

Universitätsklinikum Ulm

Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Leiter: Prof. Dr. Dr. Stephan Haase

**Vergleichende Analyse intraoraler Röntgenaufnahmen bei
abweichender Zentralstrahlangulation**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Benjamin F. Sailer

Ulm

2011

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: PD Dr. M.-A. Geibel

2. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Kratzer

Tag der Promotion: 14.06.12

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	6
2.1. Vorbereiten der Präparate	6
2.2. Schneiden der Präparate	7
2.3. Verwendete Geräte	8
2.3.1. Verwendete Röhren	8
2.3.2. Verwendeter Monitor und Software	9
2.3.3. Verwendeter Sensor	9
2.4. Versuchsaufbau	10
2.5. Versuchsdurchführung	14
2.6. Statistik	17
3. Ergebnisse	18
3.1. Präparat A Vergleichsergebnisse	18
3.1.1. Mit Haltertechnik	21
3.1.1.1. Untersuchung auf Karies	21
3.1.1.2. Untersuchung des Kronenrandes.....	23
3.1.2. Ohne Haltertechnik	24
3.1.2.1. Untersuchung auf Karies	25
3.1.2.2. Untersuchung des Kronenrandes.....	27
3.2. Präparat B Vergleichsergebnisse	29
3.2.1. Mit Haltertechnik	32
3.2.1.1. Untersuchung auf Karies	32
3.2.1.2. Untersuchung des Kronenrandes.....	35
3.2.2. Ohne Haltertechnik	37
3.2.2.1. Untersuchung auf Karies	37
3.2.2.2. Untersuchung des Kronenrandes.....	39
4. Diskussion	41
4.1. Methodenkritik	41
4.2. Auswertung der Darstellung der Sekundärkaries	42

4.3. Auswertung der Darstellung der insuffizienten Kronenränder	47
4.4. Auswirkungen auf den Strahlenschutz	50
5. Zusammenfassung	52
6. Literaturverzeichnis.....	54
7. Danksagung.....	60
8. Lebenslauf	61

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CCD	Charge-coupled Device
cd	Candela
cd/m²	Leuchtdichte
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
insuff.	insuffizient
kV	Kilovolt
LCD	Liquid Crystal Display
mA	Milliampere
MKG	Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
mm	Millimeter
MTRA	Medizinisch Technische/r Radiologieassistent/in
n	Anzahl der untersuchten Präparate
OK	Oberkiefer
PC	Personal Computer
QM	Qualitätsmanagement
Rö-Strahl	Röntgenstrahl
s	Sekunden
sek. C	Sekundärkaries
Tab.	Tabelle

UK Unterkiefer

ZFA Zahnmedizinische/r Fachangestellte/r

1. Einleitung

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen geht bis ins Jahr 1895 zurück, als Wilhelm Conrad Röntgen eine, bis zu diesem Zeitpunkt unbekannte, elektromagnetische Strahlung entdeckte, die er selbst X-Strahlen nannte. Für diese Leistung wurde er 1901 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet (Laubenberger 1990). Röntgenstrahlung entsteht in einer evakuierten Röntgenröhre an die eine Spannung angelegt wird. Durch das Erhitzen der Kathode treten Elektronen aus und werden zur Anode hin beschleunigt. Beim Auftreffen auf die Anode werden diese Elektronen so stark abgebremst, dass sie ihre Energie in Form von elektromagnetischen Wellen aussenden, den Röntgenstrahlen (Eickhoff 2002).

Die neue Strahlungsart konnte dazu genutzt werden, um in den menschlichen Körper zu blicken und wurde daraufhin in den verschiedensten Bereichen der Medizin angewendet. Somit entstanden durch Otto Walkhoff mittels einer Belichtungszeit von 25 Minuten und durch Frank Harrison mit 10 Minuten die ersten intraoralen Röntgenbilder. Diese Aufnahmen waren jedoch von minderwertiger Qualität und aufgrund dessen diagnostisch irrelevant. Es ist aber zu erwähnen, dass jeglicher kariesdiagnostische Aspekt zur damaligen Zeit nicht in die Betrachtung mit einbezogen wurde (Serman und Singer 1995).

Heute werden drei unterschiedliche Arten von intraoralen Röntgenaufnahmen verwendet, die im folgenden Abschnitt erläutert werden. Die apikalen Aufnahmen zeigen den ganzen Zahn und zielen auf eine Diagnostik des Wurzelspitzenareals ab. Sie werden deshalb häufig bei endodontischen Fragestellungen angefertigt. Die okklusalen Röntgenbilder werden bei Kindern mit zu schmalen Mund und bei Erwachsenen als zusätzliche Ebene zu den apikalen Aufnahmen erstellt (Bernaerts et al. 2006). Bei der approximalen Kariesdiagnostik sind vor allem die Bissflügel aufnahmen von entscheidender Bedeutung (Pitts 1983). Hierzu ist ein spezieller Film oder Halter von Nöten, der ein Plateau besitzt auf das der Patient beißen kann. An dieser Aufbissvorrichtung befindet sich im rechten Winkel der Film oder der Sensor. So erhält man ein Röntgenbild auf dem nur die Kronenanteile der OK- und UK-Seitenzähne dargestellt sind (Bernaerts et al. 2006). Die Kariesdiagnostik der Bissflügel aufnahmen zielt vor allem auf die Approximalräume der

Zähne ab. Diese Art der intraoralen Aufnahmen ist somit ein wichtiges Hilfsmittel bei klinisch schwierig erfassbaren Oberflächen (van Aken 1966).

Um ein Röntgenbild anzufertigen, können verschiedene Techniken verwendet werden. Die Priorität liegt hier bei der Paralleltechnik. Hierzu wird der Film oder der digitale Empfänger parallel zur Zahnlängsachse in die Mundhöhle eingebracht. Der Zentralstrahl der Röhre wird so ausgerichtet, dass er im 90° Winkel auf die Bildebene und somit auch auf die Zahnachse trifft. Dadurch ist gewährleistet, dass das Bild nicht verzerrt wird. Um diese Geometrie zu vereinfachen, wird häufig eine Positionierungshilfe, ein sogenannter Halter, benutzt. Durch die Haltertechnik fällt der Zentralstrahl auch bei exzentrischen Winkeln immer parallel auf den Sensor, was bei der Technik ohne Halter nicht der Fall ist. Im Unterkiefer ist es eher möglich auch ohne den Halter die Paralleltechnik anzuwenden. Es wird jedoch empfohlen den Halter zu verwenden, da die Paralleltechnik so leichter umzusetzen ist (European Commission 2004). In der Praxis kommt es häufig dazu, dass der Empfänger nicht parallel zur Zahnachse ausgerichtet werden kann. In diesem Fall wird die Paralleltechnik modifiziert, was dann als Rechtwinkeltechnik bezeichnet wird. Hierbei trifft der Zentralstrahl der Röhre durch den Halter noch immer im 90° Winkel auf den Empfänger, auch wenn dieser nicht mehr parallel zur Zahnachse steht (Pasler 2008 b).

Falls aus bestimmten Gründen ein Verzicht auf den Halter vorliegt, sollte dies dokumentiert werden, da die Verwendung des Halters aufgrund der QM Richtlinie der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Ulm vorgeschrieben ist (Geibel 2010). Der Verzicht beruht vor allem darauf, dass ein Großteil der Patienten den Halter im Mund nicht toleriert und dies somit die Sensorpositionierung erschwert (Petrikowski 2005). Ist es aus anatomischen Gründen nicht möglich, den Empfänger parallel zur Zahnachse auszurichten und den Halter anzuwenden, wird die Halbwinkeltechnik verwendet (Abb. 1). Der Zentralstrahl trifft hier im 90° Winkel auf eine imaginäre Ebene, die durch die Winkelhalbierende des Winkels zwischen der Zahnlängsachse und der Bildebene entsteht (Düker 2006 c). Vor allem im Oberkiefer wird diese Technik durch den von der Zahnachse abweichenden Gaumenverlauf häufig genutzt.

geöffneten Mund direkt mit dem PC verbunden ist. Somit ist eine zusätzliche Zeitersparnis zur Speicherfolie gegeben (Petrikowski 2005).

Bei der Herstellung von Bissflügelaufnahmen ist darauf zu achten, dass bestimmte Einstellungen eingehalten werden, damit das erhaltene Bild gut zu befunden ist. Die in diesem Zusammenhang häufigsten Einstellungsfehler der analogen Technik wurden in einer Studie aus dem Jahre 1979 erfasst. 49,9% aller Fehler waren auf eine inkorrekte Positionierung des Films zurückzuführen, bei 20,8% wurden die Filme aufgrund einer Fehleinstellung des Röntgenstrahls durch eine falsch positionierte Röhre nur teilweise belichtet und 12,5% der Fehler beruhten auf einer inkorrekten vertikalen Angulation des Röntgenstrahls. Es wurde zusätzlich festgestellt, dass der Großteil der Fehler in der vertikalen Angulation und die meisten Gesamtfehler im Molarenbereich des Unterkiefers entstanden sind (Patel 1979). Nysether und Hansen fiel zudem auf, dass die horizontalen, genau wie die vertikalen Angulationen des Zentralstrahls bei analogen Aufnahmen häufig fehlerbehaftet waren (Nysether und Hansen 1983). Durch abweichende Angulationen der Röhre können Bilder entstehen, die die Realität falsch wiedergeben. So können durch vertikale und horizontale Winkel die Restaurationen der Zähne auf den analogen Bildern an einer anderen Stelle abgebildet werden, als dort, wo sie sich in Wirklichkeit befinden (Thunthy 1986). Aus diesem Grund entstehen an Kronen falsch positiv insuffiziente Restaurationsränder auf den Aufnahmen. Die fehlerhaften Angulationen führen zusätzlich zu Artefakten und somit zu einer minderwertigen Kariesdiagnostik. Durch falsch positive Befunde kann es zu einer restaurativen Behandlung des Patienten kommen, obwohl dieser keine benötigt. Espelid nennt diesen Fall in seiner im Jahre 1986 veröffentlichten Studie eine „Überbehandlung“. Er weist darauf hin, dass es von besonderer Wichtigkeit ist, diese Art der Fehlbehandlung zu minimieren (Espelid 1986). Im Falle der vorliegenden Studie wurden Zähne mit einer Goldkrone als Restaurationsart untersucht. Eine falsch positive Sekundärkariesdiagnose könnte in der Klinik zu einer Erneuerung der Restauration führen. Durch ein gut befundbares Röntgenbild wird diese Gefahr oder die einer ausbleibenden Behandlung verringert. Um die Erstellung eines befundungsfähigen Röntgenbildes zu gewährleisten verlangt es ein hohes Maß an Ausbildung und technischem Know-how.

Die vorausgegangenen Untersuchungen von 1970 bis Mitte der 80er Jahre wurden an analogen Zahnfilmen durchgeführt. Aus diesem Grund bestand das Ziel der vorliegenden Arbeit darin, festzustellen, wie die Qualität der digitalen Röntgenbilder durch bestimmte Faktoren beeinflusst wird, damit diese Einflüsse bei der Erstellung einer intraoralen

Aufnahme minimiert werden können und so eine der Realität entsprechende Diagnose zulassen. Hierzu wurden folgende Fragestellungen untersucht:

Erstens: Wie wirkt sich eine horizontale und eine vertikale Angulation des Zentralstrahls auf die Diagnose der Sekundärkaries und des insuffizienten Kronenrandes an einer metallischen Restauration im Approximalbereich aus? Hierzu wurden digitale Aufnahmen mithilfe eines intraoralen Sensors mit exzentrischen Winkeln angefertigt.

Zweitens: Haben unterschiedliche Röhrensysteme einen Einfluss auf die Diagnose der Sekundärkaries oder des Kronenrandes? In diesem Zusammenhang wurden drei Röhren unterschiedlicher Hersteller zur Anwendung gebracht (siehe 2.3.1.).

Drittens: Wirkt sich die Verwendung des Halters positiv auf die Qualität der Diagnose aus? Um dies zu klären wurden alle Aufnahmen jeweils mit und ohne Halter erzeugt.

2. Material und Methoden

2.1. Vorbereiten der Präparate

Zum Zwecke dieser Arbeit wurden zwei, in Formalinlösung konservierte, Körperspender vom Institut für Anatomie und Zellbiologie bereitgestellt. Der positive Bescheid der Ethikkommission lag zum Studienbeginn vor (Antrag 195/10). Den Spendern wurden die Mandibula mit den dazugehörigen Weichgeweben, Wange und *Glandula parotidea*, entnommen, welche als Präparate der Versuchsreihen genutzt wurden. Das Einschlusskriterium für die Auswahl der Präparate war ein im 4. Quadranten vollbezahnter Unterkiefer mit einem Seitenzahn, der in beiden Approximalräumen eine metallische Restauration hatte. Mindestens eine dieser Restaurationen sollte zusätzlich noch eine Sekundärkaries und einen überstehenden Kronenrand in einem Approximalraum aufweisen. Zur Verbesserung der visuellen Darstellung einer eventuell vorhandenen Sekundärkaries, wurden die Zähne mit Caries Detector (Kuraray Medical Inc.) (Abb. 2) eingefärbt.



Abbildung 2: Verwendeter Caries Detector

Aufgrund der Gewährleistung eines identischen Versuchsaufbaus und -ablaufs bei beiden Präparaten und der Tatsache, dass eine beginnende Karies auf analogen Aufnahmen im Molarenbereich doppelt so häufig unentdeckt bleibt wie im Prämolarenbereich (Eli et al. 1996), wurde Zahn 46 ausgewählt.

Es war dadurch möglich den Sensor in allen Versuchen so zu positionieren, dass der Kronenbereich und die Approximalräume des Zahns immer vollständig auf der Aufnahme zu sehen waren. Es war auch sichergestellt, dass der Zentralstrahl immer durch den Zahn 46 verlief und diesen am schärfsten abbildete. Alle Bereiche, die nicht in unmittelbarer Nähe des Zentralstrahls liegen, werden aufgrund der Divergenz der Strahlen aus der punktförmigen Strahlenquelle verzerrt wiedergegeben (Düker 2006 b).

2.2. Schneiden der Präparate

Nach Durchführung der Röntgenaufnahmen wurden die Mandibeln in mesio-distaler Richtung mit Hilfe einer diamantierten Säge entlang des Kieferkamms getrennt. Hierdurch entstanden jeweils zwei Hälften des zu untersuchenden Zahns 46. Jede Hälfte wurde wiederum mittels eines feinkörnigen Sandpapiers (Körnung 800) um 0,3 mm in oro-vestibulärer Richtung abgeschliffen. Dieser Vorgang wurde dreimal wiederholt und zwischen jedem Schritt ein bis drei Bilder aufgenommen. So entstanden 12 Bilder, jeweils für jedes Präparat (siehe 3.1 und 3.2). Diese Bilder stellen somit rückwirkend die klinische Situation vor Anfertigung der Zahnschnitte dar (Tab. 1).

Tabelle 1: Klinische Situation der Präparate A und B (verifiziert durch die Schnittbilder)

Präparat	Zahn 46 mit sek. C	Zahn 46 mit insuff. Kronenrand
A	nein	ja, mesial und distal
B	ja, mesial	ja, mesial und distal

2.3. Verwendete Geräte

2.3.1. Verwendete Röhren

Zur Anfertigung der Röntgenaufnahmen wurden drei Röhren unterschiedlicher Hersteller verwendet (Tab. 2).

Tabelle 2: Verwendete Röhren, Hersteller und technische Daten

Röhre	Röhrenspannung	Röhrenstrom	Brennpunktgröße	Bestrahlungszeiten
Heliodent DS (Sirona)	60 kV konstant	7 mA konstant	0,7 mm	0,01-3,2 s
Gendex Expert DC (KaVo)	65 kV konstant	7 mA konstant	0,4 mm	0,02-2,0 s
Focus (KaVo)	60 oder 70 kV	7 mA konstant	0,7 mm	0,02-3,2 s

(Sirona 2005, KaVo 2007, Instrumentarium Dental 2011)

Es sollte untersucht werden, ob sich die Verwendung einer anderen Röhre positiv oder negativ auf die Darstellung der Sekundärkaries und des überstehenden Kronenrandes auswirkt. Von besonderem Interesse ist hierbei die Brennpunktgröße. Sie beträgt bei der Röhre Heliodent 0,7 mm, bei der Röhre Gendex Expert DC 0,4 mm und bei der Focus wiederum 0,7 mm. Da durch einen kleineren Brennfleck schärfere Bilder erzeugt werden (Düker 2006 a), liegt die Vermutung nahe, dass die Gendex Expert DC die am besten diagnostizierbaren Aufnahmen liefert.

Der Fokus-Objekt-Abstand trägt zusätzlich zur Qualität des Bildes bei und wurde deshalb bei allen Aufnahmen konstant bei 30 cm gehalten. Andere Einflüsse, die das Bild eventuell verändern könnten, sollten sicher ausgeschlossen werden, damit der spätere Vergleich durchgeführt werden konnte. Dies war jedoch aufgrund der unterschiedlichen Systeme nicht immer exakt möglich. Die Röhrenspannung sollte gleichbleibend bei 60 kV gewählt

werden, was jedoch bei der Gendex Expert DC nicht einstellbar war und somit nur die konstante Röhrensorgung von 65 kV genutzt wurde. Es wurde anhand konventioneller Aufnahmen nachgewiesen, dass die Kariesdiagnostik zu besseren Ergebnissen führt, wenn eine niedrige Kilovoltzahl verwendet wird. Der optimale Wert hierfür wird mit 53 kV angegeben (Svenson und Petersson 1989). Da die Richtlinien zum Röntgenschutz in der zahnärztlichen Radiologie eine Spannung von 60-70 kV angeben, befinden sich die vorliegenden Untersuchungen im Rahmen dieser Vorgabe (European Commission 2004). Weiterhin konnte die angestrebte Aufnahmezeit von 0,12 s bei der Röhre Focus nicht eingestellt werden, weshalb die Bestrahlungszeit in diesem Fall 0,125 s betrug. Die genannte Belichtungszeit wurde in Absprache mit den MTRAs der MKG-Abteilung der Universität Ulm festgelegt. Es wurde die an der Universität am häufigsten verwendete Aufnahmezeit im UK-Molarenbereich erwachsener Patienten eingestellt.

2.3.2. Verwendeter Monitor und Software

Zur Erstellung der Diagnosen wurde die PC-Software VixWinPro (KaVo Dental) verwendet. Auf die verschiedenen Bearbeitungsmöglichkeiten zur Optimierung der Röntgenaufnahmen wurde verzichtet, damit ein Vergleich der Röntgenaufnahmen möglich war. Als Befundungsmonitor wurde der LCD-Bildschirm Sync Master 940 T (Samsung) mit folgenden Spezifikationen herangezogen:

Kontrast: 1500:1

Auflösung: 1280x1024 Pixel

Bildschirmdiagonale: 19 Zoll

Leuchtdichte: 250 cd/m²

2.3.3. Verwendeter Sensor

Während der Erstellung dieser Arbeit befand sich das Speicherfoliensystem in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie noch in Erprobung. Aus diesem Grund wurden alle Röntgenaufnahmen mit einem Sensor angefertigt.

Bei dem Sensor handelt es sich um das System Gendex Visualix eHD (Ergonomics and High Definition). Im Inneren des Sensors befindet sich eine Kapsel mit einem CCD-Chip. Die Oberfläche dieser Kapsel ist mit einer Szintilatorschicht überzogen, welche die einfallenden Röntgenphotonen in Lichtphotonen umwandelt, was dann wiederum in elektrischer Ladung auf dem Chip resultiert (European Commission 2004; van der Stelt 2005). Zwei unterschiedlich große Sensoren sind im Handel erhältlich. Bei den hier vorliegenden Untersuchungen wurde jedoch nur die Größe 40,5 mm x 33 mm x 7 mm verwendet, da diese am häufigsten im Bereich der unteren Molaren angewendet wird. Für die Haltertechnik wurde zusätzlich noch eine spezielle Positionierungshilfe (RINN intraorale Positioniervorrichtung) benötigt (Abb. 4 & 5). Es handelt sich dabei um einen Kunststoffring, der über einen Metallbügel an einer Kunststoffhalterung, die den Sensor trägt, befestigt ist. Dadurch wird gewährleistet, dass der Zentralstrahl immer senkrecht auf den Sensor fällt. Grundsätzlich sind vier unterschiedliche, farblich gekennzeichnete Halter verwendbar, die für verschiedene Einsatzbereiche vorgesehen sind (Tab. 3). Aufgrund der Fragestellung dieser Arbeit wurde nur der gelb markierte Halter in den Versuchen benutzt.

Tabelle 3: Unterschiedliche Halter und ihre jeweiligen Anwendungsbereiche

Halterfarbe	Anwendungsbereich
Blau	Aufnahmen im Frontzahnbereich
Gelb	Aufnahmen im Molarenbereich
Grün	endodontische Aufnahmen
Rot	Bissflügelaufnahmen

(KaVo 2004)

2.4. Versuchsaufbau

In diesem Versuch wurde ein Gradbogen aus Plexiglas vertikal aufgestellt. Die feuchte Mandibula mit Weichgeweben wurde in einem Kunststoffgefäß mit nicht röntgenopakem

Kunststoffgranulat fixiert. Dies wurde dadurch erreicht, indem die Mandibula um 90° gedreht und der 3. Quadrant nahezu vollständig mit dem Granulat bedeckt wurde. So war der 4. Quadrant frei und der Sensor konnte daruntergelegt werden. Das Gefäß war verschiebbar und wurde so ausgerichtet, dass sich Zahn 46 in der Mitte des Gradbogens befand. Somit konnten mit Hilfe des Bogens und entlang dessen, mit der beweglichen Röhre, die exzentrischen Zentralstrahlangulationen eingestellt werden. Um von den horizontalen Winkeln auf die vertikalen zu wechseln, wurde das Gefäß mit der Mandibula um 90° gedreht.



Abbildung 3: Schematische Übersicht des Versuchsaufbaus ohne Halter für die mesial und distal exzentrischen Röhrenangulationen



Abbildung 4: Schematische Detailansicht des Versuchsaufbaus mit Halter bei orthoradialer Röhrenangulation (die Zahnachse und der Sensor sind hierbei beide horizontal parallel ausgerichtet)



Abbildung 5: Schematische Detailansicht des Versuchsaufbaus mit Halter bei 20° mesialer Röhrenangulation (nur die Zahnachse bleibt hierbei horizontal parallel ausgerichtet)



Abbildung 6: Schematische Detailansicht des Versuchsaufbaus ohne Halter bei orthoradialer Röhrenangulation (die Zahnachse und der Sensor sind hierbei horizontal parallel ausgerichtet)



Abbildung 7: Schematische Detailansicht des Versuchsaufbaus ohne Halter bei 20° mesialer Röhrenangulation (die Zahnachse und der Sensor bleiben hierbei horizontal parallel ausgerichtet)

Der Versuchsaufbau wurde schon in ähnlicher Form im Zuge analoger Untersuchungen im Jahre 1973 angewandt. Im Gegensatz zu der vorliegenden Studie wurde hierbei eine trockene Mandibula auf einem horizontal ausgerichteten Plexiglasbogen fixiert und konnte mit diesem gedreht werden. Die Röntgenröhre war dabei starr (Hakansson et al. 1973).

2.5. Versuchsdurchführung

Es wurden für jedes Präparat mehrere Versuchsreihen durchgeführt. Um eine Aussage über die Abhängigkeit der Röntgenbilder von den horizontalen und vertikalen Winkeln zu erhalten, wurden jeweils drei Bilder mit Halter in 10° Schritten nach mesial, distal, kranial und kaudal, und eines orthoradial, aufgenommen. Die resultierenden 13 Bilder wurden anschließend noch einmal ohne die Haltervorrichtung für den Sensor angefertigt. Die doppelte Anfertigung beruht auf der vorher erwähnten niedrigen Toleranz der Patienten gegenüber dem Halter. Diese Tatsache wird durch den 7 mm dicken Sensor noch zusätzlich verstärkt, was in der Praxis häufig in einer verringerten Anwendung des Halters resultiert.

Der Unterschied, der sich aus den beiden Techniken, mit und ohne Halter ergibt, sollte durch die doppelte Anfertigung untersucht werden. In einer Studie wurde zudem nachgewiesen, dass durch die Anwendung der Sensoren häufiger Fehler in der Positionierung auftreten als bei analogen Zahnfilmen, die wesentlich dünner und flexibler sind. Weiterhin wurde auch untersucht wie die Patienten den starren Sensor tolerieren. 76% gaben an, dass der Sensor sich unangenehm anfühlte (Wenzel und Møystad 2010).

Alle 26 Bilder wurden mit jeder der zuvor erwähnten Röhren noch einmal aufgenommen. So ergaben sich am Ende der Versuchsreihen 78 Röntgenbilder für jedes Präparat (Tab. 4). Es wurden insgesamt 12 Versuchsreihen durchgeführt, wobei 156 Bilder entstanden sind.

Tabelle 4: Darstellung der zwölf durchgeführten Versuchsreihen.

	Präparat	Technik	Röhrentyp
Versuchsreihe 1	A	mit Halter	Heliodont
Versuchsreihe 2	A	mit Halter	Gendex Expert DC
Versuchsreihe 3	A	mit Halter	Focus
Versuchsreihe 4	A	ohne Halter	Heliodont
Versuchsreihe 5	A	ohne Halter	Gendex Expert DC
Versuchsreihe 6	A	ohne Halter	Focus
Versuchsreihe 7	B	mit Halter	Heliodont
Versuchsreihe 8	B	mit Halter	Gendex Expert DC
Versuchsreihe 9	B	mit Halter	Focus
Versuchsreihe 10	B	ohne Halter	Heliodont
Versuchsreihe 11	B	ohne Halter	Gendex Expert DC
Versuchsreihe 12	B	ohne Halter	Focus

Die 156 Aufnahmen wurden mit der tatsächlichen klinischen Situation, welche durch die Längsschnitte am anatomischen Präparat verifiziert wurde, verglichen. Die Auswertung erfolgte nach sechs Kriterien:

1. Beurteilbarkeit auf Sekundärkaries mesial
2. Beurteilbarkeit auf Sekundärkaries distal
3. Beurteilbarkeit des Auftretens eines Artefaktes mesial
4. Beurteilbarkeit des Auftretens eines Artefaktes distal
5. Beurteilbarkeit der Suffizienz des Kronenrandes mesial
6. Beurteilbarkeit der Suffizienz des Kronenrandes distal

Die Röntgenaufnahmen sollten daraufhin untersucht werden, ob diese eine vorhandene Sekundärkaries darstellen. Wichtig sind hierbei vor allem die Artefakte am Kronenrand, die eventuell dazu führen, dass eine nicht vorhandene Karies positiv dargestellt wird, oder eine vorhandene Karies negativ. Weiterhin wurden die Kronenränder auf ihre sichtbare Insuffizienz durch die Aufnahmen ausgewertet. Beim Entstehen von Artefakten und vor allem der Sichtbarkeit eines überstehenden Kronenrandes ist die Projektion eines dreidimensionalen Objektes von Bedeutung (Abb. 8). Auf dem Sensor (Bildebene) wird dieses Objekt zweidimensional dargestellt. So können durch die Überlagerungen von Bildpunkten bestimmte Sachverhalte nicht oder verfälscht dargestellt werden.

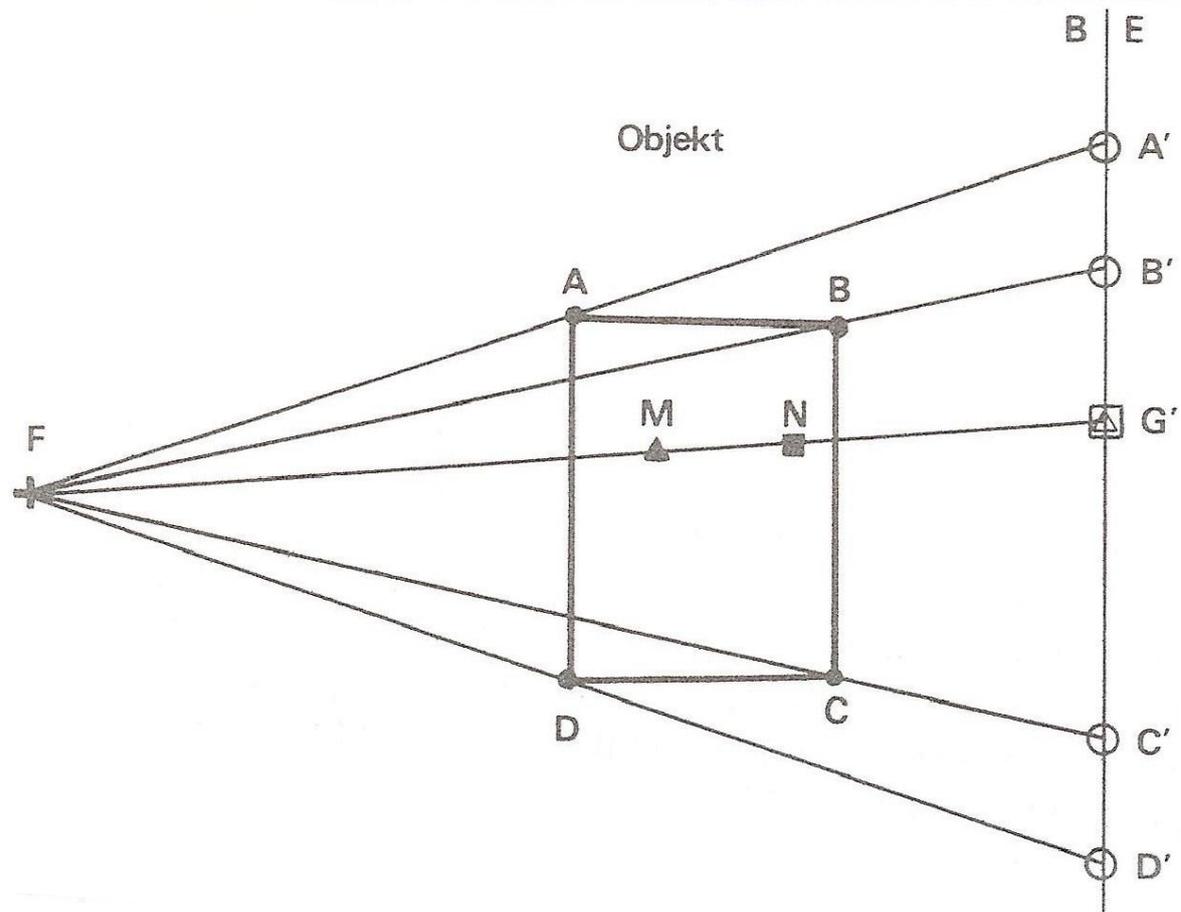


Abbildung 8: Projektion eines dreidimensionalen Objektes. Durch Überlagerungen können mehrere Objektpunkte (M und N) auf einen gemeinsamen Bildpunkt (G') projiziert werden. F stellt den Fokus, BE die Bildebene dar (Meiners 1981).

2.6. Statistik

Die methodische und statistische Beratung erfolgte vom Institut für Epidemiologie und Medizinische Biometrie in Ulm. Da es sich bei dieser Untersuchung um eine Einzelfallbeschreibung handelt, konnte keine statistische Auswertung vorgenommen werden.

3. Ergebnisse

Um die Röntgenbilder mit der realen klinischen Situation zu vergleichen, wurden acht Tabellen erstellt. Hierbei dient die Vertikale dem Vergleich der Röntgenbilder der unterschiedlichen Röhren untereinander mit der zuvor dokumentierten klinischen Situation. Die unterteilten Spalten beziehen sich auf den jeweils separat untersuchten mesialen und distalen Anteil des Zahns. Ein vorhandener schwarzer Punkt stellt die sichtbare klinische Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

3.1. Präparat A Vergleichsergebnisse

Die zuvor erläuterte klinische Situation (Tab. 1) wird in der folgenden Bilderserie (Abb. 9 & 10) noch einmal in Form der Schnittbilder für das Präparat A dargestellt. An den Übersichtsaufnahmen der verschiedenen Schnittebenen A-D ist der beidseits insuffiziente proximale Kronenrand zu erkennen. Die Aufnahme E stellt den distalen Spaltraum zwischen Zahn und Krone im Detail dar. Der überstehende Kronenrand mesial wird durch Bild F in Abbildung 9 genauer aufgezeigt. Er ist jedoch durch den akkumulierten Zahnstein schwierig zu erkennen.

In Abbildung 10 ist der Kronenrand mesial suffizient dargestellt. Dies ergibt sich aus den verschiedenen Schnittebenen durch die Krone, da der Kronenrand nicht gleichmäßig absteigend ist. Auf diesen Sachverhalt wird noch in 4.3. näher eingegangen.

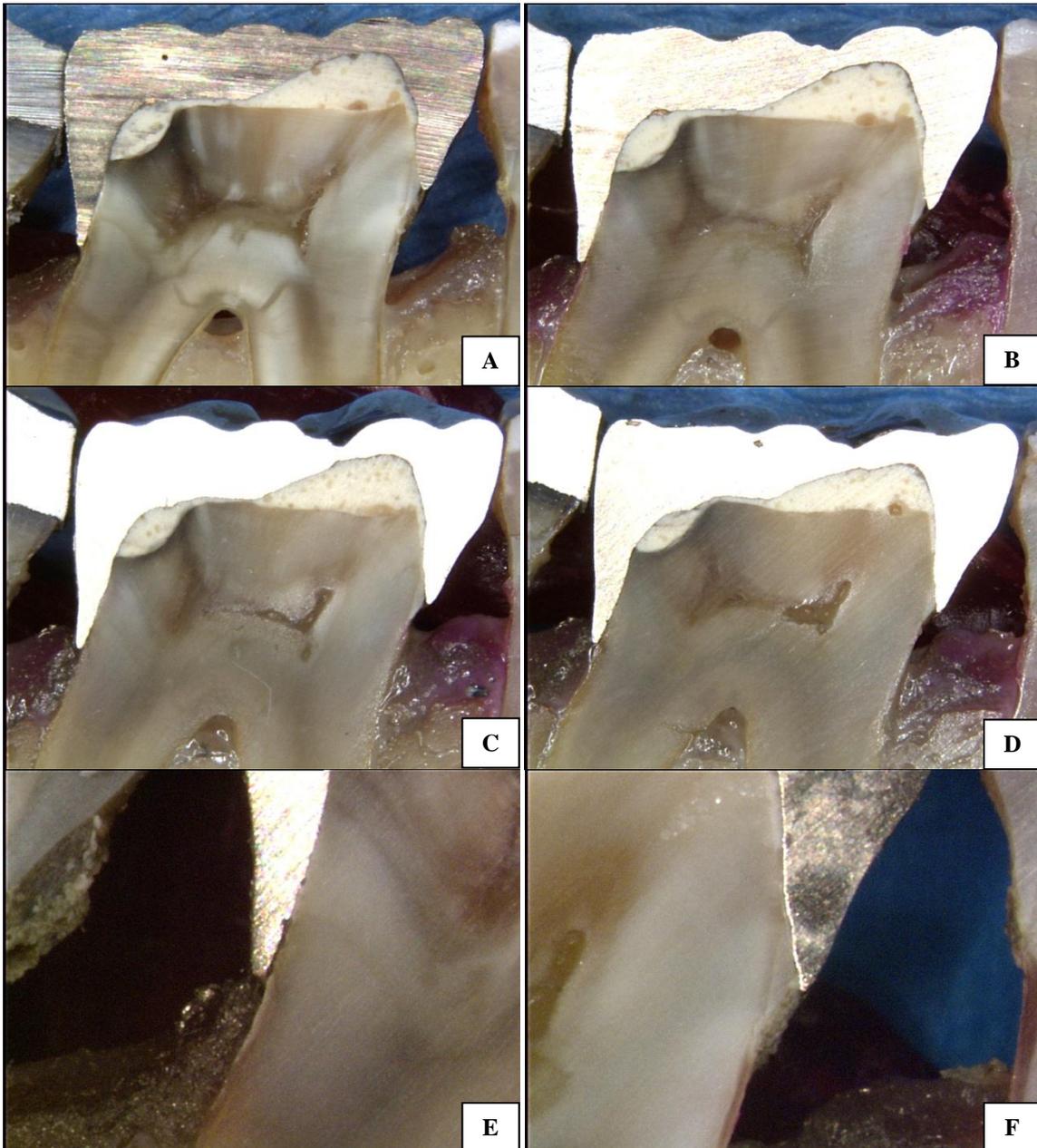


Abbildung 9: Präparat A, Zahnschnitte von Zahn 46 (Ansicht von vestibulär). A-D stellen den Zahn in der Übersicht dar, jeweils in einer anderen Schnittebene, E und F sind Detailaufnahmen der approximalen Kronenränder.

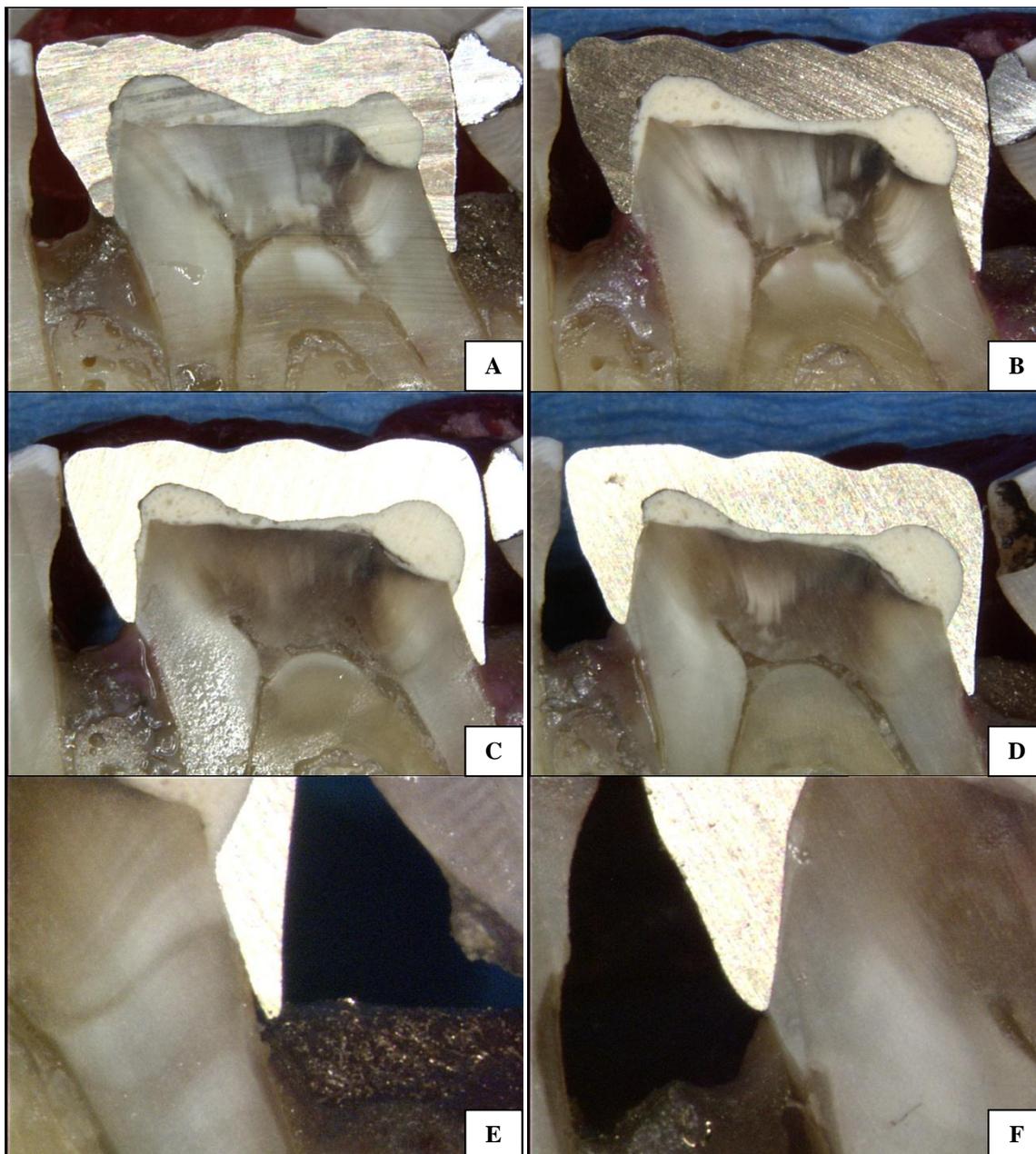


Abbildung 10: Präparat A, Zahnschnitte von Zahn 46 (Ansicht von lingual). A-D stellen den Zahn in der Übersicht dar, jeweils in einer anderen Schnittebene, E und F sind Detailaufnahmen der approximalen Kronenränder.

3.1.1. Mit Haltertechnik

3.1.1.1. Untersuchung auf Karies

Abbildung 11 soll beispielhaft die drei orthoradialen Aufnahmen der unterschiedlichen Röhren mit der zuvor gezeigten klinischen Situation darstellen. Es ist zu erkennen, dass auf allen Bildern weder mesial noch distal eine Karies diagnostiziert werden kann.

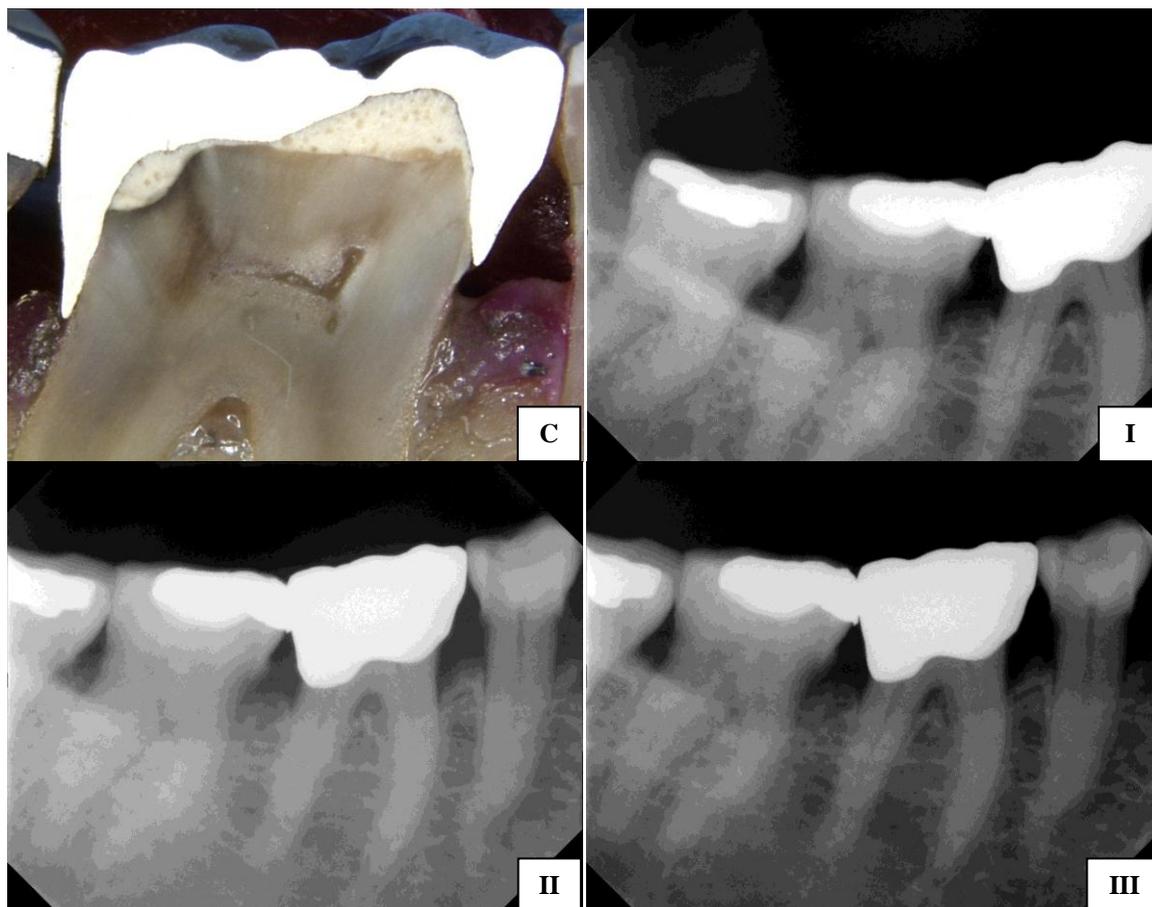


Abbildung 11: Orthoradiale Aufnahmen von Präparat A durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits kariesfrei) stellt C einen Ausschnitt aus Abbildung 9 dar.

Tabelle 5 stellt den Vergleich der realen Situation mit allen Aufnahmen aller drei Röhren zusammengefasst dar. Es ist zu erkennen, dass der gesunde Zahn bei allen drei Röhren orthoradial, 30° koronal, 10° kaudal, 20° kaudal und 30° kaudal beidseits diagnostiziert werden kann. Bei allen anderen Winkeln ist entweder der mesiale oder der distale Approximalbereich durch Artefakte so verändert, dass ein falsch positives Kariesergebnis

erhalten wird und somit nicht mit einem schwarzen Punkt in der Tabelle gekennzeichnet ist. Es ist zu erwähnen, dass bei den mesialen Zentralstrahlangulationen der distale Approximalbereich und bei den distalen Winkeln der mesiale Approximalraum Artefakte aufweist.

Tabelle 5: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlangulation	orthoradial	●	●	●	●	●	●	
	mesial	10°	●		●	●	●	
		20°	●		●		●	
		30°	●		●		●	
	distal	10°		●		●	●	●
		20°		●		●		●
		30°		●		●		●
	koronal	10°		●	●	●	●	●
		20°		●	●		●	●
		30°	●	●	●	●	●	●
	kaudal	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°	●	●	●	●	●	●

3.1.1.2. Untersuchung des Kronenrandes

Abbildung 12 zeigt ein Beispiel der Aufnahmen bei einer Abweichung von 10° koronal. Der insuffiziente Kronenrand mesial wird durch die Röhre Heliodent nicht dargestellt.

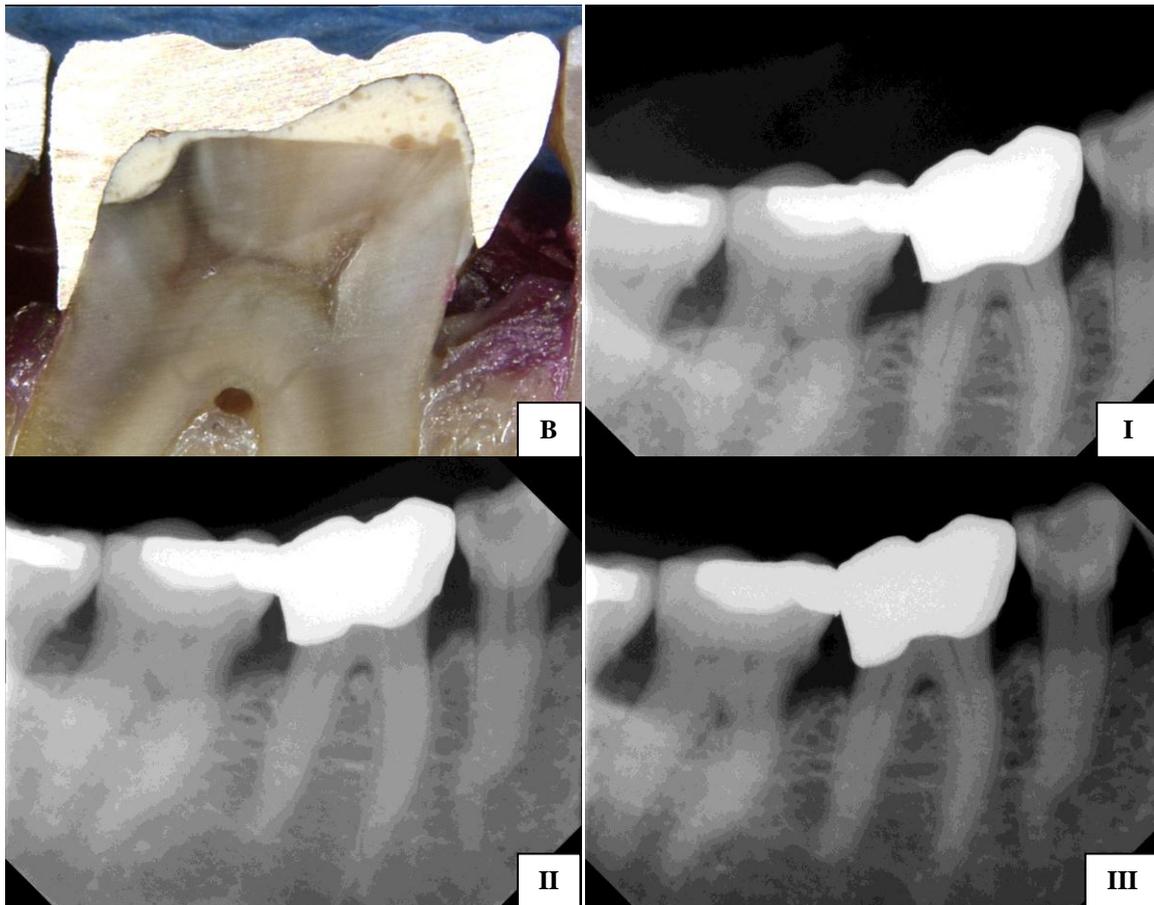


Abbildung 12: 10° koronal exzentrische Aufnahmen von Präparat A durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits insuffizienter Kronenrand) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 9 dar.

Durch Tabelle 6 werden die drei Röhren zusammengefasst. Der beidseits abstehende Kronenrand wird bei allen durch den nach 10° und 20° mesial abweichenden sowie durch den orthoradialen Winkel sichtbar. Es ist zu beachten, dass bei allen kaudalen Angulationen und bei 30° distal weder der mesiale noch der distale Kronenrand insuffizient dargestellt ist. Durch den Vergleich der einzelnen Röhren ist zu erkennen, dass die Gendex Expert DC und die Focus exakt die gleichen Ergebnisse liefern. Lediglich die

Heliodent zeigt leichte Abweichungen bei 30° mesial und wie auch zuvor in Abbildung 12 erkennbar bei 10° koronal.

Tabelle 6: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlangulation	orthoradial	●	●	●	●	●	●	
	mesial	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°	●	●		●		●
	distal	10°	●		●		●	
		20°	●		●		●	
		30°						
	koronal	10°		●	●	●	●	●
		20°		●		●		●
		30°		●		●		●
	kaudal	10°						
		20°						
		30°						

3.1.2. Ohne Haltertechnik

Werden nun alle vorherigen Aufnahmen noch einmal ohne Halter erstellt, ist zu erwähnen, dass das orthoradiale Bild hier exakt dem orthoradialen Bild mit Halter entspricht.

3.1.2.1. Untersuchung auf Karies

Entsprechend der vorherigen Kapitel werden anhand eines Beispiels die Röntgenaufnahmen dargestellt (Abb. 13). Alle drei Bilder sind am distalen Kronenrand mit Artefakten behaftet, was zu einer falsch positiven Kariesdiagnose führt.

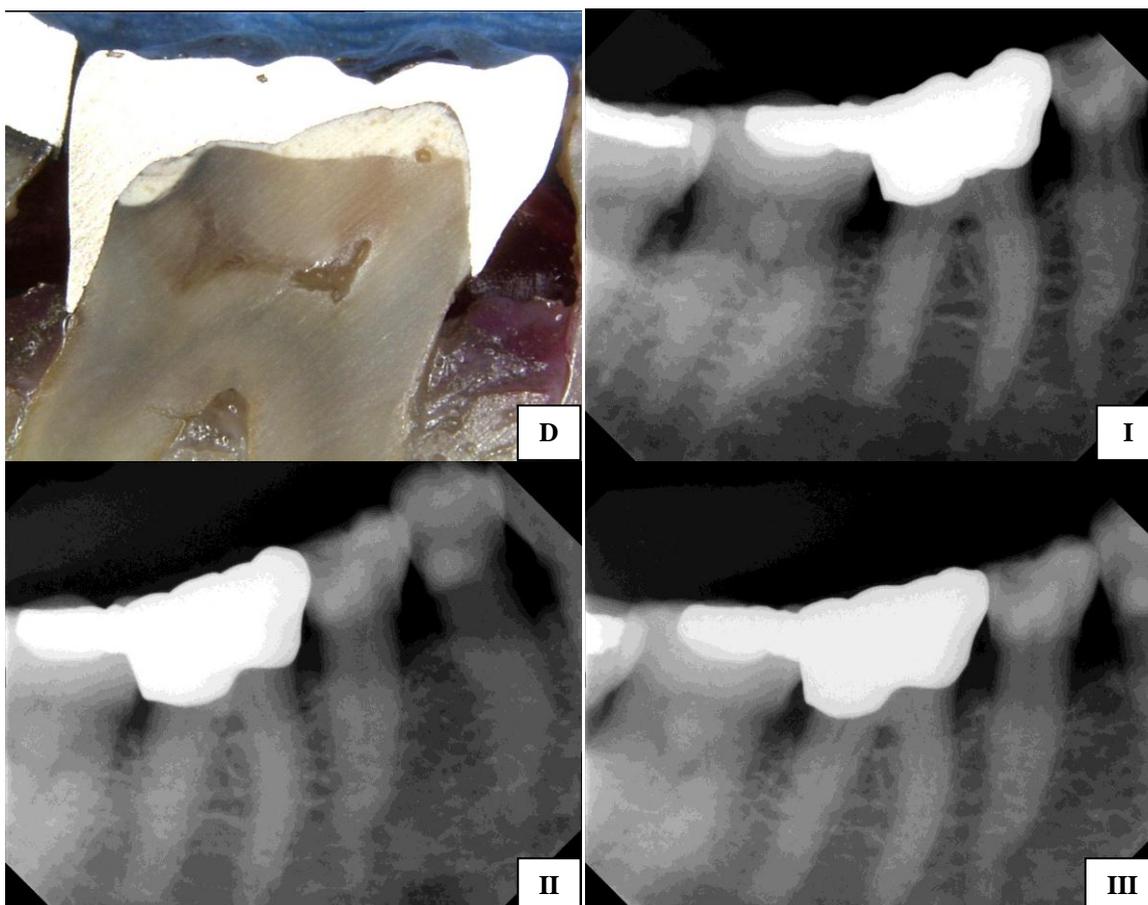


Abbildung 13: 20° mesial exzentrische Aufnahmen von Präparat A durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits kariesfrei) stellt D einen Ausschnitt aus Abbildung 9 dar.

Tabelle 7 enthält alle drei Röhren zusammengefasst. Die angefertigten Bilder ohne Halter zeigen den gesunden Zahn bei orthoradialer, 30° kaudaler, 20° kaudaler, 10° kaudaler und 30° koronaler Abweichung der Angulation. Der distale Approximalbereich ist auf den mesialen Aufnahmen und der mesiale Approximalraum ist auf den distalen Aufnahmen mit Artefakten behaftet, welche zu falsch positiven Kariesdiagnosen führen. Bei einem

horizontalen Winkel von 30° distal waren die Bilder stark verzerrt, wodurch keine Auswertung mehr möglich war und somit keine schwarzen Punkte in der Tabelle zu sehen sind. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen, die mit Halter erzielt wurden, kann man feststellen, dass die Aufnahmen etwas voneinander abweichen. Die Bilder sind stärker verzerrt. Ein aussagekräftiger Unterschied zur Diagnose der Sekundärkaries kann jedoch nicht beobachtet werden.

Tabelle 7: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlangulation	orthoradial	●	●	●	●	●	●	
	mesial	10°	●	●	●		●	
		20°	●		●		●	
		30°	●		●		●	
	distal	10°		●	●	●		●
		20°	●			●		●
		30°						
	koronal	10°	●	●	●		●	●
		20°	●	●	●	●	●	
		30°	●	●	●	●	●	●
	kaudal	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°	●	●	●	●	●	●

3.1.2.2. Untersuchung des Kronenrandes

Durch das Beispiel in Abbildung 14 bei einer Angulation von 10° distal wird der distal insuffiziente Kronenrand in allen drei Fällen so dargestellt, dass es zu einer falschen Diagnose kommt.

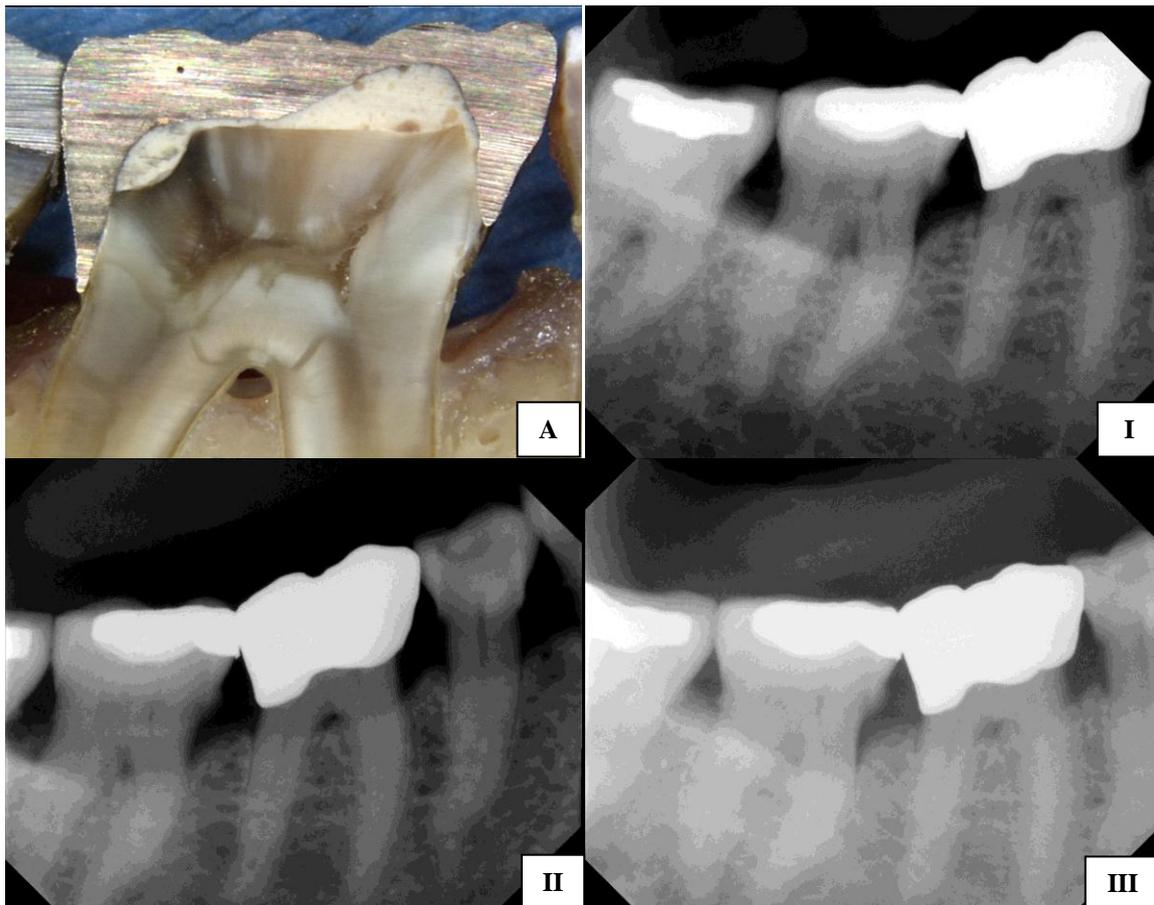


Abbildung 14: 10° distal exzentrische Aufnahmen von Präparat A durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits insuffizienter Kronenrand) stellt A einen Ausschnitt aus Abbildung 9 dar.

Tabelle 8 stellt alle drei Röhren zusammen dar. Der beidseits abstehende Kronenrand kann durch den orthoradialen, den 10° mesialen und den 20° mesialen Strahlenwinkel durch alle Röhren sichtbar gemacht werden. Der 30° koronale und alle kaudalen Winkel zeigen weder den mesialen noch den distalen insuffizienten Kronenrand. Bei den koronalen Winkeln 10° und 20° ist zu sehen, dass der mesiale Anteil des Randes insuffizient

dargestellt wird, was der Realität entspricht und deshalb auch einen schwarzen Punkt in der Tabelle aufweist. Die Bilder, die mit einem Winkel von 30° distal erzeugt wurden, entsprechen denen aus 3.1.2.1. und sind aus demselben Grund nicht auswertbar. Wie auch im Vergleich hinsichtlich der Sekundärkaries können keine diagnostisch qualitativen Unterschiede innerhalb der Röhrensysteme festgestellt werden.

Tabelle 8: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlungulation	orthoradial	●	●	●	●	●	●	
	mesial	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°		●		●	●	●
	distal	10°	●		●		●	
		20°	●	●	●		●	
		30°						
	koronal	10°		●		●		●
		20°				●		●
		30°						
	kaudal	10°						
		20°						
		30°						

3.2. Präparat B Vergleichsergebnisse

An Abbildung 15 und 16 ist der beidseits insuffiziente Kronenrand von Präparat B zu erkennen. Die Detailaufnahmen E und F zeigen hier deutlich den abstehenden Kronenrand. Weiterhin befindet sich mesial eine Kavität, die auf eine Sekundärkaries zurückzuführen ist. Die Karies ist durch den Caries Detector in Aufnahme E rosa dargestellt.

Es ist wiederum zu beachten, dass sich die einzelnen Aufnahmen in unterschiedlichen Schnittebenen befinden. Aus diesem Grund ist die mesiale Karies in Abbildung 16 nicht zu sehen.

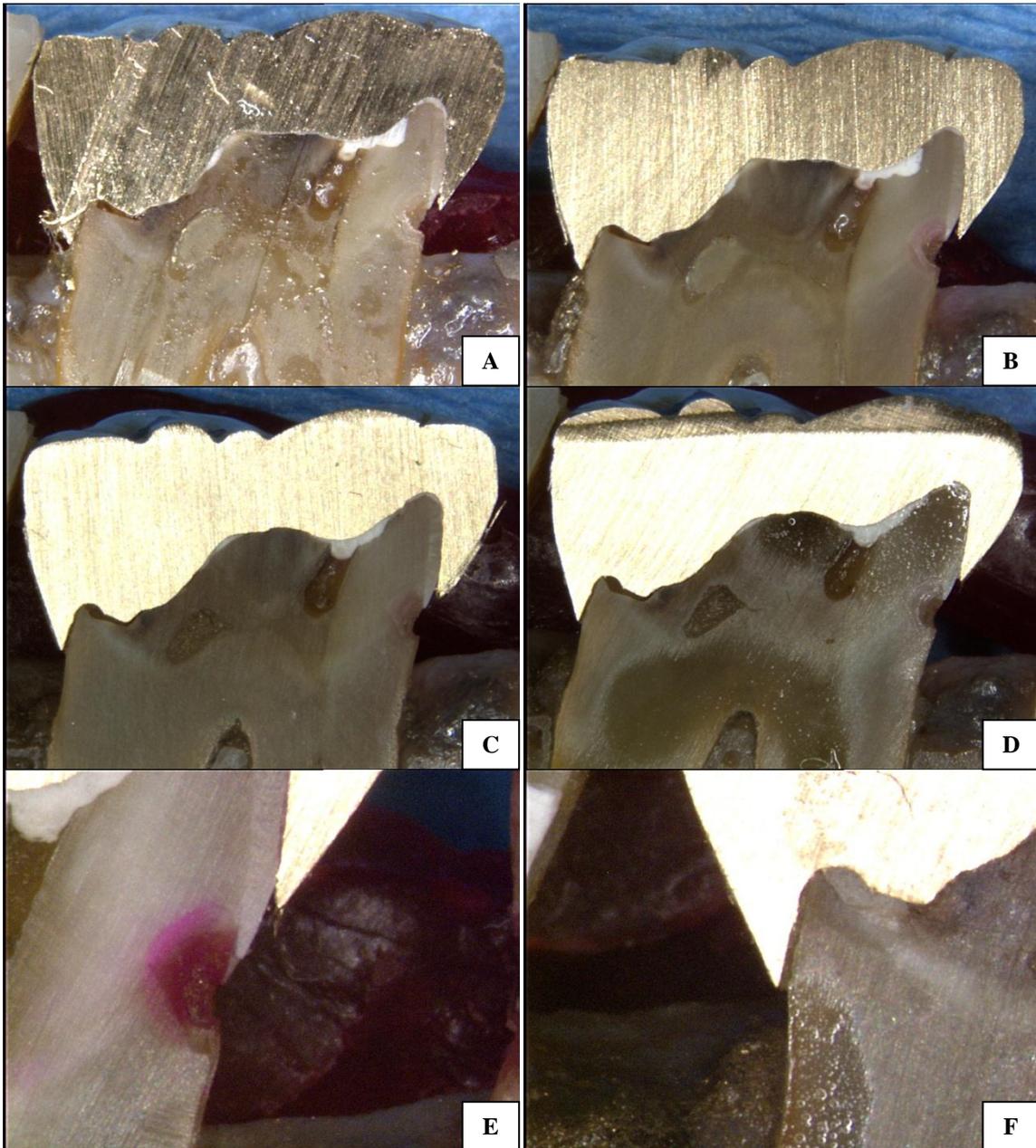


Abbildung 15: Präparat B, Zahnschnitte von Zahn 46 (Ansicht von vestibulär). A-D stellen den Zahn in der Übersicht dar, jeweils in einer anderen Schnittebene, E und F sind Detailaufnahmen der approximalen Kronenränder.

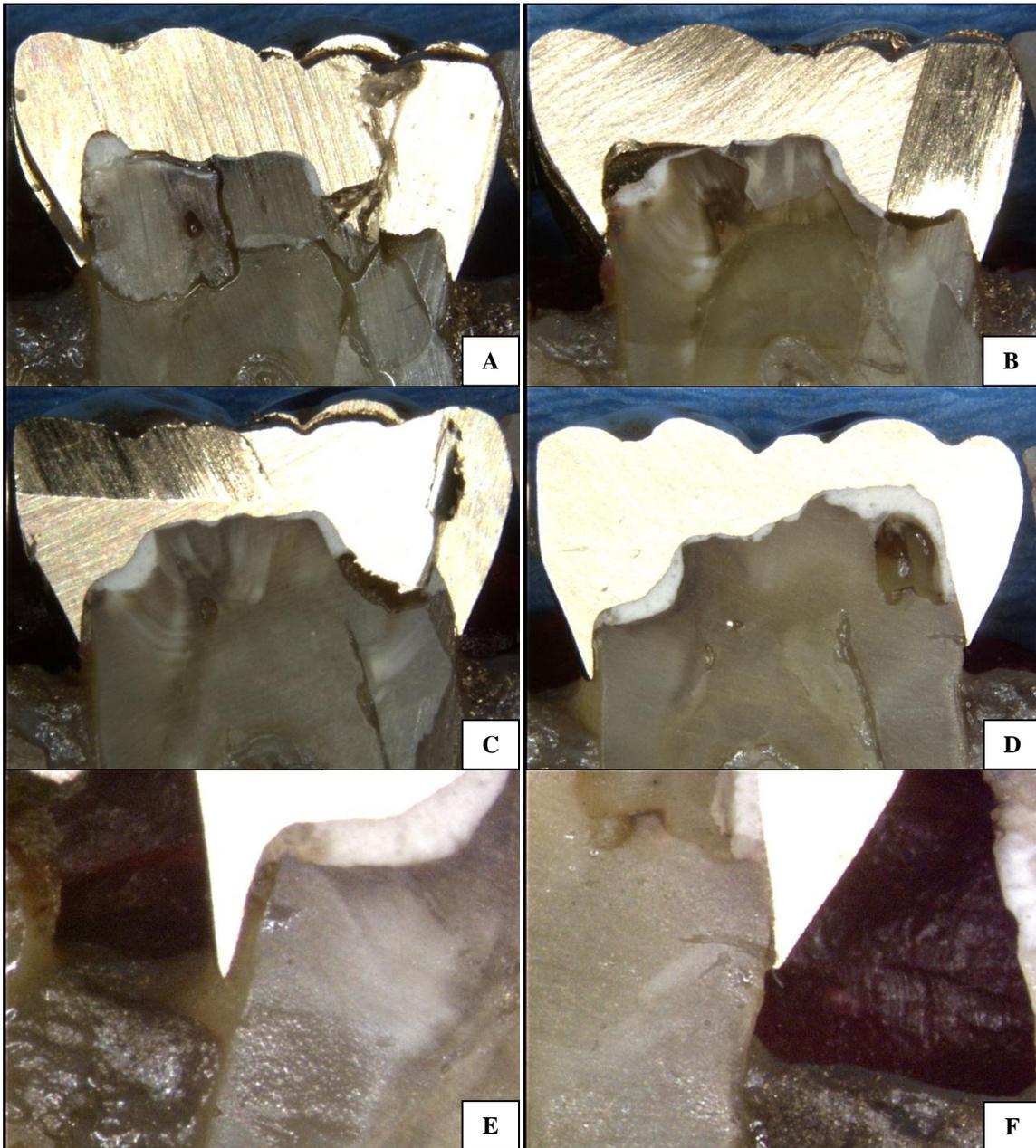


Abbildung 16: Präparat B, Zahnschnitte von Zahn 46 (Ansicht von lingual). A-D stellen den Zahn in der Übersicht dar, jeweils in einer anderen Schnittebene, E und F sind Detailaufnahmen der approximalen Kronenränder.

3.2.1. Mit Haltertechnik

3.2.1.1. Untersuchung auf Karies

Anhand des Beispiels (Abb. 17) ist auf allen Aufnahmen am mesialen Kronenrand eine Aufhellung zu identifizieren, welche als Sekundärkaries befundet werden kann. Durch den Vergleich mit der realen klinischen Situation durch das Schnittbild wird diese Aussage bestätigt. Durch das zweite Beispiel (Abb. 18) mit orthoradialen Aufnahmen ist zu erkennen, dass die Röhre Heliodent die Sekundärkaries mesial nicht darstellt.

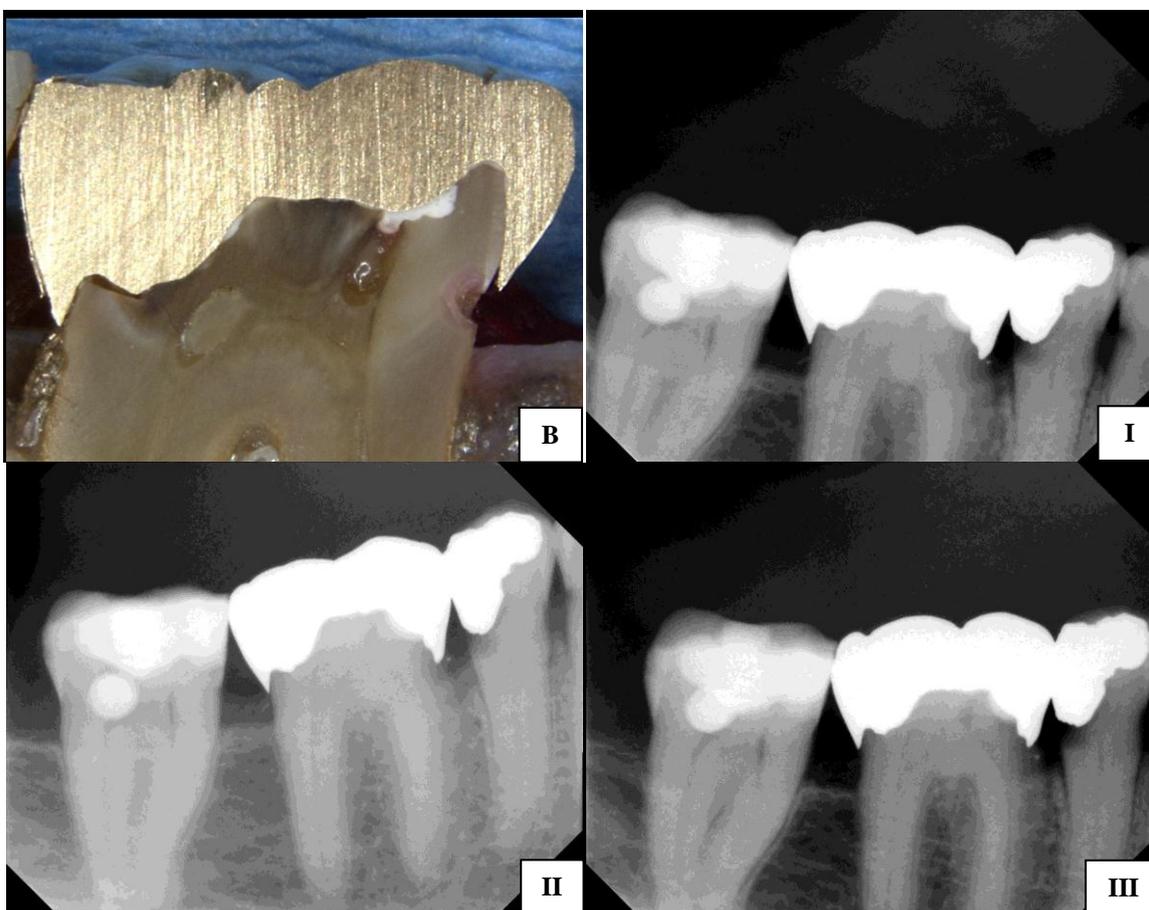


Abbildung 17: 10° distal exzentrische Aufnahmen von Präparat B durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (mesial Karies) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 15 dar.

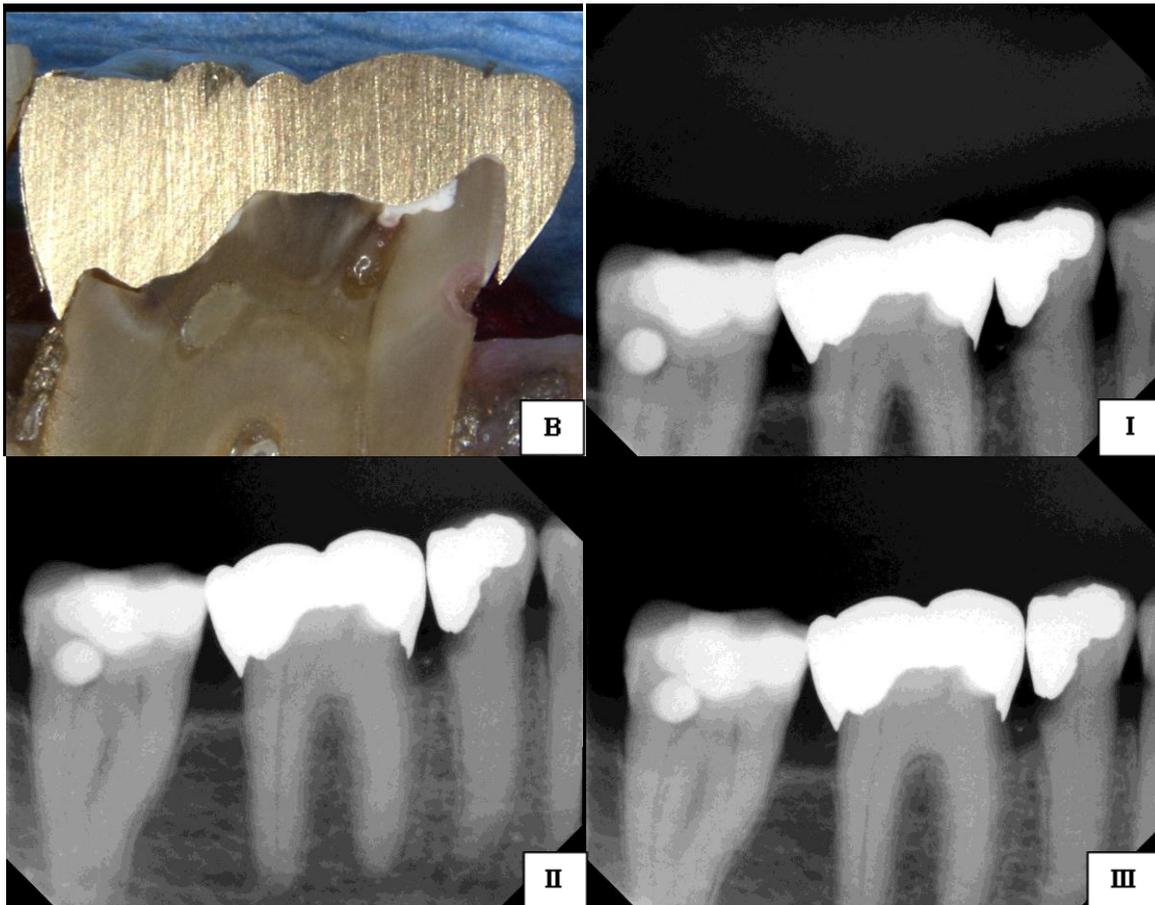


Abbildung 18: Orthoradiale Aufnahmen von Präparat B durch die Röhren Heliodont (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (mesial Karies) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 15 dar.

Tabelle 9 stellt wieder alle drei Röhren zusammen im Vergleich zur realen Situation dar. Die kariöse Läsion mesial konnte nur bei einem Winkel von 10° distal und 10° kaudal bei allen drei Röhren dargestellt werden. Bei einem orthoradialen Winkel wurde die Karies von der Röhre Heliodont nicht dargestellt, wurde jedoch bei einem Winkel von 10° mesial wieder sichtbar. Die distalen Abweichungen zeigten in allen drei Fällen nur bei 10° die mesiale kariöse klinische Situation. Es konnte jedoch bei allen mesialen Winkeln der distale kariesfreie Kronenrand diagnostiziert werden. Überhaupt wurde die distale Situation besser dargestellt. Die Röhren unterscheiden sich im Vergleich nur bedingt. Alle konnten die Karies auf vier der 13 Aufnahmen darstellen, wobei nur im schon erwähnten Fall von 10° distal alle Röhren dasselbe richtige Ergebnis lieferten.

Tabelle 9: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen					
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus	
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46	
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal
Zentralstrahlangulation	orthoradial		●	●	●	●	●
	mesial	10°	●	●		●	●
		20°		●		●	●
		30°		●		●	●
	distal	10°	●	●	●	●	●
		20°		●		●	●
		30°		●		●	●
	koronal	10°		●			●
		20°		●		●	
		30°		●		●	
	kaudal	10°	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●
		30°		●		●	●

3.2.1.2. Untersuchung des Kronenrandes

Abbildung 19 zeigt ein Beispiel, aus dem ersichtlich wird, wie der insuffiziente distale Kronenrand durch eine 20° kaudale Angulation in allen drei Fällen falsch anliegend dargestellt wird. Der mesiale Restaurationsrand wird jedoch der Realität entsprechend insuffizient gezeigt.

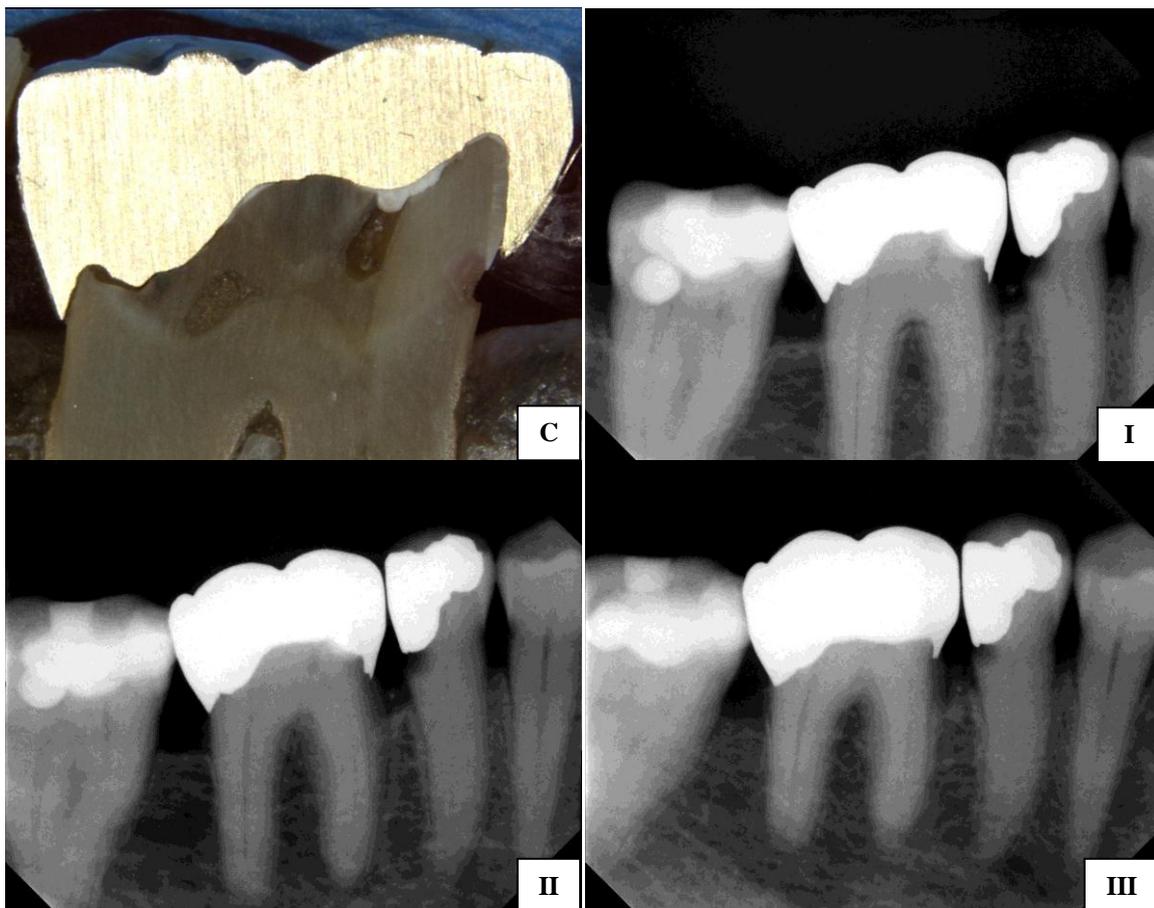


Abbildung 19: 20° kaudal exzentrische Aufnahmen von Präparat B durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits insuffizienter Kronenrand) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 15 dar.

Durch Tabelle 10 werden alle Röhren zusammen mit der klinischen Situation verglichen. Der beidseits überstehende Kronenrand konnte nur bei den koronalen Zentralstrahlängulationen dargestellt werden. Auf dem orthoradialen Bild sowie den mesialen Abweichungen bis 20° mesial und allen kaudalen Abweichungen wurde nur der

mesiale Kronenrand, der klinischen Situation entsprechend gezeigt. Der distale Rand war nur auf den koronalen Bildern und dem 10° distal exzentrischen sichtbar. Verglichen mit Präparat A ergeben sich auch bei Präparat B keine Unterschiede der Röhren im Hinblick auf den insuffizienten Kronenrand.

Tabelle 10: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlangulation	orthoradial	●		●		●		
	mesial	10°	●		●		●	
		20°	●		●		●	
		30°						
	distal	10°		●		●	●	●
		20°						
		30°						
	koronal	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°	●	●	●	●	●	●
	kaudal	10°	●		●		●	
		20°	●		●		●	
		30°	●				●	

3.2.2. Ohne Haltertechnik

3.2.2.1. Untersuchung auf Karies

Durch Abbildung 20 wird anhand des Beispiels ersichtlich, dass zwei der drei Röhren ein Bild lieferten, das die mesiale Karies zeigt. Nur die Heliodent konnte diesen Sachverhalt nicht aufweisen.

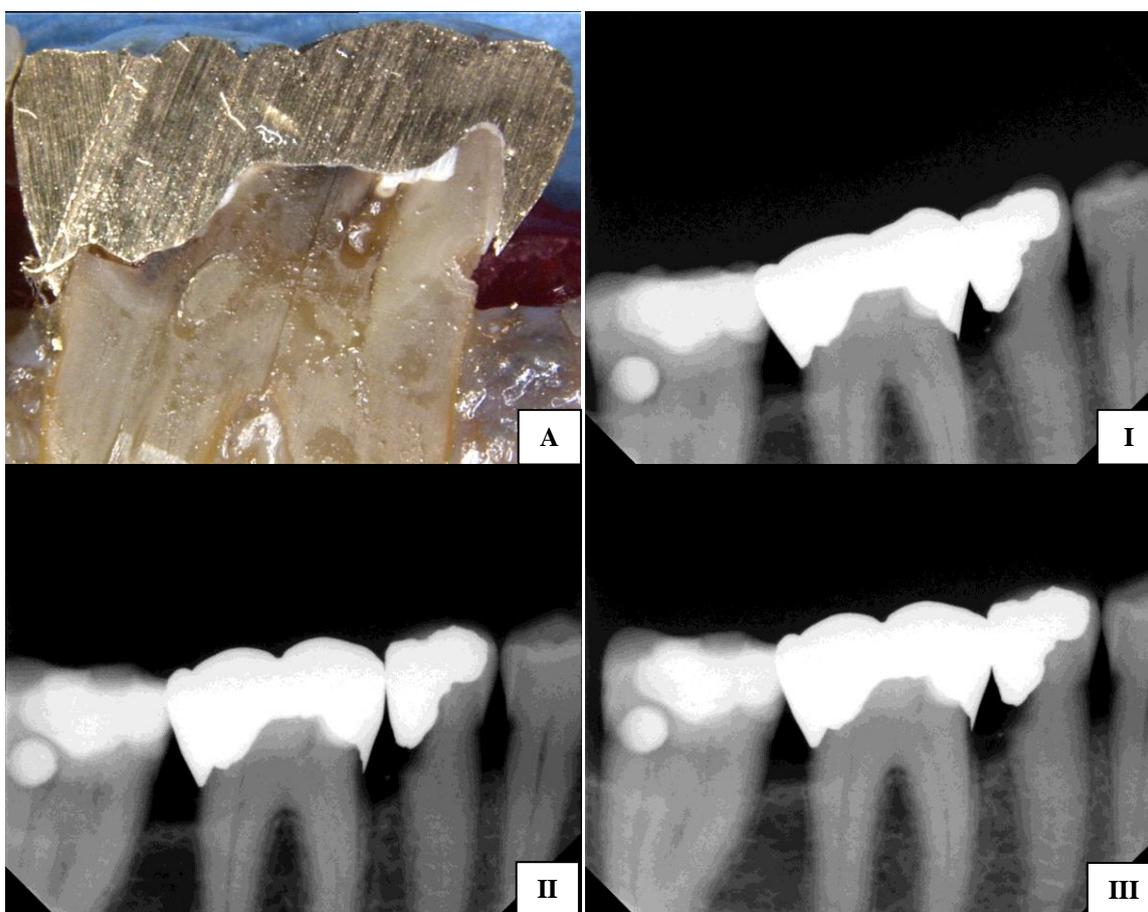


Abbildung 20: 10° mesial exzentrische Aufnahmen von Präparat B durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (mesial Karies) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 15 dar.

In Tabelle 11 werden alle Röhren zusammenfassend dargestellt. Ohne den Halter konnte die mesiale Karies nur unter den kaudalen Winkeln von 10° und 20° bei allen Röhren erkannt werden. Im Falle der Röhre Heliodent konnte sie auch erneut nicht bei einem

orthoradialen Winkel diagnostiziert werden. Alle drei Geräte zeigten den gesunden Zahn distal bei allen mesialen, distalen und kaudalen Winkeln und bei der orthoradialen Einstellung. Die Artefaktentstehung im distalen Anteil des Zahns 46 bei den stärkeren mesialen Angulationen war nicht zu beobachten. Der Vergleich der Röhren untereinander lässt auch in diesem Fall keine aussagekräftigen Schlüsse bezüglich der Systemunterschiede zu.

Tabelle 11: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen					
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus	
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46	
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal
Zentralstrahlangulation	orthoradial		●	●	●	●	●
	mesial	10°		●	●	●	●
		20°		●		●	●
		30°		●		●	●
	distal	10°		●	●	●	●
		20°		●		●	●
		30°		●		●	●
	koronal	10°	●			●	●
		20°	●			●	●
		30°		●		●	
	kaudal	10°	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●
		30°		●	●	●	●

3.2.2.2. Untersuchung des Kronenrandes

Im Unterschied zur Haltertechnik stellt die Röhre Heliodent den distal insuffizienten Restaurationsrand in diesem Beispiel (Abb. 21) dar. Die anderen zwei Röhren liefern im Hinblick auf den Kronenrand dieselben negativen Ergebnisse wie mit Halter.

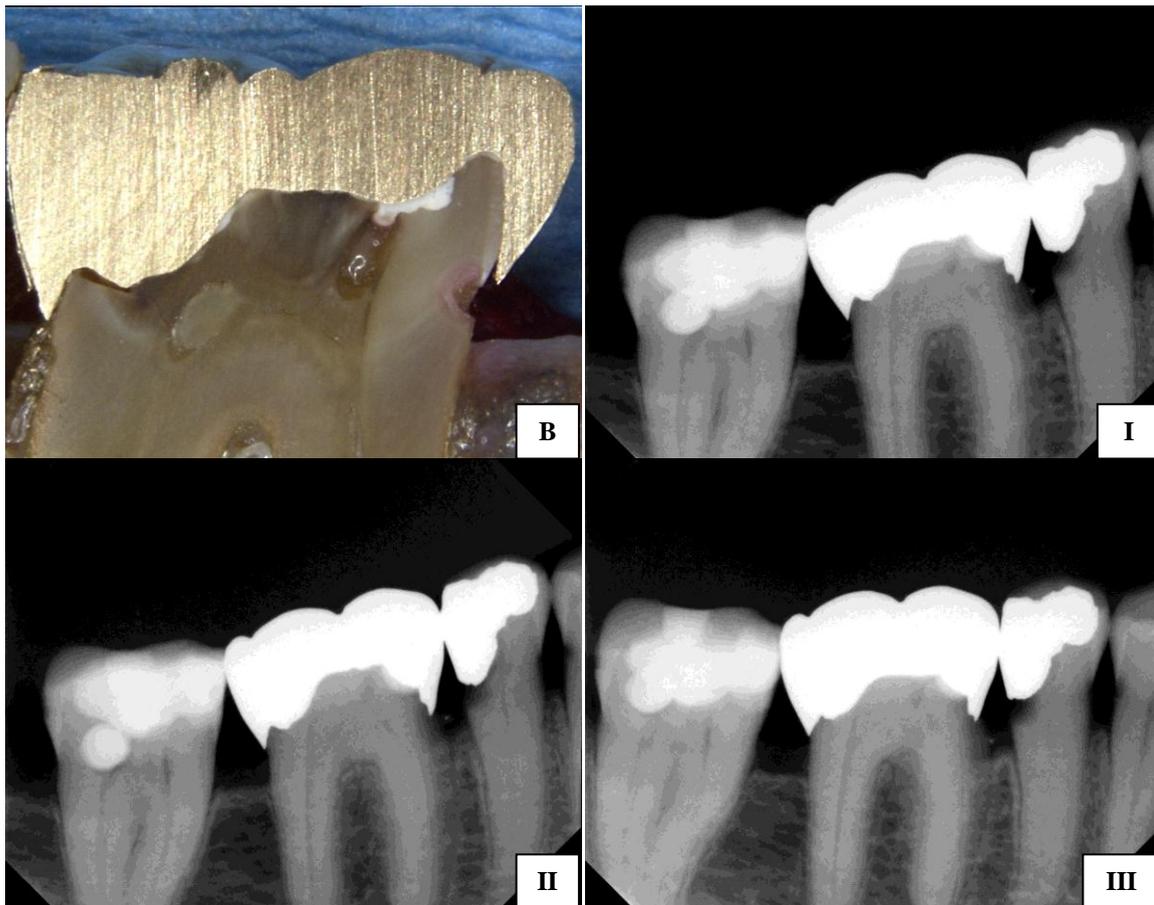


Abbildung 21: 10° kaudal exzentrische Aufnahmen von Präparat B durch die Röhren Heliodent (I), Gendex Expert DC (II) und Focus (III). Zum Vergleich mit der realen Situation (beidseits insuffizienter Kronenrand) stellt B einen Ausschnitt aus Abbildung 15 dar.

Wie bei den vorherigen Kapiteln wurden auch hier die Ergebnisse der drei Röhren zusammengefasst (Tab. 12). Die orthoradiale Einstellung konnte, wie die 10° mesiale, die 20° kaudale und die 30° kaudale Einstellung, nur den mesialen überstehenden Rand der Krone zeigen. Einzig die 10° und 20° koronalen Winkel erlaubten eine, der klinischen Situation entsprechende Diagnose des beidseits überstehenden Kronenrandes. Der mesial

insuffiziente Kronenrand war wiederum bei 10° mesial, orthoradial und allen kaudalen und koronalen Winkeln sichtbar. Der Vergleich der Aufnahmen der Röhren gibt auch in diesem letzten Fall keinen Aufschluss über die Differenzen der unterschiedlichen Systeme.

Tabelle 12: Untersuchung der einzelnen Röntgenbilder auf Sekundärkaries an Zahn 46 mesial und distal zusammen für alle drei Röhren. Ein schwarzer Punkt stellt die sichtbare reale Situation auf dem Röntgenbild dar, wobei jeder Winkel einer Aufnahme pro Röhre entspricht.

		Röhren, welche die klinische Situation darstellen						
		Heliodent		Gendex Expert DC		Focus		
		Zahn 46		Zahn 46		Zahn 46		
		mesial	distal	mesial	distal	mesial	distal	
Zentralstrahlangulation	orthoradial	●		●		●		
	mesial	10°	●		●		●	
		20°	●		●			
		30°						
	distal	10°		●		●	●	●
		20°			●			
		30°						
	koronal	10°	●	●	●	●	●	●
		20°	●	●	●	●	●	●
		30°	●		●	●	●	●
	kaudal	10°	●	●	●		●	
		20°	●		●		●	
		30°	●		●		●	

4. Diskussion

4.1. Methodenkritik

Pitts erklärt in seiner Veröffentlichung, dass die Bissflügelaufnahmen, die zur Diagnose der Approximalkaries angefertigt werden, nur zu einer Entscheidung beitragen sollen und somit keine quantitative Aussage über den Grad der Karies liefern (Pitts 1991). Aus diesem Grund beruht die in dieser Arbeit verwendete Methode zur Auswertung des Vorhandenseins einer Sekundärkaries auf dem subjektiven Empfinden von einer Zahnärztin und einem Studenten, die die Bilder diagnostizierten. Es existierten beim Befunden keine weiteren Abstufungen bezüglich des Schweregrades der Karies noch in der Detailerkennbarkeit der zu untersuchenden Regionen. Es handelte sich lediglich um eine Ja-Nein-Entscheidung.

Es wurde darauf geschaut, ob die Strukturen wie der Kronenrand und eine eventuell vorhandene Sekundärkaries so dargestellt waren, dass sie von beiden Untersuchenden erkannt wurden. Hierzu wurde auf eine gute Bildqualität, wie ausreichende Helligkeit, Kontrast, Intensität und Zeichenschärfe geachtet, die für die Befundung von Röntgenaufnahmen entscheidend sind (Pittayapat et al. 2010).

Aussagen aus der Literatur besagen, dass digitale Bilder, die mithilfe eines PC-Programms bearbeitet wurden, eine bessere Kariesdiagnostik zulassen (Li et al. 2002; Møystadt et al. 1996). In dieser Arbeit wurden die Aufnahmen jedoch bewusst in ihrem Ursprungszustand belassen und keine Veränderungen vorgenommen, damit ein späterer Vergleich möglich war.

Der Versuchsaufbau sollte sich möglichst nahe an die in-vivo Situation anlehnen. Deshalb wurden alle Zähne im Knochen und die zugehörigen Weichgewebe an der Mandibula belassen. Viele in-vitro Untersuchungen arbeiteten mit einzelnen extrahierten Zähnen, die dann häufig zur besseren Handhabung oder zur Simulation einer geschlossenen Zahnreihe in Kunststoffblöcken fixiert wurden (Ariji et al. 1999; Chadwick et al. 1999; Eli et al. 1996; Espelid et al. 1986; Jenkins et al. 1992; Jenkins et al. 1995; Li et al. 2002; Marthaler und Germann 1970; Sewerin 1981; Tveit et al. 1991).

Ein aus der Fallauswahl resultierender entscheidender Nachteil der gegenwärtigen Studie ist die niedrige Zahl der Präparate. Es war nur eine Mandibula mit Karies und eine ohne Karies vorhanden. Die erfolgten Untersuchungen haben somit nur einen beschreibenden Charakter und keine statistische Relevanz. Es sind weitere Untersuchungen mit einer höheren Fallzahl (n) nötig, um eine signifikante Aussage über den Einfluss der Winkelangulationen zu erhalten.

4.2. Auswertung der Darstellung der Sekundärkaries

Im Jahre 1986 durchgeführte Studien erklären, dass die Diagnose mittels konventioneller Röntgenaufnahmen, unabhängig von der Tiefe der Kariesläsion, nie sichergestellt werden kann. Es wurde festgestellt, dass einerseits intakte Schmelzoberflächen als kariös und andererseits Läsionen, die schon bis in die innere Hälfte des Dentins vorgedrungen waren, als intakt befundet wurden. Es wird jedoch auf die bessere Erkennbarkeit einer Läsion bei höherer Vordringtiefe der Karies und bei Schmelzeinbruch aufmerksam gemacht (Espelid und Tveit 1986 a; 1986 b). Diese Erkenntnisse wurden auch schon von Marthaler und Germann bestätigt. Sie stellten eine klinisch erhöhte Zahl an Karies fest (87%), wenn die Radioluzenz die äußere Dentinhälfte auf dem analogen Röntgenbild erreicht. Auch bei den Fällen mit einer Radioluzenz in der inneren Schmelzhälfte betrugen die positiven Fälle 66%. Im Gegensatz dazu konnten die Autoren nur 34% der Karies klinisch nachweisen, wenn die Radioluzenz nur die äußere Schmelzhälfte erreichte (Marthaler und Germann 1970).

Fehldiagnosen werden durch Artefakte hervorgerufen. Auch in der vorliegenden Studie sind Artefaktentstehungen zu beobachten. In Tabelle 5 ist dargestellt wie Artefakte im Falle von Präparat A zur falsch positiven Diagnose führen können. Besonders auffällig ist hierbei, dass jeweils der entferntere Approximalbereich zur Angulation des Zentralstrahls diese Aufhellungen zeigt. Dieser Sachverhalt ist eventuell dadurch zu erklären, dass der Röntgenstrahl bei mesialer oder distaler Ausrichtung mehr Zahnhartsubstanz durchdringen muss und somit ein verfälschtes Bild wiedergibt. Wird der Zentralstrahl jedoch parallel zu den Approximalflächen ausgerichtet (orthoradial, koronal, kaudal), ist eine Entstehung von Artefakten verringert. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der Situation ohne den Halter

(Tab. 7), ist zu sehen, dass auch hier die Parallelität des Zentralstrahls mit den approximalen Flächen ausschlaggebend für ein Artefakt-vermindertes Bild ist. Bei den koronalen Angulationen gibt es vereinzelt Abweichungen. Eine zusätzliche Fehlerquelle liegt in der Strahlendurchlässigkeit der metallischen Restauration. Die Ergebnisse vorausgegangener Untersuchungen mithilfe der konventionellen Technik zeigen, dass die Diagnose einer Sekundärkaries bei röntgenopaken Materialien erschwert ist, wobei die Darstellung der Karies bei weniger opaken Füllungen, wie zum Beispiel Komposit, besser ist (Espelid et al. 1991; Tveit et al. 1991). Am Übergang der strahlenundurchlässigen Goldkrone zum weniger opaken Zahn kommt es zur Entstehung eines Aufhellungs-Artefaktes, welches als dunkler Streifen zu erkennen ist, der dann häufig als Sekundärkaries diagnostiziert wird. Dieses Phänomen wird als „Machscher Streifen“ bezeichnet. Der Effekt begründet sich aus einer visuellen Illusion, durch die der Kontrast an der Übergangslinie von hell nach dunkel verstärkt wird (Espelid et al. 1991). In der Physiologie wird diese Kontrastverstärkung als „Grenzkontrast“ durch den Effekt des „Simultankontrasts“ in der Retina erklärt (Abb. 22). Er beruht auf der Verbesserung der Sehschärfe und Qualität durch die laterale Hemmung. Der hellere Teil wird dadurch noch heller und der dunklere Teil noch dunkler dargestellt. (Schmidt und Lang 2007).

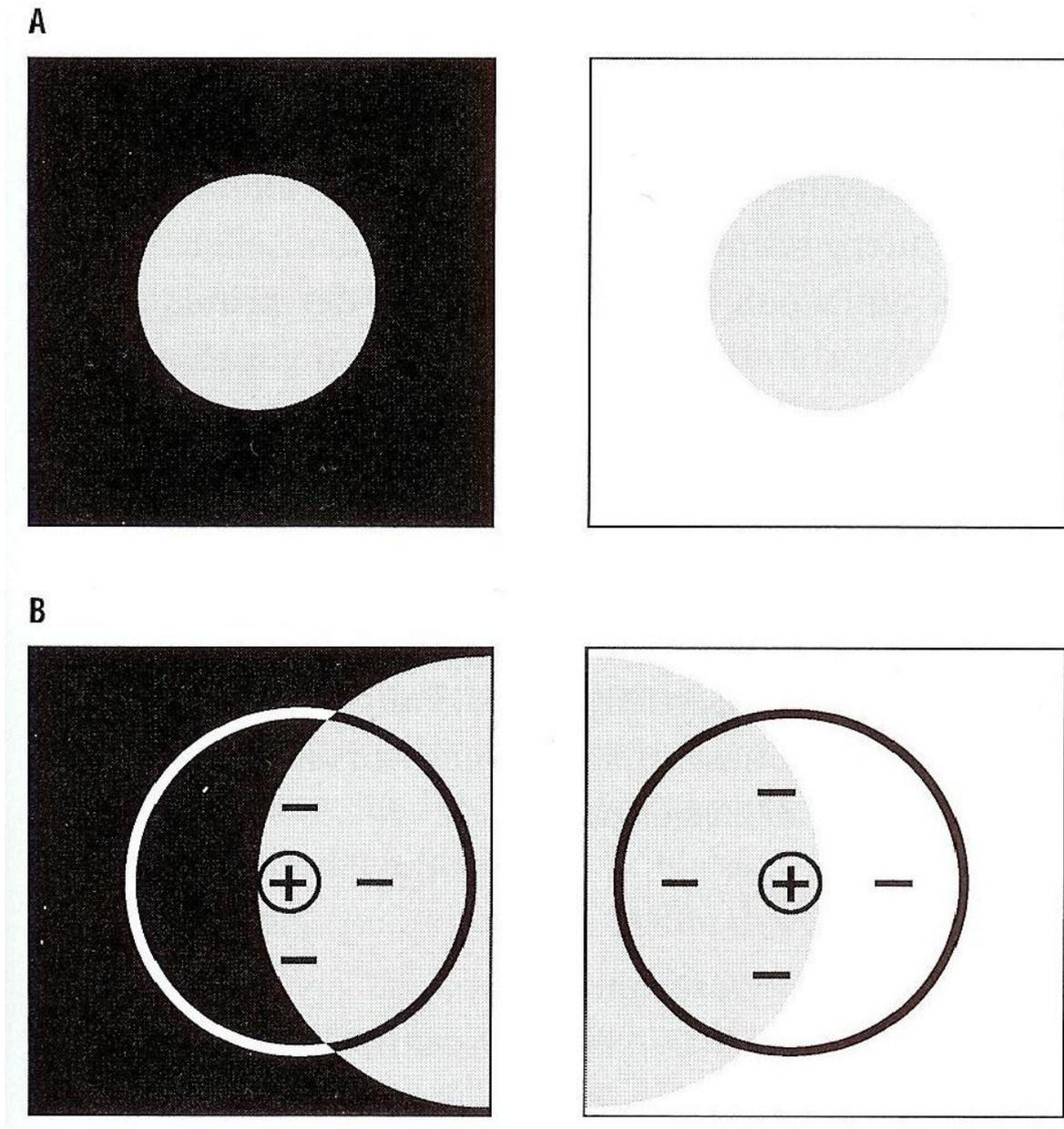


Abbildung 22: A stellt den visuellen Simultankontrast dar, B gibt die Erklärung des Grenzkontrastes. Durch das dunkle Umfeld wird weniger Hemmung ausgelöst, als durch das helle Umfeld. Der gleiche Grauton erscheint so links heller als rechts (Schmidt und Lang 2007).

Bei der Auswertung muss auch berücksichtigt werden, dass der „Burn-Out-Effekt“ Einfluss auf die Ergebnisse nimmt. Am Zahnhals befindet sich über dem Dentin des Zahnes weder Knochen noch Schmelz, sondern nur Gingiva. Der Röntgenstrahl wird somit im zervikalen Bereich weniger abgeschwächt. Dadurch kommt es zu Aufhellungen. Zusätzlich wird der Strahl im schmälere Approximalebene weniger abgeschwächt, als in der dickeren Mitte des Zahnes, was zu einer verstärkten Aufhellung approximal-zervikal

führt (Pasler 2008 a). Da die Kronen der Präparate dieses Versuchs sich nach weit zervikal erstrecken, ist der „Burn-Out-Effekt“ ein wichtiger Grund für die falsch positiven Diagnosen.

Eine weitere Ursache zur Entstehung von Artefakten begründet sich in der digitalen Sensortechnik selbst. Durch erhöhte Bestrahlung können Ladungen auf Nachbarpixel überlaufen und durch diese übernommen werden. Dieser sogenannte „Blooming-Effekt“ kann reduziert werden, indem die Dosis schwächer wird (Blendl et al. 2000; Eickhoff 2002). Da die Untersuchungen mit niedrigen kV-Zahlen und Belichtungszeiten durchgeführt wurden, kann der „Blooming-Effekt“ vernachlässigt werden.

Im Gegensatz zum kariesfreien Präparat A sind die Beobachtungen bei Präparat B mit Karies (Tab. 9) verschieden. Die vertikalen Röhreneinstellungen, bei denen der Zentralstrahl parallel zu den Approximalfächchen verläuft, zeigen die mesiale klinische Situation bei den koronalen Abweichungen nicht. Es sollte mesial eine Aufhellung vorhanden sein, da sich dort eine Karies befindet. Stattdessen wird der Zahn so dargestellt, dass er als gesund diagnostiziert werden kann. Dies widerspricht den Ergebnissen der Studie von Ariji et al., in der horizontal und vertikal exzentrische Röntgenbilder von extrahierten Zähnen mittels einem auf CCD-Technik basierten digitalen Systems erstellt und diese auf Karies im Approximalbereich hin untersucht wurden. Man kam zu dem Schluss, dass die vertikalen Angulationen weniger Einfluss auf die Kariesdiagnose nehmen als die horizontalen (Ariji et al. 1999). Es konnte auch nicht die Aussage einer anderen Veröffentlichung bestätigt werden, derzufolge eine vorhandene Kavität durch horizontale Angulationen auf analogen Bildern vergrößert dargestellt wird. Der Grund hierfür liegt in dem geometrischen Sachverhalt des exzentrisch einfallenden Röntgenstrahls auf den Sensor (Chadwick et al. 1999). Weiterhin sollte nach Beobachtungen von Sewerin eine Karies, die schon bis ins Dentin vorgedrungen ist, unabhängig von den horizontalen Winkeln auf analogen Aufnahmen immer sichtbar sein, wenn auch in ihrer Ausdehnung verändert (Sewerin 1981). Da sich die Karies in der gegenwärtigen Untersuchung auch im Dentin befindet, jedoch lediglich bei zwei der sechs horizontalen Abweichungen sichtbar war, konnte auch diesbezüglich keine Übereinstimmung mit der Literatur beobachtet werden. Selbst der Veröffentlichung von Espelid und Tveit kann nur teilweise zugestimmt werden. Sie untersuchten die Angulationen in einer horizontalen Spanne von 25° und stellten fest, dass diese keinen Einfluss auf die Diagnose der Karies auf analogen Bildern

haben (Espelid und Tveit 1984). Im vorliegenden Fall ist die Karies jedoch nur bei 10° mesial und 10° distal zu sehen.

Der Grund für die schlecht darstellbare Karies im Approximalbereich liegt im „Additionseffekt“. Intakte Schmelzoberflächen des Nachbarzahnes oder des kariösen Zahnes können durch eine horizontal exzentrische Angulation auf das Bild projiziert werden und somit die Verschattung verstärken. Dies führt dann unter Umständen zur kariesfreien Diagnose (Pasler 2008 c). Werden nun unter diesem Gesichtspunkt auch die vertikalen Abweichungen betrachtet, kann man davon ausgehen, dass dort auch der „Additionseffekt“ Einfluss nimmt. Der Zahn wird nach koronal hin breiter, wodurch der vertikal ausgerichtete Röntgenstrahl mehr gesunde Zahnhartsubstanz durchdringen muss. Dies erklärt auch, dass bei der orthoradialen Einstellung und den leicht kaudalen Angulationen die Karies sichtbar war. Erst bei 30° kaudal war der Strahl so ausgerichtet, dass er durch die sich verbreiternde Krone verlief.

Es ist auffällig, dass die mesiale Karies bei 10° distal sehr gut sichtbar ist. Der Grund hierfür kann ein Artefakt sein, das in diesem Fall als die vorhandene Karies gesehen wird und somit ein falsch richtiges Ergebnis liefert. Auch bei den Versuchen ohne den Halter ist dasselbe Ergebnis zu erkennen (Tab. 11). Wie auch im Falle mit Halter kann die Karies durch die 10° distal angulierte Röhre nachgewiesen werden.

In der Literatur wurde beobachtet, dass bei digitalen Aufnahmen vor allem die horizontalen Angulationen die Sensitivität der Kariesdiagnose und die vertikalen Winkel die Spezifität negativ beeinflussen (van der Stelt et al. 1989). Überträgt man dies auf die Ergebnisse der gegenwärtigen Studie, so kann dies nur teilweise bestätigt werden. Es ist im Falle von Präparat A zu erkennen, dass sich die Diagnose eines gesunden Zahnes genau anders herum verhält. Die vertikalen Winkel zeigen den gesunden Zahn besser als die horizontalen. Somit wirken sich die vertikalen Abweichungen positiv auf die Sensitivität aus. Betrachtet man Präparat B ist, bezogen auf die horizontalen Winkel, die Spezifität der mesialen Karies verschlechtert. Dies trifft jedoch auch auf viele vertikale Winkel zu, wodurch keine ausreichende Bestätigung der Aussage von van der Stelt gegeben werden kann.

Werden nun diese Ergebnisse im Hinblick auf die unterschiedlichen Röhren hin untersucht, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob eine der Röhren besser diagnostizierbare Bilder liefert. Einzig die Röhre Heliodont stellte bei keiner orthoradialen Aufnahme die

vorhandene Sekundärkaries dar. Wie schon in 2.3.1. erwähnt, gibt es Unterschiede bezüglich der Brennflecke, der kV-Zahlen und der Belichtungszeiten. Diese Differenzen sind offenbar zu klein, um dadurch für das Auge des Untersuchenden aussagekräftige Veränderungen auf den Röntgenbildern sichtbar zu machen. Svenson und Petersson stellten in ihrer Studie, in der sie die Genauigkeit der Kariesdiagnostik analoger Filme mit verschiedenen Röhren untersuchten, keinen signifikanten Unterschied der Aufnahmen fest (Svenson und Petersson 1989). Diese Aussage wird von der vorliegenden Untersuchung gestützt. Es konnte somit die Vermutung, dass die Röhre Gendex Expert DC aufgrund des kleineren Brennflecks schärfere und damit besser befundbare Bilder erzeugt, nicht bestätigt werden.

4.3. Auswertung der Darstellung der insuffizienten Kronenränder

An Präparat A ist zu sehen, dass auch hier die Bilder mit Halter vergleichbar sind mit denen die ohne Halter aufgenommen wurden. Der mesiale Kronenrand wird bei den vertikalen Angulationen nur bei 10° koronal mit Halter abstehend gezeigt. Es ist weiterhin zu beachten, dass alle kaudalen Winkel keinen der Kronenränder, der Realität entsprechend, überstehend darstellen. Diese Beobachtung entspricht der Aussage von Hakansson et al., der in seiner Studie überstehende Restaurationsränder in Abhängigkeit der vertikalen Angulation auf analogen Röntgenbildern gemessen hat. Er erklärt, dass durch die vertikale Angulation das Ausmaß des Überhanges eher unbedeutend ist, somit ein Risiko besteht, diesen Überhang zu unterschätzen (Hakansson et al. 1973).

Bei den horizontalen Abweichungen ist zu erkennen, dass die Sichtbarkeit des insuffizienten Restaurationsrandes stärker von einzelnen Winkeln abhängig ist. Eine Erklärung hierfür zeigt das Schema in Abbildung 23. Fällt der Röntgenstrahl so ein, dass er parallel zu einem der Räume zwischen dem Kronenrand und des Zahnes verläuft, kann der insuffiziente Kronenrand im Röntgenbild sichtbar sein. Dies ist auch dann der Fall, wenn der Röntgenstrahl mesial oder distal anguliert ist. Da aber der Kronenrand in den meisten Fällen nicht gleichmäßig abstehend ist, führt dies dazu, dass er jeweils mesial oder distal nur auf bestimmten angulierten Rö-Bildern zu sehen ist (Abb. 24).

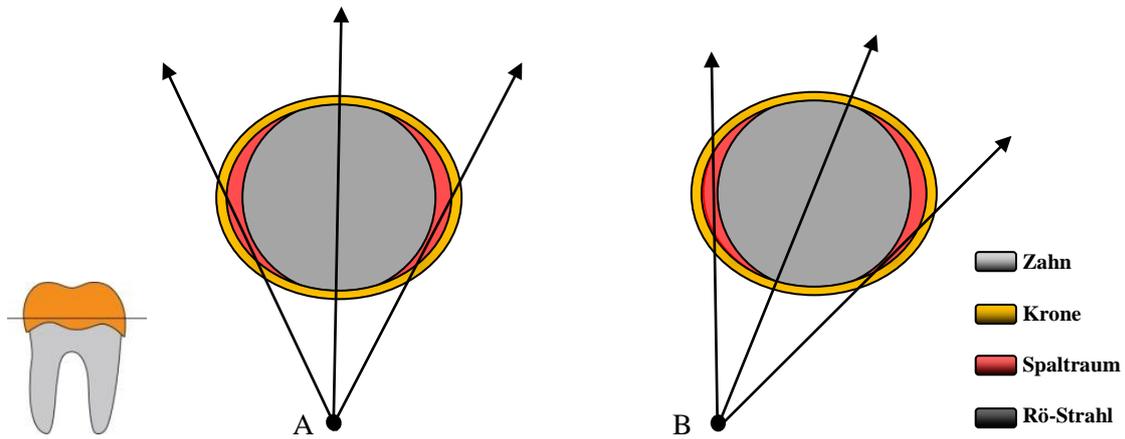


Abbildung 23: Schema eines horizontalen Schnitts durch einen überkronten Zahn mit gleichmäßig abstehenden approximalen Rändern. Der graue Kreis stellt den Zahn dar, der gelbe Ring die Krone, die schwarzen Pfeile den divergierenden Röntgenstrahl mit dem Zentralstrahl und der rote Raum den abstehenden Kronenrand. A zeigt die Situation bei orthoradialer Angulation, B zeigt die Situation bei horizontal abweichender Angulation. Die Strahlen breiten sich divergierend aus, da es sich um eine punktförmige Strahlenquelle handelt.

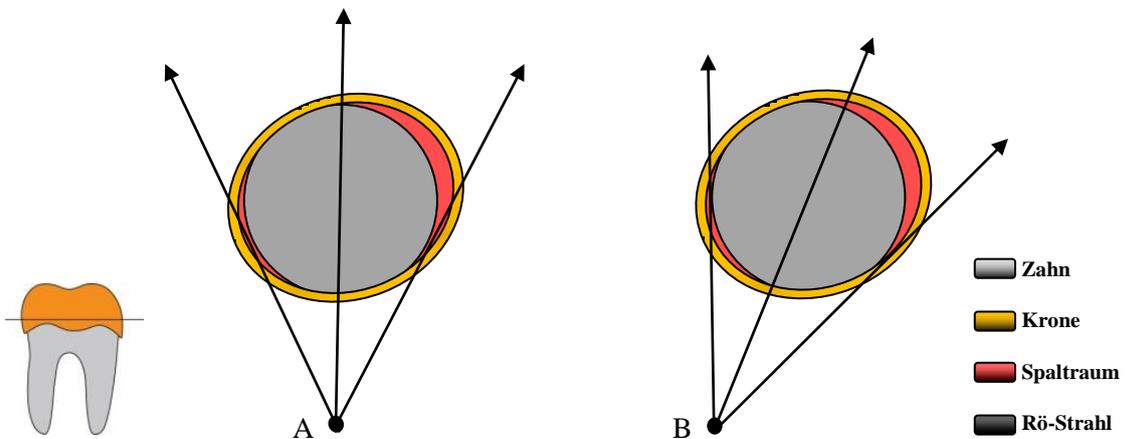


Abbildung 24: Schema eines horizontalen Schnitts durch einen überkronten Zahn mit ungleichmäßig abstehenden approximalen Rändern. Der graue Kreis stellt den Zahn dar, der gelbe Ring die Krone, die Pfeile den divergierenden Röntgenstrahl mit dem Zentralstrahl und der rote Raum den abstehenden Kronenrand. A zeigt die Situation bei orthoradialer Angulation, B zeigt die Situation bei horizontal abweichender Angulation. Die Strahlen breiten sich divergierend aus, da es sich um eine punktförmige Strahlenquelle handelt.

Präparat B unterstützt diese Aussage. Selbst bei der orthoradialen Aufnahme ist der distale insuffiziente Kronenrand nicht sichtbar, weder mit noch ohne Halter. Die kaudalen Angulationen zeigen nun den mesialen Kronenrand deutlich abstehend, was bei Präparat A vorher nicht der Fall war. Auf den koronalen Aufnahmen sind beide Kronenränder insuffizient abgebildet, wohingegen beim anderen Präparat nur der distale Kronenrand sichtbar war. Zusätzlich ist der distale Kronenrand auch bei den kaudalen Angulationen immer zu sehen. Dieser Fall steht somit im Widerspruch zu Präparat A und der Beobachtung von Hakansson et al..

Werden die unterschiedlichen Röhren miteinander verglichen, kommt man zu demselben Ergebnis wie beim Vergleich hinsichtlich der Sekundärkaries. Es können keine aussagekräftigen Unterschiede festgestellt werden. Dies begründet sich in diesem Fall weniger durch die Diskrepanzen in den Einstellungen wie kV-Zahlen, Belichtungszeiten oder Brennflecke, sondern mehr durch die zuvor erwähnten geometrischen Gegebenheiten. Die Einstellungen der verschiedenen Systeme nehmen darauf geringen Einfluss. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um eine eventuelle Auswirkung der geringen Unterschiede der Röhren feststellen zu können.

Beide Techniken, mit und ohne Halter, weisen bezüglich des Restaurationsrandes wie im Falle der Sekundärkaries auch nur geringe Unterschiede auf. Dies führt zu dem Schluss, dass es von geringer Bedeutung ist, ob in der Praxis der Halter für Aufnahmen im Approximalbereich verwendet wird. Bei den exzentrischen Aufnahmen hängt es vielmehr davon ab, ob der Zahnarzt, die ZFA oder die MTRA den Sensor richtig parallel zum Zahn platziert, wenn ohne Halter gearbeitet wird. Somit wird das Bild bei exzentrischen Abweichungen nicht zusätzlich verzerrt, da der Röntgenstrahl im gleichen Winkel auf den Zahn und den Sensor trifft. Es kann daraus geschlossen werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Erfahrung des Teams, welches die Aufnahmen anfertigt, und den möglichen Einstellungsfehlern besteht. Die Notwendigkeit der systematischen Einarbeitung von Mitarbeitern ist im QM-Handbuch der MKG-Abteilung der Universität Ulm vermerkt. Der Kenntnisstand aller Beteiligten an der Anfertigung eines Röntgenbildes ist somit ein entscheidendes Qualitätsmerkmal (Geibel 2010). In einer Veröffentlichung zur europäischen Röntgenausstattung wird auch darauf aufmerksam gemacht, dass Schulungen und Fortbildungen unerlässlich im Umgang mit den Geräten und des Equipments sind (Gallagher et al. 2008).

4.4. Auswirkungen auf den Strahlenschutz

Die Röntgenverordnung erklärt, dass die Strahlenexposition des Patienten immer so gering wie möglich zu halten ist. Dies gilt auch für Strahlenwerte, die sich unterhalb der Grenzwerte befinden (Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie in der DGZMK 2003; Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie in der DGZMK 2005). Der Grund für die maximale Minimierung der Exposition liegt in dem linearen Zusammenhang des Krebsrisikos mit der Strahlendosis. Es wird davon ausgegangen, dass es keine Schwellendosis für die Entstehung eines Tumors durch die Röntgenstrahlung gibt und so durch jede noch so geringe Exposition ein Risiko besteht (Bundesamt für Strahlenschutz 2009).

Die Strahlenbelastung für den Patienten kann durch niedrigere Belichtungszeiten verringert werden. In dieser Untersuchung wurde beobachtet, dass zahnärztliche Röntgenaufnahmen des Approximalbereichs auch durch Verminderung dieser Einstellungen noch gut zu diagnostizieren sind. In vorangegangenen Untersuchungen wurde bestätigt, dass die für diese Arbeit wichtige approximale Kronenregion auch durch qualitativ minderwertigere Aufnahmen ausreichend diagnostiziert werden kann (Hellstern 2011). Diese Feststellung ist entscheidend für den Strahlenschutz bei intraoralen Aufnahmen. Es kann dadurch eine Dosisminderung für den Patienten erfolgen. Es wurde jedoch beobachtet, dass Zahnärzte trotz alledem häufig zu längeren Bestrahlungszeiten tendieren, um qualitativ bessere Bilder zu erhalten (Hellstern 2011; Petrikowski 2005).

Die niedrigeren kV-Zeiten führen zu einem besseren Kontrast des Bildes, erhöhen jedoch die Dosis auf der Haut. Höhere kV-Zeiten produzieren erhöhte Streuung und eine verstärkte Dosis in tieferen Gewebeschichten. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die kV-Zeiten niedrig zu wählen, da sich somit die Strahlenbelastung für den Patienten nur auf den Hautbereich beschränkt und die Bildqualität verbessert wird (European Commission 2004).

Zusätzlich trägt die Verwendung des digitalen Sensors entscheidend zum Strahlenschutz bei, da die konventionellen analogen Filme eine nahezu doppelt so hohe Bestrahlung benötigen, was auf der niedrigeren Empfindlichkeit beruht. Dies ist unabhängig davon, welche Art von digitalem Empfänger verwendet wird (Blendl et al. 2000; European Commission 2004). Es ist jedoch nachgewiesen, dass die digitalen Sensoren aufgrund ihrer nicht vorhandenen Flexibilität und der kleineren Aufnahmefläche häufiger

Folgeaufnahmen nach sich ziehen, da nicht alle zu untersuchenden Areale auf dem Bild abgebildet wurden. Dadurch wird der Vorteil der geringeren Dosis für den Patienten gemindert (Wenzel und Møystadt 2010).

5. Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Einflüssen der Winkelangulationen der Röntgenröhre, den Einflüssen der Röhrensysteme und der Einstellungstechniken bei intraoralen Aufnahmen. Untersucht wurde die Richtigkeit der Diagnose bei der Befundung von Sekundärkaries und Kronenrand im Approximalbereich. Hierzu wurden zwei Mandibeln mit einer metallischen Kronenrestauration im Molarenbereich verwendet. Die Röntgenaufnahmen wurden mithilfe der digitalen Sensortechnik erstellt und im Nachhinein mit der realen klinischen Situation verglichen.

Die Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang der exzentrischen Angulationen mit dem Auftreten von Aufhellungsartefakten am Kronenrand. So ist vor allem im Falle eines gesunden Zahnes die Gefahr einer falsch positiven Kariesdiagnose gegeben, was dann zu einer überflüssigen Therapie führen kann. Die Artefakte entstehen bei mesialer Angulation bevorzugt im distalen Approximalbereich und bei distaler Angulation genau umgekehrt. Die koronalen Winkel führten distal zu Artefakten, wobei die kaudalen Winkel meist gute Ergebnisse lieferten. Ist eine Sekundärkaries klinisch vorhanden, kann aufgrund der Ergebnisse geschlossen werden, dass die falsch negativen Diagnosen überwiegen und somit die Karies auch mit Kavitation häufig unentdeckt bleibt. Sie wurde nur auf 27 von 78 Aufnahmen sichtbar. Betrachtet man nur die orthoradialen Bilder, ist auffällig, dass bei der Röhre Heliodent beide orthoradialen Angulationen die Karies nicht darstellten, jedoch die vier orthoradialen Aufnahmen mit den anderen Röhren gute Ergebnisse aufzuweisen hatten.

Bei der Untersuchung der Röntgenbilder mit Blick auf den insuffizienten Kronenrand weisen die Ergebnisse starke Unterschiede bei den Angulationen auf. So kann der Kronenrand nur der Realität entsprechend dargestellt werden, wenn der Röntgenstrahl längs durch den Spalt zwischen Zahn und Restauration verläuft. Ein Grund ist die Divergenz des Strahlenbündels, welche es erschwert einen bestimmten Winkel einzustellen.

Belegt wurde mit dieser Untersuchung, dass vor allem bei mesial, distal und koronal exzentrischen Winkeln die Kariesdiagnose mit Vorsicht zu stellen ist, da sich hinter der Aufhellung am Kronenrand häufig ein Artefakt verbirgt. Somit wird die Gefahr einer

Übertherapie minimiert. Falls das Röntgenbild einen gesunden Zahn zeigt, sollte zusätzlich noch eine klinische Befunderhebung erfolgen, da eine bestehende Karies häufig maskiert ist. Es können so falsch negative Diagnosen am Röntgenbild aufgeklärt werden.

Zur Untersuchung des Kronenrands lässt sich zusammenfassen, dass die Winkel immer fallbezogen eingestellt werden müssen. Da diese Winkel abhängig von der Breite und Ausdehnung des Spalts sind, kann im Voraus keine Aussage über den Grad der optimalen Angulation zur Diagnose des approximalen Restaurationsrandes getroffen werden. Es sind weitere Untersuchungen mit suffizienten und insuffizienten Kronen nötig, um eine Aussage über die Abhängigkeit der Winkelangulationen und der Diagnose bezüglich des Kronenrands zu geben.

Im Zusammenhang mit der Kariesdiagnose ist entscheidend, dass bei der Befunderhebung eines Röntgenbildes auf die orthoradiale Ausrichtung des Zentralstrahls auf den zu diagnostizierenden Zahn geachtet wird. Die korrekte Angulation und Filmpositionierung sind abhängig von der Person, die die Einstellungen vornimmt. Somit ist eine Fort- und Weiterbildung sowie eine ausführliche Einarbeitung des Personals in das Equipment von grundlegender Bedeutung.

6. Literaturverzeichnis

1. Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie in der DGZMK:
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2003 Teil I Nr. 17, ausgegeben zu Bonn am 5. Mai 2003: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung – RöV).
<http://www.xn--ar-gka.net/uploads/media/roev.pdf>
abgerufen am: 01.08.2011
2. Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie in der DGZMK:
Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin vom 22. Dezember 2005.
<http://www.xn--ar-gka.net/uploads/media/rilifachkunderoevmedizin.pdf>
abgerufen am: 01.08.2011
3. Ariji Y, Shimizu Y, Okano T, Matsui O, Naitoh M, Yuasa H, Takahashi J, Iida H, Hasegawa J, Senda A, Ariji E: Influence of X-ray beam angulation in the detection of proximal caries: Interobserver agreement in the CCD system. *Oral Radiol* 15: 27-35 (1999)
4. Bernaerts A, Vanhoenacker FM, Geenen L, Quisquater G, Parizel PM: Conventional dental radiology: what the general radiologist needs to know. *Jbr-Btr* 89: 23-32 (2006)
5. Blendl C, Stengel C, Zdunczyk S: Vergleichende Untersuchung analoger und digitaler intraoraler Röntgenbild-Empfängersysteme. *ROFO Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed* 172: 534-541 (2000)
6. Bundesamt für Strahlenschutz:
Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen (2009)
<http://www.bfs.de/de/ion/medizin/Medizin.pdf>
abgerufen am: 01.08.2011

7. Chadwick BL, Dummer PM, van der Stelt PF: The effect of alterations in horizontal X-ray beam angulation and bucco-lingual cavity width on the radiographic depth of approximal cavities. *J Oral Rehabil* 26: 292-301 (1999)
8. Düker J: Physikalisch-technische Grundlagen; In: Düker J Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie, 1. Auflage, Elsevier GmbH München, Urban & Fischer: 9 (2006 a)
9. Düker J: Projektionslehre; In: Düker J Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie, 1. Auflage, Elsevier GmbH München, Urban & Fischer: 77-83 (2006 b)
10. Düker J: Intraorale Aufnahmen; In: Düker J Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie, 1. Auflage, Elsevier GmbH München, Urban & Fischer: 89-98 (2006 c)
11. Eickhoff M: Vergleichende Untersuchung konventioneller und digitaler intraoraler Röntgentechnik in der Tierzahnmedizin. Med Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover (2002)
12. Eli I, Weiss EI, Tzohar A, Littner MM, Gelernter I, Kaffe I: Interpretation of bitewing radiographs. Part 1. Evaluation of the presence of approximal lesions. *J Dent* 24: 379-383 (1996)
13. Espelid I: Radiographic diagnoses and treatment decisions on approximal caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 14: 265-270 (1986)
14. Espelid I, Tveit AB: Clinical and radiographic assessment of approximal carious lesions. *Acta Odontol Scand* 44: 31-37 (1986 a)
15. Espelid I, Tveit AB: Diagnostic quality and observer variation in radiographic diagnoses of approximal caries. *Acta Odontol Scand* 44: 39-46 (1986 b)
16. Espelid I, Tveit AB: Radiographic diagnosis of mineral loss in approximal enamel. *Caries Res* 18: 141-148 (1984)

17. Espelid I, Tveit AB, Erickson RL, Keck SC, Glasspoole EA: Radiopacity of restorations and detection of secondary caries. *Dent Mater* 7: 114-117 (1991)
18. European Commission: European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice. Issue N° 136 (2004)
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/136_en.pdf
abgerufen am: 03.08.2011
19. Gallagher A, Dowling A, Devine M, Bosmans H, Kaplanis P, Zdesar U, Vassileva J, Malone JF: European survey of dental X-ray equipment. *Radiat Prot Dosim* 129: 284-287 (2008)
20. Geibel M-A: Qualitätsmanagementhandbuch des Universitätsklinikums Ulm der Abteilung für Mund-, Kiefer-, und Gesichtschirurgie. Version 7.0 (2010)
21. Hakansson H, Johansson O, Bjorn H: Roentgenographic assessment of overhanging margins of dental restorations. II. Significance of variations in vertical angulation of the roentgen beam. *Odontol Revy* 24: 245-256 (1973)
22. Hellstern F: Qualitätssicherung von digitalen Zahnfilmen. Umsetzung von Rechtfertigung und Dosisersparung in der Dento-maxillo-facialen Radiologie. Med Dissertation, Universität Ulm (2011)
23. Instrumentarium Dental: Technische Spezifikationen der Röhre Focus
<http://www.instrumentariumdental.com/products/focus/technical-specifications.aspx>
abgerufen am: 28.07.2011
24. Jenkins SM, Dummer PM, Addy M: An in vitro study of the influence of X-ray beam angulation on the radiographic images of the amelocemental junction and simulated alveolar crest. *J Oral Rehabil* 19: 629-637 (1992)
25. Jenkins SM, Dummer PM, Newcombe RG: Radiographic amelocemental junction and alveolar crest: effect of X-ray beam angulation. *J Oral Rehabil* 22: 679-684 (1995)

26. KaVo: Visualix eHD, Benutzer- und Wartungshandbuch (2004)
http://www.kdm-online.de/sites/default/files/GA_Visualix_eHD.pdf
abgerufen am: 26.07.2011
27. KaVo: Gendex Expert DC Bedienungsanleitung (2007)
http://www.kdm-online.de/sites/default/files/Bedienungsanleitung_expert.pdf
abgerufen am: 26.07.2011
28. Laubenberger T: Zeittafel; In: Laubenberger T Technik der medizinischen Radiologie, 5. Auflage, Deutscher Ärzte-Verlag Köln: 31 (1990)
29. Li G, Yoshiura K, Welander U, Shi XQ, Mc David WD: Detection of approximal caries in digital radiographs before and after correction for attenuation and visual response. An in vitro study. Dentomaxillofac Radiol 31: 113-116 (2002)
30. Marthaler TM, Germann M: Radiographic and visual appearance of small smooth surface caries lesions studied on extracted teeth: Caries Res 4: 224-242 (1970)
31. Meiners H: Projektionsregeln; In: Meiners H Röntgenphysik und Strahlenschutz für Zahnmediziner: Eine Einführung für Studium und Praxis. 1. Aufl., Carl Hanser München Wien: 71 (1981)
32. Møystad A, Svanaes DB, Risnes S, Larheim TA, Grøndahl H-G: Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film. Dentomaxillofac Radiol 25: 202-206 (1996)
33. Nysether S, Hansen BF: Errors on dental bitewing radiographs. Community Dent Oral Epidemiol 11: 286-288 (1983)
34. Pasler FA: Einführung in die Röntgenanatomie des Zahnes und der ihn umgebenden Strukturen; In: Pasler FA Zahnärztliche Radiologie, 5. Auflage, Thieme Stuttgart New York: 103 (2008 a)
35. Pasler FA: Die praktische Anwendung der Projektionslehre; In: Pasler FA Zahnärztliche Radiologie, 5. Auflage, Thieme Stuttgart New York: 95 (2008 b)

36. Pasler FA: Panoramaaufnahmen und Zusatzprogramme in der Zahnmedizin; In: Pasler FA Zahnärztliche Radiologie, 5. Auflage, Thieme Stuttgart New York: 235 (2008 c)
37. Patel JR: Intraoral radiographic errors. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 48: 479-483 (1979)
38. Petrikowski CG: Introducing digital radiography in the dental office: an overview. J Can Dent Assoc 71: 651 (2005)
39. Pitts NB: The diagnosis of dental caries: 2. The detection of approximal, root surface and recurrent lesions. Dent Update 18: 436-438 (1991)
40. Pitts NB: Monitoring of caries progression in permanent and primary posterior approximal enamel by bitewing radiography. Community Dent Oral Epidemiol 11: 228-235 (1983)
41. Pittayapat P, Thevissen P, Fieuws S, Jacobs R, Willems G: Forensic oral imaging quality of hand-held dental X-ray devices: Comparison of two image receptors and two devices. Forensic Sci Int 194: 20-27 (2010)
42. Schmidt RF, Lang F: Sehen und Augenbewegungen; aus: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie, 30. Auflage, Springer Medizin Heidelberg: 398-399 (2007)
43. Serman N, Singer SR: The history of dental radiology. N Y State Dent J 61: 78-81 (1995)
44. Sewerin I: Influence of X-ray beam angulation upon the radiographic image of proximal carious lesions. Community Dent Oral Epidemiol 9: 74-78 (1981)
45. Sirona: Heliodont DS Gebrauchsanweisung (2005)
46. Svenson B, Petersson A: Accuracy of radiographic caries diagnosis using different X-ray generators. Dentomaxillofac Radiol 18: 68-71 (1989)

47. Syriopoulos K, Sanderink GC, Velders XL, van der Stelt PF: Radiographic detection of approximal caries: a comparison of dental films and digital imaging systems. *Dentomaxillofac Radiol* 29: 312-318 (2000)
48. Thunthy KH: Illusions due to wrong angulations of the X-ray beam. *LDA J* 45: 11-14 (1986)
49. Tveit AB, Espelid I, Erickson RL, Glasspoole EA: Vertical angulation of the X-ray beam and radiographic diagnosis of secondary caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 19: 333-335 (1991)
50. van Aken J: Limitations in clinical diagnosis of dental caries of approximal surfaces. *Adv Fluorine Res* 4: 89-92 (1966)
51. van der Stelt PF, Ruttiman UE, Webber RL, Heemstra P: In vitro study into the influence of X-ray beam angulation on the detection of artificial caries defects on bitewing radiographs. *Caries Res* 23: 334-341 (1989)
52. van der Stelt PF: Filmless imaging: the uses of digital radiography in dental practice. *J Am Dent Assoc* 136: 1379-1387 (2005)
53. Wenzel A, Møystad A: Work flow with digital intraoral radiography: A systematic review. *Acta Odontol Scand* 68: 106-114 (2010)

7. Danksagung

Ich danke allen Menschen, durch die die Erstellung dieser Arbeit möglich gemacht wurde:

Ich danke vor allem den beiden Spendern, die sich der Forschung freigegeben haben und entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich danke PD Dr. Margrit-Ann Geibel für die tolle Betreuung, für die tatkräftige Unterstützung bei der Befundung der Aufnahmen und der Hilfe bei allerlei Fragen.

Ich danke dem Institut für Anatomie und Zellbiologie, allen voran Prof. Dr. Tobias M. Böckers, für die Bereitstellung der Körperspender und den Präparatoren Frau Kroner und Herrn Voigt danke ich für die aktive Betreuung bei der Vorbereitung der Präparate.

Ich danke den MTRAs Frau Kießlich und Frau Talović für die Einweisung in die Bedienung des Röntgenequipments und der freundlichen Hilfe bei aufgetretenen Unklarheiten.

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Frehse für die Anfertigung der Schnittbilder, Herrn Püschel für die Erstellung der Fotos und Frau Wachter für die Hilfe beim Graphikdesign.

Danke an die Firma KaVo Dental für die Bereitstellung der zwei Röhren.

Ich danke meiner Familie für die Möglichkeit meines Studiums an der Universität Ulm, besonders danke ich Julia Speidel für die Motivation und Geduld während der gesamten Zeit.

8. Lebenslauf

Der Lebenslauf ist in der elektronischen Fassung aus Datenschutzgründen nicht enthalten