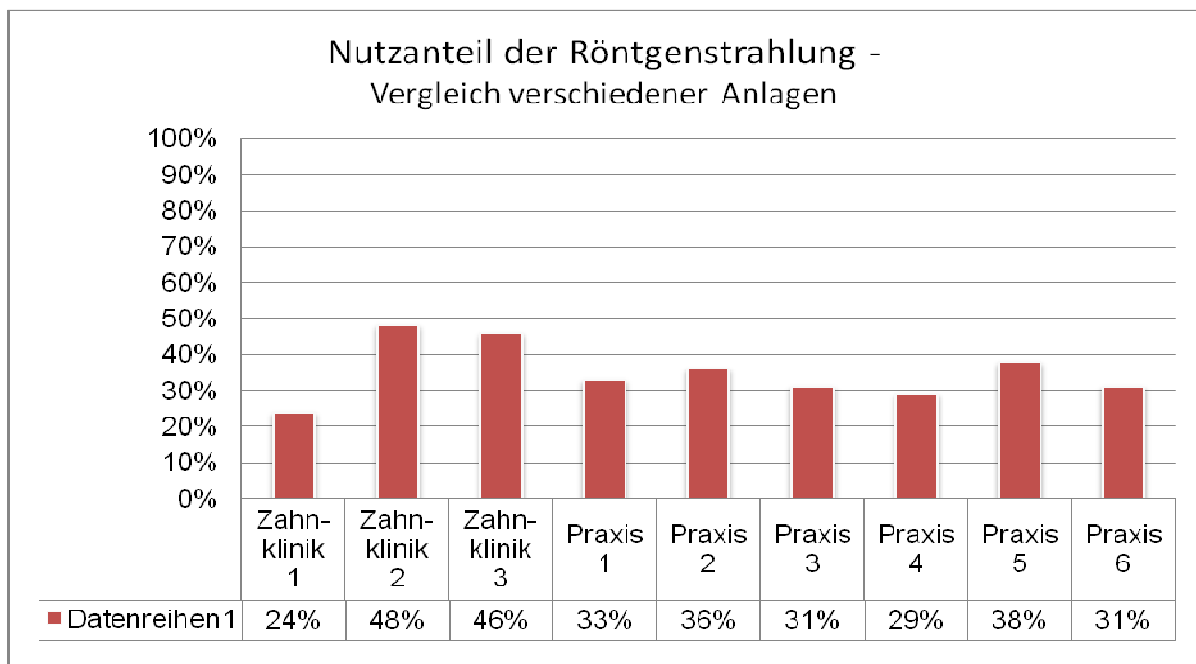


Abb. 9: Vergleich des Nutzanteils der Röntgenstrahlung in unterschiedlichen Einrichtungen

Erläuterung:

- | | |
|---|---------------------------|
| - Zahnklinik 1: Rundtubus ohne Blende | - Praxis 1-4: Rundtubus |
| - Zahnklinik 2: Rundtubus mit Blende | - Praxis 5: Rechtecktubus |
| - Zahnklinik 3: Rechtecktubus ohne Blende | - Praxis 6: Rundtubus |

d) Zwischenergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass zum Ersten die Situation in den Praxen, was die maximale Nutzung des Strahlenfeldes betrifft, mindestens genauso unzureichend ist, wie die der verschiedenen Abteilungen in der Zahnklinik. Die vorangegangenen Messungen als Grundlage für eine intensive Beschäftigung mit der Reduktion der Strahlenbelastung bei dentalen Röntgenaufnahmen zu nehmen, erweist sich also als angemessen. Zum Zweiten werden, wie aus den Werten „Praxis 1-4; 6“ ersichtlich wird, hauptsächlich Rundtuben verwendet, die durch ihren großen Durchmesser eine besonders große Fläche des Patienten unnötig bestrahlen. Zum Dritten werden – zu unserem Erstaunen – kaum Blenden verwendet, da sich sonst die Werte der Versuchspraxen im Bereich der „Zahnklinik 2“ befinden müssten. Zum Vierten macht es von der Größe des Feldes keinen Unterschied, ob digital oder noch schlicht analog geröntgt 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 wurde, der als Speicherkarte fungiert und im Gegensatz zum Röntgenfilm immer wieder verwendet werden kann. Ansonsten hat sich weder an der Röntgenapparatur noch an der Tubusgröße oder den Blenden etwas geändert! Der digitale Sensor ist sogar etwas kleiner, als der altertümliche Zahnfilm, sodass beim Röntgen mindestens der gleiche Strahlenanteil nicht zum Röntgenbild beiträgt!

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 gesundheitsfreundlicher ist die Röntgenuntersuchung für den Patienten. Allerdings sind bis zu 65% überflüssiger Strahlung kaum durch eine kürzere Belichtungszeit kompensierbar.

e) Umbauten am Tubus und Schwierigkeiten

Wir fingen nun an, anhand unserer voran gegangenen Berechnungen und der Testergebnisse einen ausrangierten Tubus nach unseren Vorstellungen umzubauen. Da wir die Experimente zur Verbesserung des Tubus unmöglich alle nur mit Röntgenstrahlung durchführen konnten, standen wir zunächst vor dem Problem, eine geeignete Lichtquelle zur Simulation der Strahlung zu entwickeln. Daher bauten wir uns aus einer weißen LED selbst eine Strahlenquelle, die am Ort des Fokus der Röntgenröhre positioniert wurde. Diese Simulationseinrichtung hatte zudem 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. Allerdings erwies es sich als schwieriger als gedacht, die LED zentriert und im gleichen Abstand, wie die tatsächliche Strahlenquelle der Röntgenanlage ist, an unserem Tubus anzubringen. Wir behelfen uns mit einer alten Fotofilmdose als entsprechende Verlängerung und Abdruckmasse zur Befestigung. Sobald die Apparatur funktionierte, erstellten wir unsere ersten eigenen Blenden aus Pappkarton, was problemlos funktionierte. Bei unserer Bleibleuchte 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, einerseits aus Neugierde, welche Verbesserung man erzielen könnte, wenn man sich bei der Justierung genügend Zeit nehmen würde sehr genau vorgehen und andererseits, um die Abweichung vom Idealwert besser abschätzen zu können. Zu unserer 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 deutlich zu zeitaufwendig ist.

Die nächsten erstellten Blenden beinhalteten demzufolge einen Karenzraum von ca. 0,5mm senkrecht und waagrecht, was im Abstand von mindestens 5cm zum Film die Treffsicherheit der Strahlung auf den Film garantierte. Die überschüssige Strahlenbelastung beträgt dabei noch unter 10%, wie wir anhand der folgenden beiden Abbildungen verdeutlichen wollen. Dabei haben wir mit unserem umgebauten Tubus wie gewohnt belichtet und zum Größenvergleich einen ausgepackten Zahnfilm (3,0cm x 4,0cm) auf das geschwärzte Feld gelegt.

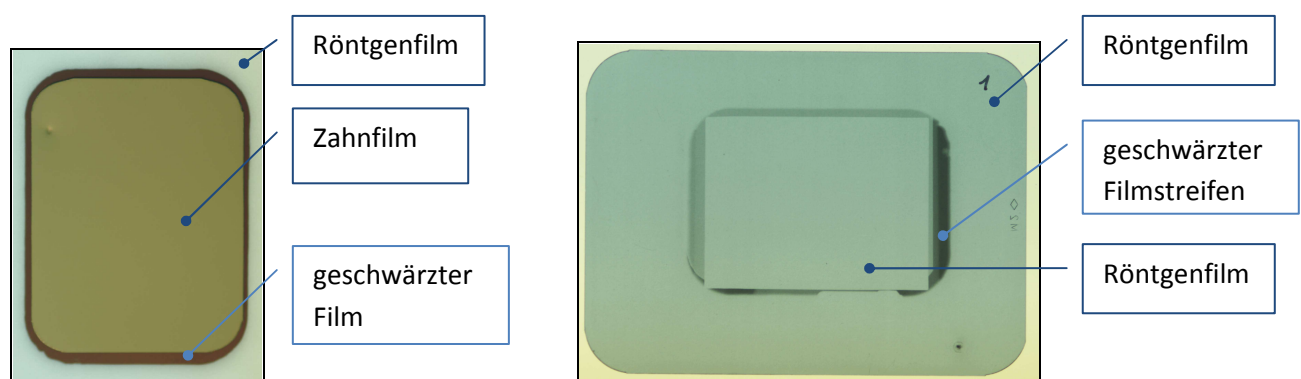


Abb. 10a) und b): Schwärzung beim Tubus mit eigener Blende, im Abstand von 7cm zum Film, sowie hinter dem Filmhalter

Außerdem verdickten wir die Bleischicht unserer Blende auf 2mm, sodass zukünftig keine Strahlung vorzufinden ist, wo keine hingehört. Natürlich haben wir das mittels der vorhin bereits vorgestellten Schwärzungskurve (siehe S. 8, Abb. 8) überprüft. Wie anhand der untersten grünen Kurve zu erkennen ist, haben wir durch unsere eigene Bleiblende hindurch belichtet und tatsächlich keinen Anstieg mehr gemessen.

Was als nächstes anstand, war die Verbesserung der wackeligen Halterung und besonders die Vereinfachung der Handhabung, damit sich zukünftig die Reduzierung der Strahlenbelastung mittels Blendensystemen endlich 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. Damit ist zwar keine Paralleltechnik³, wie sie im Lehrbuch steht, garantiert, aber zumindest liegt der Zahnfilm in der richtigen Position und die Blende befindet sich ungefähr in der richtigen Ebene. Wir wollten an der gewohnten Reihenfolge des Zusammenmontierens möglichst wenig ändern, auch um die Ablehnung der Neuerung wegen möglicherweise aufwendigem Umlernen zu vermeiden. Statt der Einfädung in ein Halterungsloch überlegten wir uns, den Filmhalter besser einer Kunststoffkante anzulegen und dann mittels eines Schwenkhebels zu arretieren. Durch die lange Kante erzielt man eine viel bessere Stabilität und hat zudem genügend Platz zum einfachen Anlegen des Halters. Die schwebende Blende haben wir direkt auf die Tubusöffnung geklebt. 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 doch sehr wichtig ist. Weiterhin garantiert unsere feste Verbindung vom Tubus zum Film, dass die Paralleltechnik zur Geltung kommt und das Bild nicht verzerrt wird. Die Tauglichkeit unserer Apparatur sollen folgende Fotos zeigen:



Abb. 11: Panoramaansicht der gesamten Röntgenanlage mit modifiziertem Tubus samt Blende und eingespanntem Filmhalter

³ Paralleltechnik: Ausrichtung des Zahnfilms hinter dem Zahn in dessen paralleler Achse und Positionierung des Zentralstrahls der Röntgenstrahlung in rechten Winkel dazu; garantiert eine korrekte Abbildung der Größenverhältnisse des Zahns

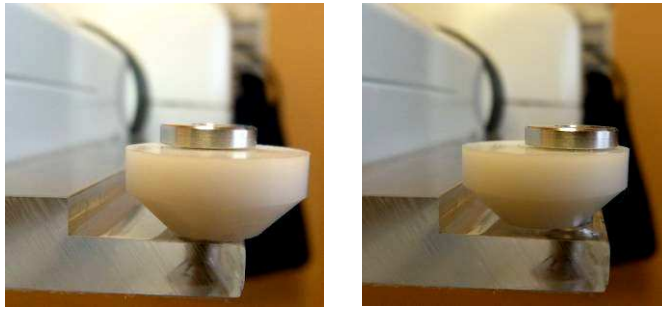


Abb. 12a) und b): Schwenkhebelmechanismus zum Festklemmen des Filmhalters, nur Stellschraube gezeigt (a) geöffnet, b) geschlossen)



Abb. 13a) und b): Patientin erst nur mit Filmhalter, dann mit arretiertem Tubus und Röntgenanlage

III. 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 Zahnfilmaufnahmen bei Erwachsenen haben wir mit unseren Blendenmaßen 2,2cm x 3,0cm eine gute Grundlage für strahlenbewusstes Röntgen geschaffen. Dabei haben wir zur Sicherheit einen mit 7cm etwas größeren Abstand a vom Tubus zum Film eingebaut. Damit erhalten wir eine bestrahlte Fläche $A = 3,1\text{cm} \times 4,1\text{cm}$. Bei unserer Filmgröße von 12cm^2 macht die überschüssige Strahlung – anhängig 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 Bleiblende in etwa der der Kinderblende mit $1,6\text{cm} \times 2,8\text{cm}$ – 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 Zahnfilmaufnahmen einsetzbar, wie wir mit dem untenstehenden Bild zeigen

wollen. Nach Einverständniserklärung des Strahlenschutzbeauftragten, sowie unter Aufsicht eines Radiologen durften wir dieses Röntgenbild an einem Patienten der Zahnklinik erstellen:

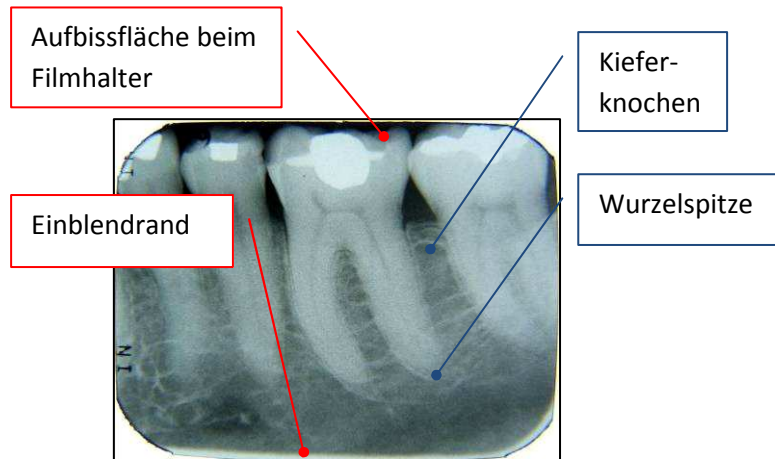


Abb. 14: Röntgenaufnahme von Prämolaren und Molaren im Unterkiefer

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 abgelichtet – damit sind wir absolut zufrieden! 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.“⁴ erfüllt.

IV. Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Prof. Gente, der uns nicht nur an die entsprechende Literatur heranführte, sondern trotz Vorlesung und Studentenbetreuung jederzeit erreichbar war und sehr geduldig auf jede unserer Fragen und Bitten einging. Weiterhin bedanken wir uns bei Herrn Heimann und der Röntgenabteilung der Zahnklinik, die uns hilfsbereit ihre Apparaturen für alle Testaufnahmen zur Verfügung stellten und uns nahtlos während des Patientenbetriebs einfügten. Abschließend seien die Praxen erwähnt, die uns erlaubten, unsere Messungen zu vervollständigen.

⁴ Röntgenverordnung RöV vom 18.06.2002, §2 „Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung“, Absatz 2

V. Literaturverzeichnis

- Friedrich A. Pasler, Heiko Visser
Taschenatlas der Zahnärztlichen Radiologie
Thieme-Verlag; Stuttgart 2003
- Friedrich A. Pasler
Zahnärztliche Radiologie
Thieme-Verlag; Stuttgart 1998, 2. überarbeitete Auflage
- Volker Harms
Physik für Mediziner und Pharmazeuten
Harms-Verlag; Lindhöft 2006, 17., überarbeitete Auflage
- Kentzler-Kaschner Dental GmbH
Leitfaden Manual, RWT Filmhaltersysteme für die Rechtwinkel-/Paralleltechnik
Geschäftsbereich KKD; Ellwangen/Jagst 2010
- Röntgenverordnung
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen
BGBl. 2002 I Nr. 36; vom 18.06.2002
- [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