Aus der Poliklinik für präventive Zahnmedizin,
Parodontologie und Kariologie
(Komm. Direktor: Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann)

im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Symmetrie von Wurzelkanälen in Unterkieferfrontzähnen- eine Auswertung
von Digitalen Volumentomographien (DVTs)

INAUGURAL- DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät der
Georg- August- Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Marie Sophie Bohlender

aus

Duderstadt

Göttingen 2013

Dekan:	Prof. Dr. H. K. Kroemer
I.Berichterstatter/in:	Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann
II.Berichterstatter/in:	PD Dr. med. Jan Menke
III.Berichterstatter/in:	Prof. Dr. med. dent. Rainer Mausberg
Tag der mündlichen Prüfung:	26.03.2014

Inhalt

1. EINLEITUNG	4
2.LITERATURÜBERSICHT	5
2.1 ANATOMIE DER UNTERKIEFERFRONTZÄHNE	5
2.1.1 <i>Makroskopische Anatomie</i>	5
2.2 WURZELKANALMORPHOLOGIE	7
2.2.1 <i>Kanalklassifikation nach Benjamin et al. (1974)</i>	7
2.2.2 <i>Kanalklassifikation nach Vertucci et al. (1984)</i>	7
2.2.3 <i>Kanalklassifikation nach Kartal und Yanikoglu (1992)</i>	8
2.2.4 <i>Kanalklassifikation nach Weine et al. (1999)</i>	8
2.3 TECHNIKEN ZUR UNTERSUCHUNG DER WURZELKANALANATOMIE	9
2.4 DIGITALE VOLUMENTOMOGRAPHIE (DVT)	15
2.4.1 <i>Indikationen zur DVT</i>	16
2.4.2 <i>DVT in der Endodontie</i>	16
2.4.3 <i>Darstellungen des Alveolarknochens und anatomischer Strukturen</i>	25
2.4.4 <i>Vergleich zwischen DVT und konventionellem/digitalem Röntgen</i>	25
2.4.5 <i>Vergleich zwischen DVT und CT</i>	27
2.5 COMPUTERTOMOGRAPHIE.....	28
2.6. ZIELE DER STUDIE.....	29
3. MATERIAL UND METHODE	30
3.1. ADMINISTRATIVE VORBEREITUNGEN.....	30
3.2. UNTERSUCHUNGSORT UND ZEITRAUM	31
3.3. AUSWAHL DER DVT-SCANS	31
3.3.1 <i>Einschlusskriterien</i>	31
3.3.2 <i>Ausschlusskriterien</i>	32
3.3.3 <i>Präsentation der Stichprobe /Anzahl der DVT-Aufnahmen</i>	32
3.4 EINSTELLUNGEN DES DVT-GERÄTES.....	33
3.5 PATIENTENPOSITIONIERUNG	33
3.6 PATIENTENEINSTELLUNG	34
3.7 UNTERSUCHUNGSABLAUF/ SCREENING DER DVT-AUFNAHMEN/ ANWENDUNG FÜR SECONDVIEWER	34
3.8 UNTERSUCHER	39
3.9 STATISTIK	39
4. ERGEBNISSE	40
4.1 GESCHLECHTERVERTEILUNG DER STUDIENTEILNEHMER	40
4.2 ALTERSVERTEILUNG	40
4.3 AUSWERTUNG NACH ALTERSGRUPPEN	41
4.4. AUSWERTUNG NACH ZAHNGRUPPEN	44
4.5 MORPHOLOGIE	46
4.5.1 <i>Verteilung der Wurzelkanalmorphologien innerhalb der Zahngruppen</i>	46
4.6 SYMMETRIE	49
4.6.1 <i>Bilaterales Vorkommen des zweiten Wurzelkanals</i>	49
4.6.2 <i>Bilaterales Vorkommen der unterschiedlichen Wurzelkanalmorphologien</i>	49
4.7 ZUSAMMENFASSUNG	52
5. DISKUSSION	56
5.1 DISKUSSION DER METHODIK	57

5.1.1 Bewertung des Studiendesigns	57
5.1.2 Bewertung der Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	57
5.1.3 Anzahl der untersuchten Zähne	57
5.1.4 Bewertung der Messmethode	58
5.1.5 Bewertung der Röntgenmethodik	59
5.2. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	60
5.2.1. Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer	60
5.2.2 Alter der Studienteilnehmer	60
5.2.3 Prävalenz des zweiten Wurzelkanals	60
5.2.4 Kanalklassifikationen	63
5.2.4.1 Kanalmorphologie Typ 1-1	63
5.2.5 Symmetrie im Seitenvergleich	65
5.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	67
6. ZUSAMMENFASSUNG	68
7. ANHANG	69
7.1 ANAMNESEBOGEN INKL. PATIENTENEINWILLIGUNG (IM FOLGENDEN MIT GRÜN MARKIERT) ..	69
7.2 KREUZTABELLEN ZUR STATISTISCHEN AUSWERTUNG	71
7.3 ALTERSGRUPPEN-AUSWERTUNG	72
8. LITERATURVERZEICHNIS.....	80

1. Einleitung

Die Kenntnis der Wurzelkanalanatomie eines jeden Zahnes ist für eine erfolgreiche endodontische Behandlung unerlässlich (Eder et al. 2006). Die Diagnostik und Identifikation der Anzahl der Wurzeln und Wurzelkanäle sind die Schlüsselfaktoren in der Endodontie (Victorino et al. 2009). Eine ausreichende präinvasive Diagnostik ist ebenso bedeutend wie die vollständige Präparation, Desinfektion und Füllung des Wurzelkanalsystems. Zur präinvasiven Diagnostik zählen sowohl die klinische Untersuchung als auch die röntgenologische Befundung.

Die Präsenz eines unerwarteten Wurzelkanals kann einen Grund für das Scheitern einer endodontischen Behandlung darstellen. Dieser bleibt aufgrund einer Nichterkennung des Kanaleinganges unbehandelt (Chen et al. 2009, Zhang et al. 2011).

Daher ist es außerordentlich wichtig, alle verfügbaren Materialien zu nutzen, um das Wurzelkanalsystem in seiner Vollständigkeit zu erfassen und zu behandeln (Rahimi et al. 2009). Das Wissen über die tatsächliche Form des Wurzelkanalsystems ermöglicht es dem Zahnarzt, die geeignete Instrumentations- und Fülltechnik auszuwählen (Lee et al. 2006).

Arnold (2010) nutzt das Dentalmikroskop zur Ermittlung mehrkanaliger Unterkieferfrontzähne. Anhand verschiedener Lichtreflexionen am Dentin ist es möglich, die separaten Kanaleingänge zu lokalisieren. Darüber hinaus ist die exakte Positionierung der Zugangskavität zum Wurzelkanalsystem ein wichtiger Aspekt, der zu berücksichtigen ist, um eine gerade Einschubrichtung der Instrumente zu gewährleisten (Mauger et al. 1999, Logani et al. 2010, Srinivasan und Raghu 2011). Angesichts der anatomischen Gegebenheiten, wie zum Beispiel der schmalen klinischen Krone, stellt diese Zugangsgestaltung eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar (Mauger et al. 1999, Srinivasan und Raghu 2011).

Das Ziel dieser Studie ist die Untersuchung der Wurzelkanalanatomie der Unterkieferfrontzähne mithilfe der digitalen Volumentomographie. Es soll überprüft werden, wie häufig in diesen Zähnen ein zweiter Wurzelkanal vorliegt und wie häufig dieser zweite Wurzelkanal bilateral auftritt. Die symmetrische Kanalanatomie kann bereits präoperativ wichtige Anhaltspunkte liefern, falls beide Zähne wurzelkanalbehandelt werden müssen.

2.Literaturübersicht

2.1 Anatomie der Unterkieferfrontzähne

2.1.1 Makroskopische Anatomie

Die Wurzel unterer Frontzähne weist in mesio-distaler Richtung eine abgeplattete Form auf, was auf die Inzidenz zweier Wurzelkanäle hindeuten kann (Hellwig et al. 2007). Die Pulpatopographie richtet sich nach der jeweiligen anatomischen Zahnform. Auf diese Weise findet man unterhalb der Höckerspitzen bzw. der Inzisalkanten die Pulpahörner angeordnet (Heidemann 2001, Radlanski 2011).

Die durchschnittliche Zahnlänge, gemessen von der Inzisalkante bis zur Wurzelspitze, beträgt 21,5- 23,5 mm (Lehmann und Hellwig 2002).

2.2.1.2 Mikroskopische Anatomie

2.1.2.1 Zahnentwicklung

Der menschliche Zahn findet seinen Ursprung im Zahnkeim, welcher sich im Verlauf der Embryonalentwicklung aus dem Ektomesenchym der Neuralleiste und dem Ektoderm des 1. Viszeralbogens zusammensetzt.

Aus dem ektomesenchymalen Anteil werden das Zahnsäckchen und die Dentalpapille gebildet, die sich zu verschiedenen Zellen differenzieren. Odontoblasten, welche für die Dentinbildung verantwortlich sind, gehen aus der Dentalpapille hervor, ebenso Mesenchymzellen und Fibroblasten, die für die Bildung der Zahnnerven zuständig sind.

Das Zahnsäckchen unterscheidet Osteoblasten, Fibroblasten und Zementoblasten, welche Alveolarknochen, Desmodontalfasern und Wurzelzement ausbilden.

Aus dem ektodermalen Anteil entwickelt sich das Schmelzorgan, welches sogenannte epitheliale Schichten unterscheidet: die zervikale Schlinge, das Stratum reticulare, das Stratum intermedium und das innere und äußere Schmelzepithel. Aus der zervikalen Schlinge, die die Begrenzung des inneren und äußeren Schmelzepithels darstellt, entwickelt sich die Hertwigsche Epithelscheide, welche die Form der Wurzel vorgibt.

Das Stratum reticulare beinhaltet proteoglykanproduzierende Zellen und macht den umfassendsten Anteil des Schmelzorgans aus. Das Stratum intermedium liegt direkt dem

inneren Schmelzepithel auf und besteht aus einer dünnen kompakten Zellschicht. Das innere Schmelzepithel kleidet das Schmelzorgan nach innen aus. Es führt durch eine rege Zellteilung zu einer enormen Wachstumstendenz in okklusaler bzw. inzisaler Richtung und somit zu einer raschen Größenzunahme des Schmelzorgans. Das äußere Schmelzepithel liegt dem Schmelzorgan unmittelbar auf und breitet sich bis zur zirkulären Begrenzung des Schmelzorgans aus. Darüber hinaus beinhaltet es die Ameloblasten, die die Schmelzbildung vorantreiben (Radlanski 2011).

2.1.2.2 Wurzelentwicklung

Bei der Wurzelbildung einwurzeliger Zähne wächst eine ringförmige Manschette des inneren Schmelzepithels, die sogenannte Hertwig-Epithelscheide, in die Tiefe und gibt sowohl Form, Einziehungen, Krümmungen als auch Größe der Wurzel vor. Infolge der inneren Dentinauskleidung durch die Odontoblasten nimmt die Zahnwurzel an Schichtstärke zu, der Pulpahohlraum bleibt allerdings bestehen (Radlanski 2011).

2.1.2.3 Pulpaentwicklung

Die Pulpa entwickelt sich aus dem ektomesenchymalen Bindegewebe, welches die Dentalpapille während der Zahnbildung darstellt. Bei Umwandlung der Dentalpapille zur Pulpa verändert sich ein Großteil der bisher vorhandenen Mesenchymzellen in kollagenbildende Fibroblasten. Der restliche Gewebeanteil der Dentalpapille bleibt in seiner anfänglich undifferenzierten Struktur, die vor allem nach dem Zahndurchbruch für die Entstehung von tertiärdentinbildenden Odontoblasten verantwortlich ist. Während der Wurzelbildung verfügt die Dentalpapille über ein großes apikales Foramen, um die Verbindung des Nerven- und Gefäßkomplexes des späteren Halteapparates aufrecht zu erhalten. Die dentinbildenden odontoblastischen Zellen verschieben kleinere Gefäße und Nervenstränge, größere hingegen werden zu einem Hauptkanal umschlossen. Infolge der lebenslangen Dentinbildung verkleinert sich dieser Hauptkanal in seinem Durchmesser entlang der Seitenwände (Radlanski 2011).

2.2 Wurzelkanalmorphologie

Die Wurzelkanalmorphologie wurde bereits in den letzten Jahrzehnten in verschiedenen Studien untersucht (Madeira und Hetem 1973, Benjamin et al. 1974, Vertucci et al. 1984, Kartal und Yanikoglu 1992, Uma et al. 2004, Chen et al. 2009, Tsujimoto 2009, Zhang et al. 2011). Die am häufigsten verwendeten und zitierten Klassifikationen sind im Folgenden aufgeführt.

2.2.1 Kanalklassifikation nach Benjamin et al. (1974)

Typ A: Ein durchgängiger Wurzelkanal von der Pulpakammer bis zum Apex (1-1).

Typ B: Zwei Wurzelkanäle verlassen die Pulpakammer und verlassen die Wurzel durch zwei getrennte Foramina (2-2).

Typ C: Zwei Wurzelkanäle verlassen die Pulpakammer und fusionieren vor dem Austritt aus dem Zahn (2-1).

2.2.2 Kanalklassifikation nach Vertucci et al. (1984)

Typ 1: Ein durchgängiger Wurzelkanal von der Pulpakammer bis zum Apex (1).

Typ 2: Zwei separate Kanäle verlassen die Pulpakammer und fusionieren vor Austritt aus dem Zahn (2-1).

Typ 3: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich innerhalb der Wurzel in zwei Kanäle, welche vor dem Austritt aus dem Zahn wieder fusionieren (1-2-1).

Typ 4: Zwei separate Kanäle verlassen die Pulpakammer und treten ohne zu fusionieren aus der Wurzel aus (2-2).

Typ 5: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer und teilt sich vor dem Apex in zwei Kanäle. Beide Kanäle verlassen den Zahn separat (1-2).

Typ 6: Zwei einzelne Kanäle verlassen die Pulpakammer, fusionieren innerhalb der Wurzel, teilen sich vor dem Apex erneut und verlassen die Wurzel getrennt (2-1-2).

Typ 7: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich und fusioniert innerhalb der Wurzel und verlässt den Zahn mit zwei getrennten Kanälen (1-2-1-2).

Typ 8: Drei separate Kanäle verlaufen von der Pulpakammer bis zum Apex und verlassen diesen getrennt.

2.2.3 Kanalklassifikation nach Kartal und Yanikoglu (1992)

- Typ 1: Ein Hauptkanal von der Kronenpulpa bis zum Apex (1-1).
- Typ 2: Zwei Kanäle, abgehend der Kronenpulpa, vereinigen sich und verlassen gemeinsam die Wurzel (2-1).
- Typ 3: Ein Kanal verlässt die Kronenpulpa und zweigt sich in zwei Kanäle auf, welche sich vor dem Apex wieder vereinigen und als ein gemeinsamer Kanal den Zahn verlassen (1-2-1).
- Typ 4: Zwei getrennt von der Kronenpulpa abgehende Kanäle verlassen getrennt den Zahn (2-2).
- Typ 5: Ein von der Kronenpulpa abgehender Kanal zweigt sich in zwei Kanäle auf, welche getrennt die Wurzel verlassen (1-2).
- Typ 6: Zwei getrennte Kanäle verlassen die Kronenpulpa. Ein kleiner Kanal verlässt im mittleren Drittel den lingualen Kanal. Alle drei Kanäle vereinen sich im apikalen Drittel und verlassen als gemeinsamer Kanal den Zahn (2-3-1).
- Typ 7: Ein Kanal verlässt die Kronenpulpa, zweigt sich im mittleren Wurzeldrittel in zwei Kanäle auf, die sich wieder vereinen. Dieser eine Kanal splittet sich vor dem Apex in drei Kanäle auf und verlässt die Wurzel durch drei Foramina (1-2-1-3).

2.2.4 Kanalklassifikation nach Weine et al. (1999)

- Typ 1: Ein Hauptkanal von der Kronenpulpa bis zum Apex (1-1).
- Typ 2: Zwei von der Kronenpulpa getrennt abgehende Kanäle vereinigen sich und verlassen als gemeinsamer Kanal den Zahn (2-1).
- Typ 3: Zwei von der Kronenpulpa getrennt abgehende Kanäle verlassen getrennt die Wurzel (2-2).
- Typ 4: Ein Hauptkanal verlässt die Kronenpulpa und zweigt sich im apikalen Drittel in zwei Kanäle auf, die die Wurzel getrennt verlassen (1-2).
- Typ 5: C-förmiger Hauptkanal von der Kronenpulpa bis zum Apex.

Verschiedene Studien konnten belegen, dass Unterkieferfrontzähne nicht nur über eine Wurzel und einen Wurzelkanal verfügen, sondern eine komplexe anatomische Variationsbreite aufweisen (Vertucci et al. 1984, Walker et al. 1988, Mauger et al. 1998, Rahimi et al. 2009). „Die Anzahl und die Variabilität der Seitenkanäle des Markraums des fertigen Zahnes ist Ausdruck der Vielfalt des Verlaufs der Nerven und Gefäße zur Zeit der Wurzelbildung“ (Radlanski 2011, S.310).

2.3 Techniken zur Untersuchung der Wurzelkanalanatomie

Die Ermittlung der vielfältigen Wurzelkanalmorphologie kann anhand verschiedener Techniken durchgeführt werden.

Vertucci (1984) nutzte bei insgesamt 2400 bleibenden extrahierten Zähnen die **Reinigungs- und Demineralisierungstechnik** und machte nach vollständiger Entfernung des intrakanalären Pulpagewebes das Kanalsystem durch eine Injektion mit Hämatoxilin-Tinte sichtbar. Zu Beginn wurden die extrahierten Zähne in 10%igem Formalin gesäubert und mit 5%iger Hydrochlorid-Säure dekalzifiziert. Des Weiteren wurden die Proben unter Wasser gereinigt und für 24 Stunden in Kaliumhydroxid gelagert. Nach erneuter Reinigung mit Wasser wurde die Hämatoxylin-Tinte mithilfe einer Messnadel und Einwegspritze in das Wurzelkanalsystem eingebracht. Unter einem Mikroskop wurden die transparenten Proben untersucht und in die 8 Gruppen nach Vertucci eingeteilt.

Von den insgesamt 2400 Proben untersuchten Vertucci et al. (1984) 100 zentrale und 100 laterale Unterkiefer-Inzisivi. In den 100 zentralen Inzisivi konnten sie in 70% einen Wurzelkanal (Typ I) ermitteln, einen Typ II-Kanal (2-1) in 5% und einen Typ III-Kanal (1-2-1) in 22% der Zähne. Ein Typ IV-Kanal (2) wurde in 3% der Proben erkannt (Vertucci et al. 1984).

Rahimi et al. (2009) nutzten eine vergleichbare Untersuchungsmethode. Sie untersuchten 100 Oberkieferfrontzähne und 137 zweite Unterkieferprämolaren auf das Vorhandensein eines zweiten Wurzelkanals. Um die Proben zu dehydrieren, lagerten sie diese über Nacht in Ethylalkohol in 80%iger Konzentration, danach in 90%iger Konzentration für eine Stunde und zuletzt für eine Stunde in 100%igem Ethylalkohol. Um das Wurzelkanalsystem darzustellen, verwendeten sie im Gegensatz zu Vertucci India-Tinte. Die Proben werteten sie mikroskopisch unter 5x- und 16x- Vergrößerung aus. Die Ergebnisse wurden nach der Vertucci-Klassifikation (I-V) eingeteilt, wobei eine zusätzliche Typ IX-Klassifikation nach

Sert et al. (2004) hinzugefügt wurde. Bei dem Typ IX verlässt ein Hauptkanal die Pulpa und teilt sich im apikalen Wurzeldrittel, vor dem Austritt aus dem Foramen apicale, in drei getrennte Kanäle.

Mit der Dekalzifizierungs- und Färbetechnik erhält man die Möglichkeit, die Pulpakanäle detailgetreu darzustellen, ohne durch vorherige Instrumentationen die Kanalverläufe zu verlegen (Vertucci et al. 1984). Laut Kim et al. (2005) sind Messungen an extrahierten Zähnen die genauesten, es ist jedoch schwierig, eine ausreichende Anzahl an brauchbaren extrahierten Zähnen eines jeden Zahntyps zu erhalten.

Auch Boruah und Bhuyan (2011) untersuchten 480 extrahierte UK- Frontzähne auf ihre Kanalanatomie. Ihr Ziel war sowohl die Ermittlung von Seitenkanälen als auch die Registrierung einer möglichen Bifurkation von zwei Kanälen. Mit India-Tinte färbten sie die Wurzelkanäle an und untersuchten diese mit 5facher Vergrößerung. Sie konnten in 36,25% der Zähne einen zweiten Wurzelkanal ermitteln.

Walker (1988) ist dagegen der Meinung, dass die Darstellung der Pulpaverläufe durch die Anfärbelösung zu falschen Darstellungen führen kann, wenn die eingeführte Färbelösung nicht in alle Kanalabzweigungen vordringt.

Al-Qudah und Awawdeh (2006) nutzten ebenfalls die Reinigungs- und Demineralisierungstechnik, um die Wurzelkanalanatomie an 450 extrahierten Unterkieferfrontzähnen zu untersuchen. Das Alter und das Geschlecht der Patienten aus dem Norden Jordaniens, bei denen die Zähne entfernt wurden, waren unbekannt. Zusätzlich wurde nicht berücksichtigt, ob es sich um den mittleren oder seitlichen Unterkieferfrontzahn handelte.

Vergleichbar zur Arbeit von Rahimi et al. (2009) verwendeten die Autoren India-Tinte zur Darstellung des Wurzelkanalsystems. Die Kanalkonfigurationen teilten sie in die ersten fünf Typen nach Vertuccis Kanalklassifikation ein.

Der Unterschied zu anderen vergleichbaren Studiendesigns lag in der Auswertung der Proben. Die vorbehandelten Zähne wurden nicht, wie in oben benannten Studien, unter mehrfacher Vergrößerung untersucht, sondern mit bloßem Auge ausgewertet. In 73,8% der Proben lag ein Wurzelkanal vor, 26,2% der Zähne wiesen zwei separate Wurzelkanäle auf und in 8,7 % waren zwei getrennte apikale Foramina zu erkennen.

Ähnlich wie bei bereits oben genannten Studien, machten sich auch Al-Fouzan et al. (2012) die Anfärbe-Dekalzifizierungstechnik zunutze. Bei achtzig extrahierten Unterkieferfrontzähnen aus Saudi-Arabien stellten sie den Wurzelkanalverlauf mit India-Tinte dar und erkannten in 70% einen durchgängigen Wurzelkanal von der Kronenpulpa

bis zur Wurzelspitze. In 30% der Zähne lag ein Wurzelkanalverlauf vor, welcher Vertuccis Typ III entspricht (ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich in zwei separate Kanäle, welche sich kurz vor dem Austritt aus dem apikalen Foramen vereinigen).

Eine weitere Methode zur Untersuchung der Wurzelkanalmorphologie ist die **Schnitttechnik**, bei der die Zähne in verschiedenen Millimeter-Abständen zur Wurzelspitze in horizontale Segmente zerteilt werden (Green 1956 und 1973, Mauger et al. 1998).

Im Jahr 1956 untersuchte Green 200 Unterkieferfrontzähne auf die Inzidenz zweier Wurzelkanäle mithilfe der Schnitttechnik. In 20% der Proben konnten sie zwei Kanäle ermitteln. Im Jahr 1973 untersuchte Green 500 Unterkieferinzisivi und konnte in 21% der Proben zwei Wurzelkanäle erkennen.

Mauger et al. (1998) nutzten ebenfalls die Schnitttechnik, um die Prävalenz von Isthmen, die Kanalausdehnung und die Kanalanzahl zu untersuchen. Dabei wurden die Inzisivi schräg, in einem Winkel von 20 Grad 1, 2 und 3 mm koronal des Apex abgeschnitten und die Inzidenz mehrerer Wurzelkanäle bei 50facher Vergrößerung ermittelt.

Es konnten in 2% der Proben in einem Abstand von 1 mm vor der Wurzelspitze zwei voneinander getrennte Wurzelkanäle gefunden werden. 2 mm vor dem Apex war in keinem der Schnittpräparate ein zweiter Wurzelkanal zu erkennen. In einem Prozent der Zähne konnten 3 mm vor dem Apex zwei Kanäle erkannt werden.

Zusätzlich konnten Isthmen in 20% der Zähne 1 mm vor dem Apex, in 30% 2 mm vor dem Apex und in 55% 3 mm vor dem Apex erkannt werden.

Anhand der Querschnittsmorphologie teilten Mauger et al. (1998) die Wurzelkanäle in vier Kanaltypen ein. Rund, oval, länglich oval und schlitzförmig. Die Kanalmorphologie änderte sich im Laufe der Wurzel durch Geweberein- bzw. -ablagerungen in 75% der Schnittpräparate. Das bedeutet, dass die Anatomie des Kanals innerhalb der Wurzel zwischen den verschiedenen Querschnittstypen variieren kann (Mauger et al. 1998).

Auch die **röntgenologische Untersuchung** bietet eine Möglichkeit, die Kanalverläufe darzustellen. Hierzu können verschiedene Röntgenverfahren genutzt werden: Konventionelle Zahnfilmaufnahmen, digitale Röntgenbilder, Mikro-Computertomographie (Micro-CT) sowie die Digitale Volumentomographie (DVT).

Benjamin et al. (1974) untersuchten *in vitro* 364 extrahierte Unterkieferfrontzähne mittels Einzelzahnaufnahmen (Röntgenmessaufnahmen), um zwei separate Wurzelkanäle zu ermitteln. Sie konnten in 58,6 % der untersuchten Zähne einen Hauptkanal und in 41,4% zwei voneinander getrennte Wurzelkanäle darstellen. In 1,3 % der Zähne endeten die separaten Wurzelkanäle in getrennten apikalen Foramina. In 98,7% fusionierten die Wurzelkanäle und verließen als ein Kanal das apikale Foramen.

Auch Kaffe et al. (1985) nutzten die Röntgentechnik, um die anatomische Vielfalt der Unterkieferfrontzähne deutlich zu machen. Im Gegensatz zu Benjamin et al. (1974) untersuchten sie in ihrer In-vivo-Studie das Wurzelkanalsystem der Unterkieferfrontzähne mithilfe eines Röntgen-Zahnstatus, welcher sich aus mehreren Einzelzahnaufnahmen zusammensetzt. Der Zahnstatus stellt eine effektive Methode dar, um die Anzahl der Wurzelkanäle in der Unterkieferfront zu erschließen, da man die Kanalmorphologie eines Zahnes aus verschiedenen Winkeln betrachten kann (Kaffe et al. 1985). Die Autoren untersuchten insgesamt 1200 Unterkieferzähne, davon 400 Eckzähne und 800 zentrale und laterale Inzisivi. In 62,5% der Zähne konnten sie einen Hauptkanal und in 37,5% zwei Wurzelkanäle verzeichnen. Somit sind die Ergebnisse vergleichbar mit denen von Benjamin et al. (1974).

Walker et al. (1988) untersuchten röntgenologisch insgesamt 200 extrahierte zentrale und laterale Unterkieferfrontzähne einer südchinesischen Volksgruppe auf ihre Wurzelkanalanatomie. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass in der südchinesischen Population die Inzidenz zweikanaliger Unterkieferfrontzähne deutlich niedriger liegt als in den Studien von Benjamin et al. (1974) und Kaffe et al. (1985). Es konnte lediglich in 27% der Proben ein zweiter Wurzelkanal entdeckt werden, wobei nur bei 1% ein zweites apikales Foramen zu ermitteln war. In 73% wiesen die Zähne einen Hauptkanal auf.

Miyoshi et al. (1977) untersuchten den Zusammenhang zwischen Kronenausdehnung und Inzidenz zweier Wurzelkanäle in den Unterkieferinzisivi und den Eckzähnen bis hin zu den zweiten Prämolaren in einer japanischen Bevölkerungsgruppe. Insgesamt untersuchten sie röntgenologisch 3010 Zähne, davon 615 zentrale und 526 laterale Inzisivi. Sie konnten in 17,1% bei den zentralen und in 20,3% bei den lateralen Inzisivi zwei Wurzelkanäle feststellen. Die Zähne, welche über einen zweiten Wurzelkanal verfügten, waren in ihrer Ausdehnung in bucco-lingualer und mesio-distaler Richtung im Vergleich zu einkanaligen Zähnen vergrößert (Miyoshi et al. 1977).

De Oliveira et al. (2009) untersuchten mittels digitaler Röntgentechnik die Prävalenz von Kanal-Bifurkationen in Unterkieferinzisivi. Sie untersuchten 400 Zähne *in vivo* und 200 *in vitro*. Es wurde jeweils die Unterkieferfront- und Eckzahnregion orthoradial geröntgt. Durch den orthoradialen Strahlengang auf die Eckzahnregion entstand ein distal exzentrischer Blickwinkel von ca. 20 Grad auf die Frontzahnregion. Die 200 extrahierten Zähne der In-vitro-Studie wurden jeweils in bukkolingualer und mesiodistaler Richtung geröntgt. *In vitro* lag die Prävalenz von Bifurkationen bei mesiodistaler Projektion bei 20% und bei bukkolinguaalem Strahlengang bei 15%. Hingegen lagen die Ergebnisse bei der In-vivo-Studie in distal exzentrischer Einstellung bei insgesamt 17,5%, zusammengesetzt aus einer deutlichen Bifurkation in 11% und Anzeichen einer Bifurkation in 6,5%. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen von Bellizzi und Hartwell (1983), die eine Bifurkationsprävalenz von 18,6% ermittelten.

Neelakantan et al. (2010) beschäftigten sich mit der Wurzelkanalanatomie von 95 extrahierten Zähnen, indem sie die Reinigungs- und Anfärbetechnik mit verschiedenen Röntgenverfahren kombinierten. Dabei wurden digitale Röntgenbilder, DVTs, die Spiralcomputertomografie und die periphere quantitative Computertomographie verwendet. Die Aufnahmen wurden durch drei kalibrierte Endodontologen und zwei Radiologen ausgewertet. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sowohl die digitale Volumentomographie als auch die periphere quantitative Computertomographie genauso gut zur Identifikation des Wurzelkanalsystems herangezogen werden können wie die Reinigungs- und Anfärbetechnik. Sie weisen aber darauf hin, dass die Methode der Reinigungs- und Anfärbetechnik nicht *in vivo* umsetzbar ist (Neelakantan et al. 2010).

Die am häufigsten angewendeten Methoden zur Ermittlung der Zahnanatomie im klinischen Alltag sind die röntgenologische und mikroskopische Untersuchung (Zhang et al. 2011).

Uma et al. (2004) kombinierten die Röntgen- mit der Schnitttechnik, um die Kanalmorphologie und die Präsenz von Kanalsthmen in 50 extrahierten Unterkieferfrontzähnen zu untersuchen. Die Röntgenbilder wurden in mesiodistaler und bukkolingualer Ansicht erstellt. Pro Zahn wurden drei Resektionen, 1 mm, 2 mm und 3 mm koronal des Apex vorgenommen. Die Untersuchungen der Röntgenbilder ergaben, dass eine Typ III-Morphologie, basierend auf Vertuccis Kanalklassifikation, in 52% der Fälle vorlag, gefolgt von einer Typ I-Morphologie mit 44%. Ein Unterkieferfrontzahn verfügte über einen zweiten apikalen Ausgang. Mit der zusätzlich verwendeten Schnittmethode konnten sie mit 16facher Vergrößerung eine Variationsbreite der Kanalform innerhalb des

Wurzelverlaufs von rund, oval, länglich oval und schlitzförmig erkennen. Des Weiteren konnte in einem der fünfzig untersuchten Zähne ein zweiter Kanal 1 mm vor dem Apex und in 4 Zähnen 3 mm vor dem Apex ein zweiter Wurzelkanal festgestellt werden.

Ferraz und Pécora (1993) erstellten insgesamt 328 konventionelle Röntgenbilder von 105 Mongoliden, 106 Negriden und 117 Europiden und untersuchten sie auf die Prävalenz einer zusätzlichen distolingualen Wurzel. Bei unbrauchbaren Röntgenbildern wurde die Aufnahme in einem anderen, horizontal angulierten Winkel wiederholt. Die Auswertung der Bilddateien erfolgte bei vierfacher Vergrößerung. Die ethnische Herkunft und die Geschlechter der Patienten wurden notiert. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Präsenz einer zusätzlichen distolingualen Wurzel bei den Mongoliden mit 15,2% am Höchsten lag. Eine dritte Wurzel wurde in 7,5% bei den schwarzen Patienten und in 6,8% bei den Kaukasiern erkannt. Es lag eine statistische Signifikanz zwischen der mongoliden Population verglichen mit der negriden und europiden Population vor.

Zudem wurden auch in zahlreichen Fallberichten die vielfältigen Kanalvariationen von Unterkieferfrontzähnen beschrieben.

Tiku et al. (2005) revidierten an einem Patienten jeweils die Wurzelkanalbehandlungen an einem zentralen und einem lateralen Unterkieferfrontzahn des vierten Quadranten nach bereits erfolgter, aber fehlgeschlagener Wurzelkanalbehandlung. Das präoperative Röntgenbild deutete sowohl an dem zentralen und lateralen Inzisivus als auch an dem Eckzahn auf einen zweiten Wurzelkanal hin. Die Autoren ordneten das Wurzelkanalsystem der beiden behandelten Zähne in die Typ VI-Klassifikation nach Vertucci ein. Ein weiteres Röntgenbild der linken Seite verdeutlichte ein bilaterales Vorhandensein zweier Wurzelkanäle in allen Unterkieferfrontzähnen.

Funato et al. (1998) revidierten an einem Patienten die Wurzelkanalbehandlungen in beiden zentralen Unterkieferinzisivi nach gescheiterter Primärtherapie. Das periapikale präoperative Röntgenbild zeigte an beiden Zähnen eine nicht bis apikal reichende Wurzelfüllung und eine ausgedehnte apikale Parodontitis. In beiden Frontzahnwurzeln konnte man deutlich den nicht gefüllten Kanalverlauf erkennen. Der zusätzliche Wurzelkanal wies im Vergleich zum Hauptkanal eine geringere Länge auf. Nach Präparation und Obturation des jeweiligen zweiten Wurzelkanals ließ sich bei der Wurzelfüllkontrolle mit orthoradialer Zahnfilmaufnahme sogar ein zweites Foramen apicale erkennen.

Kabak und Abbott (2007) konnten in ihren beiden klinischen Fallberichten in allen Unterkieferinzisivi jeweils zwei Wurzelkanäle erkennen. Nach Präparation der Zugangskavitäten fielen ihnen die ungewöhnlich großen Pulpakammern auf. Es konnten jeweils ein labialer und ein lingualer Kanaleingang sondiert werden.

Hwang und Min (2005) behandelten an einem Patienten drei Unterkieferinzisivi. Das präoperative Röntgenbild zeigte an allen drei zu behandelten Zähnen eine apikale Parodontitis nach Pulpanekrose. Des Weiteren ließ die Röntgenaufnahme ein abruptes Ende des Wurzelkanals der beiden ersten Inzisivi im mittleren Wurzeldrittel erkennen, was auf das Vorliegen eines zweiten Wurzelkanals hindeutete (Hwang und Min 2005). Nach ausreichend eröffneten Zugangskavitäten konnte an allen drei Inzisivi ein zweiter Wurzelkanal sondiert werden. Die Röntgenmessaufnahme zeigte bei allen drei Zähnen zwei voneinander getrennte Wurzelkanäle mit separaten apikalen Foramina.

2.4 Digitale Volumentomographie (DVT)

Bei der digitalen Volumentomographie (engl. *Cone Beam Computed Tomography*) handelt es sich um ein dreidimensionales Bildgebungsverfahren, bei dem ein Strahlenbündel in Form eines Kegels und ein Flächendetektor genutzt werden, um Hartgewebe in drei Raumebenen darzustellen. Die DVT gibt unverzerrte dreidimensionale Informationen der Gesichtsknochen und der Zähne mit ihrem umliegenden Gewebe wieder (Patel et al. 2007). Bei diesem Röntgenverfahren werden die zweidimensionalen Bilddaten durch einen 3-D-Rekonstruktionsalgorithmus in ein dreidimensionales Volumen umgerechnet.

DVT-Systeme werden in zwei Kategorien eingeteilt: Das limitierte (dentale oder regionale) DVT und das gesamte (bzw. faziale) DVT. Der Unterschied der beiden Versionen liegt in ihrer Voxelgröße. In der limitierten DVT ist die Voxelgröße mit 0,1 - 0,2 mm geringer als die Voxelgröße der fazialen DVT. Das *Field of view (FOV)* beträgt bei einer limitierten DVT 40 - 100 µm, bei der fazialen DVT 100 - 300 µm (Cotton et al. 2007, Wang et al. 2010). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Bildauflösung umso besser ausfällt, je kleiner die voreingestellte Voxelgröße ist (Nesari et al. 2009). Die Möglichkeit der dreidimensionalen Wiedergabe anatomischer Gegebenheiten durch die Kombination der sagittalen, axialen und koronalen Schnittgebungen führt zu einer Elimination von Überlagerungen anatomischer Strukturen auf die gewünschte abzubildende Region (Cotton et al. 2007).

Sherrad et al. (2010) nutzten die DVT, um ihre Zuverlässigkeit in Bezug auf die Zahn- und Längenmessung zu untersuchen. Dafür wurden sieben Schweineköpfe dreidimensional geröntgt. Zusätzlich wurden apikale Röntgenaufnahmen von 52 Zähnen, jeweils 28 Prämolaren und 24 Inzisivi, angefertigt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sich die mit der DVT ermittelten Messergebnisse nicht signifikant von den tatsächlichen Zahn- bzw. Wurzellängen unterschieden. Die durchschnittliche Messungenauigkeit mit der dreidimensionalen Röntgentechnik lag bei 0,3 mm. Die Messergebnisse, die mit den apikalen Röntgenaufnahmen ermittelt wurden, lagen durchschnittlich 2,58 mm unterhalb der tatsächlichen Länge. Die Autoren schlussfolgerten, dass die zweidimensionalen Röntgenaufnahmen die Zahn- und Wurzellängen unterschätzen.

2.4.1 Indikationen zur DVT

Die digitale Volumentomographie kommt zum Einsatz, sobald eine ausreichende Diagnostik der anatomischen Besonderheiten mit konventionellen Röntgenverfahren nicht mehr möglich ist (Patel 2009, Arnold 2011, Jaju et al. 2013).

2.4.2 DVT in der Endodontie

Neue Bildgebungsverfahren ermöglichen es dem Zahnarzt, dreidimensionale Planungen vorzunehmen und endodontische Fragestellungen zu beantworten (Nair et al. 2007). Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung ist es möglich, qualitativ hochwertige zahnmedizinisch relevante Daten zu erhalten (Michetti et al. 2010).

Mehrere Studien konnten bereits die Vorteile der dreidimensionalen Bildgebung in der Endodontie belegen (Cotton et al. 2007, Estrela 2009, Tu et al. 2009, Kottoor et al. 2010, Huang et al. 2010, Wang et al. 2010, Arnold 2011).

Die DVT ist zur Ermittlung von Wurzelkrümmungen vor endodontischer Behandlung nützlich. Estrela et al. (2008a) nutzten die DVT zur Messung des Krümmungsradius mithilfe dreier mathematischer Messpunkte, welche in das Bild eingefügt wurden.

2.4.2.1 Darstellungen des Wurzelkanalsystems mithilfe der DVT

Abella et al. (2011) fertigten an einem ersten Unterkiefermolaren ein kleinvolumiges DVT an, nachdem mit mehreren angulierten Zahnfilmen eine distolinguale Wurzel erkannt wurde. Die DVT-Aufnahme wurde erstellt, um die genaue Lokalisation der überzähligen Wurzel zu ermitteln. Nach abgeschlossener Obturation nutzten die Autoren erneut die DVT, weil in mehreren Studien gezeigt werden konnte, dass die dreidimensionale Bildgebung eine periapikale Parodontitis bereits sichtbar macht, wenn auf konventionellen Röntgenbildern noch keine apikale Veränderung zu erkennen ist (Lofthag-Hansen et al. 2007, Patel et al. 2007, Bornstein et al. 2011). Kottoor et al. (2010) untersuchten die Kanalmorphologie eines ersten Oberkiefermolaren mithilfe des Dentalmikroskops und stellten die Kanalverläufe und die Wurzelanzahlen im DVT dar. Sie konnten sieben Wurzelkanäle in der axialen DVT-Ansicht erkennen.

Tu et al. (2009) untersuchten mithilfe der digitalen Volumentomographie die Prävalenz dreiwurzelliger erster Unterkiefermolaren von 744 Patienten einer chinesischen Population auf Seitengleichheit und Geschlechtervorkommen. Unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien wurden letztlich 123 Datensätze eingesehen und von zwei Endodontologen ausgewertet. Die Erkennung einer zusätzlichen dritten Wurzel erfolgte durch die Axialansicht, indem die Autoren von koronal nach apikal hinabschrollten. Die Inzidenz eines dreiwurzelligen ersten Unterkiefermolaren unterschied sich nicht signifikant im Geschlechtervergleich. Die Prävalenz einer zusätzlichen distolinguale Wurzel lag bei den männlichen Probanden bei 30,51% und bei den weiblichen bei 35,94%. Insgesamt konnten die Autoren in 33,3% der untersuchten Zähne eine dritte Wurzel erkennen. In 53,65 % erkannten sie eine bilaterale Symmetrie.

Zhang et al. (2011) untersuchten 299 erste und 210 zweite Oberkiefermolaren einer chinesischen Subpopulation mithilfe der digitalen Volumentomografie *in vivo*. Die Zähne wurden auf ihre Kanalkonfiguration untersucht. Zudem wurde darauf geachtet, wie häufig diese Konfigurationen bilateral auftreten. Dabei wurde sowohl die Anzahl der Wurzeln, die Kanalanzahl pro Wurzel, die Kanalkonfigurationen nach Vertucci als auch die Präsenz eines zusätzlichen mesialen Wurzelkanals berücksichtigt. Es lagen bei allen untersuchten ersten Oberkiefermolaren drei Wurzeln vor. Davon konnten in 52% der Zähne ein zweiter mesialer Kanal erkannt werden. In den 210 untersuchten zweiten Oberkiefermolaren lag in 10% eine Wurzel vor, in 9% zwei Wurzeln und in 82% drei Wurzeln. Ein zweiter mesialer Kanal konnte in 22% der zweiten Molaren erkannt werden, in denen eine dritte Wurzel

vorhanden war. Es konnten insgesamt acht verschiedene Kanalkonfigurationen der zweiten Oberkiefermolaren unterschieden werden. Zhang et al. (2011) kommen zu dem Schluss, dass die mesiobukkalen Wurzeln erster und zweiter Oberkiefermolaren über eine größere Kanalvariationsbreite verfügen als die distalen und palatinalen Wurzeln. Die Wurzelkanalkonfigurationen der zweiten Molaren waren vielfältiger als die der ersten Molaren. Von 45 Patienten, die noch über beide Molaren verfügten, konnte in 84% eine absolute Symmetrie im Hinblick auf die Wurzelanatomie und Kanalmorphologie in den gegenüberliegenden Kieferquadranten verzeichnet werden.

Tu et al. (2009) untersuchten erste Unterkiefermolaren einer thailändischen Population mithilfe der DVT zur Erkennung zusätzlicher distolingualer Wurzeln. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die digitale Volumentomografie ein nützliches Hilfsmittel zur exakten Lokalisation zusätzlicher distolingualer Wurzeln ist.

Wang et al. (2010) untersuchten 2575 kleine DVT-Aufnahmen von 558 westchinesischen Patienten auf die Wurzelanatomie und Kanalmorphologie der ersten Unterkiefermolaren im Hinblick auf bilaterale Seitengleichheit beim männlichen und weiblichen Geschlecht. Die Patienten mussten sich im Alter zwischen 12- 75 Jahren befinden. Das Geschlecht des Patienten war bekannt und die DVT-Scans gaben die Region der ersten Unterkiefermolaren wieder. Die Zähne durften über keine Wurzelfüllung verfügen, das Wurzelwachstum musste abgeschlossen sein und die Zähne durften keine Überkronungen aufweisen. Die wiederholte Auswertung der Bilder erfolgte in einem Abstand von einer Woche durch zwei Endodontologen und einen Radiologen. Die Bilddateien wurden von koronal nach apikal in der Axialansicht durchgescrollt, um Wurzelanzahl, Kanalanzahl und Kanalkonfigurationen zu ermitteln. Die diagnostizierten Kanalkonfigurationen wurden nach Vertuccis Klassifikation eingeteilt. Die Autoren konnten in insgesamt 73,5% der Patienten einen zweiwurzigen ersten Molaren erkennen. Im Geschlechtervergleich lag die Inzidenz mit 77,1% bei den männlichen Patienten höher als bei den weiblichen Patienten mit 69,3%. Einen dreiwurzigen ersten Molaren konnten die Autoren in 25,8% der Patienten verzeichnen. In lediglich 0,7% lagen einwurzige Molaren vor. Im Seitenvergleich hatten die rechten Unterkiefermolaren mit 77,3% eine höhere Prävalenz von zwei Wurzeln, wohingegen die linken Unterkiefermolaren häufiger drei Wurzeln aufwiesen. Die Wurzelkanalkonfigurationen der untersuchten Molaren unterschieden sich nicht signifikant zwischen rechter und linker Kieferhälfte, beziehungsweise zwischen männlichen und weiblichen Patienten.

Bauman et al. (2011) untersuchten in ihrer Ex-vivo-Studie 12 Modelle mit jeweils zwei Oberkiefermolaren auf das Vorhandensein eines zweiten mesiobukkalen Kanals mithilfe der digitalen Volumentomographie bei vier verschiedenen Voxelgrößen. Insgesamt wurden 96 Videosegmente angefertigt und ausgewertet. Die Untersuchungen wurden durch fünf Studenten und zwei Endodontologen durchgeführt. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass in 22 von 24 Zähnen, also in 92%, ein zweiter mesiobukkaler Wurzelkanal vorlag. Die Auswertbarkeit der DVT-Aufnahme stieg bei einer Voxelgröße von 0,4 mm von 60,1% auf 93,3% bei einer Voxelgröße von 0,125 mm. Bei einer Voxelgröße von 0,3 mm lag die Kanalidentifikation bei 77,7% und bei 0,2 mm Voxelgröße bei 88,8%. Das bedeutet eine verbesserte Bildauflösung durch Verkleinerung des Voxeldurchmessers und die damit verbundene erleichterte Diagnostizierbarkeit des zweiten mesiobukkalen Wurzelkanals.

La et al. (2010) identifizierten mithilfe der DVT einen dritten mesialen Wurzelkanal eines ersten unteren Molaren. Das periapikale Röntgenbild deutete auf einen weiteren mesialen Wurzelkanal hin. In der Axialansicht des DVT-Scans konnte dann ein dritter mesialer Kanaleingang ermittelt werden.

Tachibana und Matsumoto (1990) waren die ersten, die mit einer Tomografie die Wurzelkanalanatomie darstellen und untersuchen wollten. Aufgrund der anfänglich geringeren Auflösungskraft der konventionellen Computertomographie konnte eine detaillierte Wurzelkanaldarstellung nicht ausreichend visualisiert werden.

Jaju et al. (2013) untersuchten mithilfe der Digitalen Volumentomographie Unterkieferfrontzähne in Indien. Dabei nutzten die Autoren Vertuccis Kanalklassifikationen. Insgesamt werteten sie 130 DVT-Aufnahmen aus und konnten bei 53,45% einen Wurzelkanal und bei 46,55% zwei Kanäle erkennen.

2.4.2.2 Untersuchungen zur Symmetrie der Wurzelkanalanatomie

Die dreidimensionale Darstellung beider Kieferhälften lässt den symmetrischen Vergleich der Bezahnung des jeweils rechten und linken Quadranten vor allem in axialer Ansicht zu. Zheng et al. (2010) befassten sich mit der Kanalmorphologie des ersten oberen Molaren einer chinesischen Bevölkerung und brachten hierfür die Digitale Volumentomographie zum Einsatz. In 74 von 775 untersuchten DVT-Scans lag eine symmetrische Übereinstimmung der Kanalanatomie der rechten und linken Seite vor.

2.4.2.3 Darstellungen periradikulärer Läsionen

Die DVT ist in der Lage, periradikuläre Läsionen darzustellen, die in konventionellen Zahnfilmen nicht zu erkennen sind (Patel et al. 2007, Low et al. 2008, Estrela et al. 2008b).

Bornstein et al. (2011) verglichen bei 40 Patienten im Durchschnittsalter von 49,5 Jahren die Erkennung apikaler Läsionen im Molarenbereich auf in Paralleltechnik angefertigten Einzelzahnaufnahmen und in sagittalen und koronalen DVT-Schnittbildern. Es wurden 38 Zähne mit insgesamt 75 Wurzeln untersucht. Zuerst wurden die konventionellen Einzelzahnaufnahmen bei 2,5facher Vergrößerung auf Röntgenbetrachtern ausgewertet. Die DVT-Daten wurden zwei Wochen später mit einem kleinen *field of view (FOV)* in einer Größe von 4 x 4 cm untersucht. Die größte Defektausdehnung der jeweiligen periapikalen Läsion wurde jeweils auf sagittalen und koronalen DVT-Schnittbildern als auch auf konventionellen Einzelzahnaufnahmen gemessen. Nach Durchsicht der konventionellen Einzelzahnaufnahmen konnte an 32 Wurzeln keine periradikuläre Läsion erkannt werden, wohingegen in der sagittalen DVT-Ansicht derselben Zähne lediglich an 17 Wurzelspitzen keine apikale Läsion zu erkennen war. Somit konnte in 15 Fällen die apikale Parodontitis nur mithilfe der digitalen Volutomentomographie erkannt werden. In 43 Fällen konnten die pathologischen Veränderungen sowohl auf den Einzelzahnaufnahmen, als auch in den dreidimensionalen Aufnahmen gleichermaßen erkannt werden.

Bornstein et al. (2011) stellten fest, dass die Ausdehnung der Läsion auf Einzelzahnaufnahmen kleiner ist als auf DVT-Aufnahmen.

Auch Low et al. (2008) verglichen DVT-Bilder mit periapikalen Einzelzahnaufnahmen im Oberkiefermolaren- und -prämolarenbereich. Insgesamt wurden 74 Zähne mit 156 Wurzeln von einem Endodontologen und einem Radiologen ausgewertet. Sie stellten fest, dass es aufgrund von Überlagerungen des Kieferhöhlenbodens alleine mit konventionellen Röntgenaufnahmen schwierig ist, die Diagnose einer apikalen Parodontitis zu stellen. Die Autoren kamen ähnlich wie Bornstein et al. (2011) zu dem Ergebnis, dass die DVT signifikant mehr apikale Defekte aufzeigte. An 47 Wurzeln war weder im konventionellen Röntgenbild noch in der DVT eine apikale Parodontitis zu erkennen. 72 Wurzeln wiesen sowohl in der Einzelzahnaufnahme als auch in der DVT eine apikale Osteolyse auf. An 37 Wurzeln konnten die apikalen Veränderungen nur in DVT-Aufnahmen erkannt werden. Das bedeutet, dass in 34% der untersuchten Wurzelspitzen ein konventionelles Röntgenbild nicht ausreichte, um eine apikale Parodontitis zu diagnostizieren.

Lofthag-Hansen et al. (2007) verglichen jeweils zwei im 10° Winkel angulierte konventionelle Einzelzahnaufnahmen und DVT-Daten von 46 Zähnen zur Erkennung periapikaler Läsionen. Drei Untersucher werteten die Röntgendaten gemeinsam aus. Bei Meinungsabweichungen wurden diese auf einen Konsens gebracht. Die konventionellen Röntgenbilder wurden mit einem Röntgenbetrachter bei zweifacher Vergrößerung ausgewertet. Zwei Wochen später wurden die DVT-Scans ausgewertet. In 12 der untersuchten Zähne wurden mehr Wurzelkanäle und an zehn Wurzelspitzen mehr periapikale Läsionen in der dreidimensionalen Bilddarstellung erkannt als in der Einzelzahnaufnahme.

Estrela et al. (2008b) sind der Meinung, dass konventionelle Röntgenbilder im Hinblick auf die periapikale Diagnostik mit Vorsicht zu verwenden sind, da sie häufig falsch negative Ergebnisse liefern.

2.4.2.4 Darstellungen interner und externer Wurzelresorptionen

Estrela et al. (2009) verglichen die Ausdehnungen entzündlicher Wurzelresorptionen in verschiedenen Wurzelabschnitten anhand periapikaler Röntgenbilder mit denen der digitalen Volumentomographie. 48 konventionelle Röntgenbilder und DVT-Aufnahmen von 40 Patienten wurden durch drei Personen untersucht. Die Autoren konnten die Resorptionen mit konventionellen Röntgenbildern in 68,8% erfassen, wohingegen mit der digitalen Volumentomographie 100% der entzündlichen Resorptionen erkannt werden konnten. Mithilfe der DVT können Resorptionen in einem früheren Stadium erkannt und die genaue Lokalisation festgestellt werden, die DVT lieferte aber keine klaren Messungen in Bezug auf die Läsionsausdehnung, da die Ähnlichkeit von Dentin und Knochen zu groß ist (Estrela et al. 2009).

Kumar et al. (2011) hingegen stellten keine signifikanten Unterschiede fest zwischen periapikalen Röntgenbildern und der digitalen Volumentomographie in der Erkennung externer Wurzelresorptionen an zehn ersten Oberkieferinzisivi. Die Zähne wurden jeweils in gleicher Position konventionell und dreidimensional geröntgt. Die Röntgenbilder wurden von drei Personen untersucht. Die Autoren konnten erkennen, dass die Defektgrößen, welche in den 3-D-Bildern untersucht wurden, überschätzt wurden, wohingegen die Defekte auf den periapikalen Röntgenbildern unterschätzt wurden.

Auch Durack et al. (2011) befassten sich mit der röntgenologischen Auswertung externer Wurzelresorptionen an 10 Unterkieferfrontzähnen. Sie verglichen mithilfe eines Ex-vivo-

Modells 180°- und 360°- DVTs mit digitalen periapikalen Röntgenbildern. Vorab wurden die Zähne mit Rosenbohrern und Diamanten mit unterschiedlich großen Defekten versehen. Acht kalibrierte Personen werteten die Daten nach der Größe der Defekte aus. Zusätzlich wurden die Flächen notiert, auf denen die Knochendefekte erkannt wurden. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die 3-dimensionale Bildgebung deutlich nützlicher zur Erkennung externer Resorptionen ist als periapikale Röntgenbilder. Unabhängig von der Resorptionsgröße lag die Sensitivität der intraoralen Röntgenbilder bei 86,9, verglichen mit der 180°- und 360°- DVT-Bildgebung, jeweils bei 100. Die Spezifität der 180°-DVT lag bei 92,3, die der 360°-DVT bei 95,5. Die Spezifität der apikalen Röntgentechnik lag mit 43,1 deutlich darunter. Kleinere Resorptionen konnten auf periapikalen Röntgenbildern schlechter erkannt werden als in den DVT-Aufnahmen, was darauf hinweisen könnte, dass eine beginnende Wurzelresorption erst erkannt wird, wenn diese bereits eine gewisse Größe erreicht hat.

2.4.2.5 Darstellungen von Wurzelfrakturen

Wurzelfrakturen sind auf konventionellen Röntgenbildern schwierig zu diagnostizieren. Daher wurde in mehreren Studien die Nutzbarkeit der DVT im Hinblick auf die Erkennung von Frakturen untersucht (Cohenca et al. 2007, Cotton et al. 2007, Tyndall und Rathore 2008).

Cotton et al. (2007) beschrieben in einem ihrer Fallberichte die Darstellung einer Wurzelfraktur eines ersten Oberkieferfrontzahnes mithilfe der DVT nach einem Trauma. Das periapikale Röntgenbild zeigte einen vertikalen Knochenabbau sowie einen verbreiterten Parodontalspalt des zu behandelnden Zahnes. Die DVT offenbarte eine linguale Längsfraktur, beginnend vom Übergang der klinischen Krone bis in das koronale Wurzeldrittel. Der Frakturspalt stellte sich als kontinuierliche linienförmige Aufhellung dar. Die DVT dient daher auch als diagnostisches Hilfsmittel zur Darstellung von Wurzelfrakturen.

Cohenca et al. (2007) stellten ebenfalls Wurzelfrakturen mit der digitalen Volumentomographie dar. In ihrem Fallbericht konnte bei der Auswertung der DVT-Daten sowohl eine Querfraktur als auch eine Fraktur des angrenzenden Alveolarknochens erkannt werden. Das posttraumatische Röntgenbild nach Sturz ließ lediglich eine Zahnfraktur erahnen, es gab jedoch kein Indiz für eine zusätzlich angrenzende Alveolarfortsatzfraktur.

2.4.2.6 Darstellungen frakturierter Instrumente

Tsurumachi und Honda (2007) unterstrichen in ihrem Fallbericht die Nützlichkeit der dreidimensionalen Bildgebung bei der Darstellung eines frakturierten Wurzelkanalinstrumentes. Das periapikale Röntgenbild zeigte das frakturierte Objekt innerhalb des Sinus maxillaris. In der Axialansicht der DVT-Aufnahme konnte hingegen die Instrumentenspitze zwischen den beiden bukkalen Wurzeln lokalisiert werden.

Arnold (2011) nutzte die DVT zur Visualisierung frakturierter Instrumente bei der Durchführung einer Revisionsbehandlung an ersten Oberkiefermolaren im koronalen, mittleren und apikalen Wurzelkanaldrittel. Er konnte mithilfe der dreidimensionalen Darstellungen der Zähne die genaue Lokalisation der frakturierten Instrumente ermitteln. Zudem konnte er die Messgenauigkeit der digitalen Volumentomographie verdeutlichen, indem er in der dreidimensionalen Aufnahme vorab die Fragmente in ihrer Länge maß und diese nach Entfernung erneut auf ihre Länge kontrollierte. Die jeweiligen Längenmessungen stimmten überein. Nach Ansicht des Autors konnten die Wurzelkanalstrukturen mithilfe der dreidimensionalen Bildtechnik erhalten bleiben und eine Perforation der Wurzeln vermieden werden.

2.4.2.7 DVT bei Revisionsbehandlungen

Cotton et al. (2007) nutzten in einem Revisionsfall die digitale Volumentomographie zur unterstützenden Diagnostik nach Anfertigung einer periapikalen Einzelzahn Aufnahme. Das konventionelle Röntgenbild zeigte eine unbehandelte distolinguale Wurzel inklusive Wurzelkanal. Apikal konnte lediglich ein verbreiteter Parodontalspalt, jedoch kein deutlich entzündlicher Prozess erkannt werden. Die axialen, koronalen und sagittalen Schichtbilder des DVTs hingegen offenbarten eine apikale Osteolyse an der distolinguale Wurzelspitze.

2.4.2.8 DVT zur Verlaufskontrolle nach Wurzelkanalbehandlungen

Die digitale Volumentomographie ist zur Verlaufskontrolle nach einer abgeschlossenen Wurzelkanalbehandlung nützlich. Sie erlaubt eine Beurteilung der Wurzelfüllung auf Randständigkeit und Dichtigkeit und dient zugleich als Ausgangspunkt für die langfristige Bewertung der Heilung periapikaler Osteolysen (Scarfe et al. 2009).

Pathologische Veränderungen, die auf konventionellen periapikalen Röntgenbildern bereits ausgeheilt scheinen, sind auf DVT-Bildern noch zu erkennen (Lofthag-Hansen et al. 2007, Patel et al. 2007, Bornstein et al. 2011).

Liang et al. (2011) verglichen retrospektiv die Erfolgsrate 115 wurzelkanalbehandelter Zähne mit Hilfe periapikaler Röntgenbilder und digitaler Volumentomographie. Die Aufnahmen der präoperativ vitalen und apikal unauffälligen Zähne wurden nach einem Zeitraum von zwei Jahren nach der Wurzelkanalbehandlung durch zwei Untersucher ausgewertet. Dabei wurde die Länge und Dichtigkeit der Wurzelfüllung und das Vorliegen einer apikalen Parodontitis berücksichtigt. Die Autoren erkannten auf den Einzelzahnaufnahmen in 12,6% eine apikale Veränderung, wohingegen im Vergleich die DVT in 25,9% eine periapikale Parodontitis in mindestens zwei Ebenen zeigte. In 2,8% der Fälle erkannten die Untersucher eine apikale Veränderung in der konventionellen Einzelzahnaufnahme, jedoch nicht im DVT-Scan. In nur 16,1% wurden Inhomogenitäten der Wurzelfüllung anhand periapikaler Röntgenbilder diagnostiziert. Die DVT hingegen ließ demgegenüber sogar in 46,2% eine inhomogene Wurzelfüllung erkennen. Im Hinblick auf die Länge der Wurzelfüllungen stimmten die Ergebnisse der periapikalen Röntgenbilder mit denen der dreidimensionalen Röntgenbilder in 72,7% der Fälle überein. In zwanzig von fünfundzwanzig Wurzeln, die laut Einzelzahnaufnahme über eine zu kurze Wurzelfüllung verfügten, lag die Einschätzung in der DVT-Aufnahme bei einer bündigen Wurzelfüllung. Der Unterschied zwischen Einzelzahnaufnahme und DVT in apikaler Diagnostik war statistisch signifikant (Liang et al. 2011). Den Autoren zufolge kann das Behandlungsergebnis, kontrolliert mit periapikalen Röntgenbildern, aufgrund der lediglich mesiodistalen Wiedergabe eines dreidimensionalen anatomischen Gebietes falsch bewertet werden.

2.4.3 Darstellungen des Alveolarknochens und anatomischer Strukturen

Mithilfe der DVT ist die Darstellung des Alveolarknochens in orofazialer, sagittaler und axialer Ebene möglich. Somit kann der Zahnarzt vor einem chirurgischen Eingriff die Knochendichte des kortikalen und spongiösen Knochens untersuchen. Die präoperative Kenntnis über die Knochenausdehnung in drei Ebenen reduziert die Notwendigkeit, während der Operation die Behandlungsstrategie ändern zu müssen (Queresby et al. 2008). Zudem kann die Lagebeziehung zu den Nervenstrukturen und den Kieferhöhlen ermittelt werden (Patel et al. 2007). Die angrenzenden anatomischen Strukturen können in ihrer Lage genau lokalisiert werden, was zu einer Reduzierung möglicher Komplikationen führt (Queresby et al. 2008).

Howard-Swirczinski et al. (2010) werteten 500 DVT-Aufnahmen aus, um sowohl die Durchschnittslänge als auch die geometrischen Muster des Canalis N. Palatinus major zu erkennen. Das Ziel ihrer Untersuchung lag in der Darstellung des Kanalverlaufs in sagittaler und koronaler Ansicht. Die korrekte Darstellung des Nervs mithilfe der dreidimensionalen Bildgebung erleichtert dem Zahnarzt die Anästhesie und dem Chirurgen die einfachere Applikation eines Implantates oder die Versorgung von Osteotomien (Howard-Swirczinski et al. 2010).

2.4.4 Vergleich zwischen DVT und konventionellem/digitalem Röntgen

Es wurden bereits in mehreren Studien DVT-Scans und konventionelle/digitale Röntgenbilder verglichen (Lofthag-Hansen et al. 2007, Low et al. 2008, Matherne et al. 2008, Durack et al. 2011, Bornstein et al. 2011, Liang et al. 2011).

Zu dem konventionellen und digitalen Röntgen zählen sowohl Intra- als auch Extraoralaufnahmen. Die Intraoralaufnahmen beinhalten periapikale Röntgenbilder, Bissflügelaufnahmen und Aufbissaufnahmen. Vor allem Intraoralaufnahmen werden genutzt, um eine detaillierte Darstellung filigraner Strukturen zu erhalten (Lemkamp et al. 2006). Konventionelles oder digitales Röntgen zeigen aber Schwachstellen in Hinsicht auf Verzerrungen, Überlagerungen, anatomische Geräusche und die Tatsache, dass ein dreidimensionaler Körper zweidimensional in mesio-distaler Ansicht abgebildet wird. Es ist demnach nicht anzunehmen, dass zweidimensionale Aufnahmen alle Wurzelkanäle exakt wiedergeben können (Patel und Horner 2009). Oben erwähnte anatomische Geräusche resultieren aus röntgenopaken Strukturen wie beispielsweise dem kortikalen Knochen,

dem Jochbein oder der unteren Kieferhöhlenbegrenzung auf Höhe der Oberkiefer-Molarenwurzeln. Des Weiteren führt eine ungleiche Zahn-Sensor-Tubus-Ausrichtung zu einer bildhaften Längenverzerrung des Zahnes (Patel et al. 2009). Auch bei mehrfach mesial und distal angulierten apikalen Röntgenbildern ist die Sicherheit nicht gegeben, alle wesentlichen anatomischen Gegebenheiten detailliert darzustellen (Matherne et al. 2008). Bornstein et al. (2011) verglichen die periapikalen Röntgenbilder mit sagittalen und koronalen DVT-Schnittbildern zur Erkennung apikaler Läsionen. Sie stellten fest, dass periapikale Läsionen in der DVT häufiger erkannt werden als im periapikalen Röntgenbild. Im Vergleich zu konventionellen und digitalen Röntgenbildern liegt die räumliche Auflösung bei der DVT mit zwei Linienpaaren pro Millimeter unterhalb der räumlichen Auflösung der konventionellen Röntgenbilder, die über 10-15 Linienpaare pro Millimeter verfügen (Patel et al. 2007). Laut Farman (2005) verfügt das konventionelle Röntgenbild sogar über 15-20 Linienpaare pro Millimeter. Dennoch führen konventionelle Röntgenbilder zu geometrischen Verzerrungen und anatomischen Geräuschen, was die diagnostische Aussagekraft eines zweidimensionalen Röntgenbildes herabsetzt (Patel et al. 2009b). Matherne et al. (2008) verglichen die digitale Volumentomographie mit digitalen Röntgenbildern im Hinblick auf die Erkennung des Wurzelkanalsystems von 72 extrahierten bleibenden Zähnen, davon 24 erste Oberkiefermolaren, 24 erste Unterkieferprämolaren und 24 Unterkieferinzisivi. Die Durchsicht der Röntgenbilder erfolgte durch drei zertifizierte Endodontologen. Die Ergebnisse der ausgewerteten DVT-Daten wurden als Referenz genommen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass mithilfe der DVT-Schnittbilder durch jeden Untersucher in jeder Zahngruppe eine größere Anzahl an Kanalvariationen erkannt wurde. Die Durchschnittsanzahl an Kanalvariationen lag bei den Unterkieferfrontzähnen bei 1,5, bei den Unterkieferprämolaren bei 1,2 und bei den Oberkiefermolaren bei 3,6. Die Ergebnisse der digitalen Röntgenbilder lagen mit 1-1,3 bei den Unterkieferinzisivi, 1,0- 1,1 bei den Unterkieferprämolaren und 3,1 bei den Oberkiefermolaren sichtlich darunter. Estrela et al. (2008b) belegen eine weitaus deutlichere Sensitivität der DVT gegenüber periapikalen Röntgenbildern und Panoramaschichtaufnahmen in Bezug auf die Lokalisation apikaler Parodontitiden. Die Vorteile der DVT gegenüber konventionellem Röntgen wurden zwar hinreichend belegt, trotzdem muss eine rechtfertigende Indikation vor Erstellen des Bildes gestellt werden. Es ist zu belegen, aus welchen Gründen das konventionelle Verfahren ausgeschlossen wurde (Roberts et al. 2009). Konventionelle, periapikale Röntgenbilder haben sich als eines der wichtigsten diagnostischen Hilfsmittel für die endodontische Behandlung im zahnärztlichen

Alltag etabliert (Ioannidis et al. 2011). Trotz allem konnte in mehreren Studien die überragende Diagnosefähigkeit der digitalen Volumentomographie gegenüber der konventionellen Röntgentechnologie belegt werden (Lofthag-Hansen et al. 2007, Estrela et al. 2008b, Ioannidis et al. 2011, Liang et al. 2011).

2.4.5 Vergleich zwischen DVT und CT

Im Vergleich zur Computertomographie werden bei der digitalen Volumentomographie ein dreidimensionales Nutzstrahlenbündel und ein zweidimensionaler Bildrezeptor verwendet. Die Hauptvorteile der DVT gegenüber der CT liegen in der schnelleren Scan-Zeit, der reduzierten Strahlenexposition (Patel et al. 2007) und in der kostengünstigeren Anschaffung des Gerätes. Zudem ist es in der digitalen Volumentomographie möglich, das *field of view (FOV)* zu reduzieren, um nur die gewünschte Region abzubilden. Es gibt großvolumige DVTs, bei denen der gesamte Schädel abgebildet wird, und kleinvolumige DVTs, bei denen das *FOV* soweit reduziert wird, dass lediglich 2-3 Zähne gescannt werden. Es besteht die Möglichkeit, das *FOV* so einzustellen, dass kieferweise bzw. quadrantenweise geröntgt wird. Der DVT-Scanner verfügt über eine hochentwickelte Software, die es ermöglicht, die Daten in ein 3-D-Volumen umzurechnen (Patel et al. 2007). Im Vergleich zum CT, welches man in Kliniken oder röntgenologischen Zentren findet, kann ein DVT-Gerät in der zahnärztlichen Praxis angewendet werden, sofern der Zahnarzt über die spezielle Fachkunde verfügt. Der DVT-Apparat verfügt über eine einfache Handhabung und benötigt nicht mehr Platz als ein konventioneller bzw. digitaler Orthopantomograph (Scarfe et al. 2006). Die DVT lässt eine Bildbearbeitung in verschiedenen Schnittebenen zu, was zu einer exakten Darstellung des zu untersuchenden Areals führt (Lemkamp et al. 2006). Die hohe Strahlendosis und die teuren Untersuchungskosten machen die Computertomographie für den zahnärztlichen Alltag nicht verwendbar (Ludlow et al. 2007). Während bei CT-Aufnahmen Strahlungen von 500 bis 2000 μSv aufkommen, liegen sie bei der digitalen Volumentomographie (Galileos) bei Verwendung der Einstellung für Jugendliche bei ca. 30 μSv . Das entspricht ca. 1,5 % der jährlichen Dosis durch Hintergrundbelastungen (Sirona, Röntgenmagazin). Die verkürzte Scanzeit resultiert aus der Einmalrotation des Scanners um den Patienten, bei der circa 360 gepulste Einzelbilder auf einen Flächendetektor abgebildet werden (Matherne et al. 2008). Dem Patienten ist es daher möglich, während der kurzen Aufnahme still zu stehen, was zu einer Reduzierung der Bewegungsartefakte führt.

2.5 Computertomographie

1895 wurden von Wilhelm Conrad Röntgen die Röntgenstrahlen entdeckt. Bis zur heutigen Zeit wurden die Röntgentechnologien stetig weiterentwickelt. Im Jahr 1972 verwendete Godfrey Hounsfield erstmals die Computertomographie für klinische Untersuchungen. Hinzu kamen sowohl die Spiral-Computertomographie als auch die 1998 entwickelten Mehrzeilendetektorsysteme. „Die CT basiert auf mathematischen Algorithmen, welche zu computertomographischen Schnittbilddarstellungen führen“ (Zöller 2007, S.3).

Laut Lemkamp et al. (2006) werden Querschnittsbilder erzeugt, die digital erfasst werden. Der Computer verknüpft die einzelnen zweidimensionalen Datenflächen zu einem dreidimensionalen Datenwürfel. Auf diese Weise ist es möglich, mittels Reformatierung neben Querschnitten auch Längsschnitte darzustellen. Der Patient wird zirkulär gleichermaßen von mehreren Röntgenquellen und Detektoren umfahren und Schicht für Schicht in axialer Ebene geröntgt. Die Daten werden gestapelt und in dreidimensionale Daten formatiert, sodass in axialer, sagittaler und koronaler Ebene ausgewertet werden kann. Die Intervalle der einzelnen Schnittbilder können variiert werden. Je enger die Abstände, desto besser die Bildauflösung, desto höher ist aber die Strahlenbelastung für den Patienten. Es gibt mehrere Gründe, die Computertomographie bei Wurzelkanalbehandlungen nicht zu nutzen. So verfügt die CT gegenüber einem periapikalen Röntgenbild über eine geringere Bildauflösung bei einer weitaus höheren effektiven Strahlendosis. Zum anderen sind diese Geräte nicht in Zahnarztpraxen zu finden, sondern nur in Kliniken oder röntgenologischen Instituten, wo sie von Radiologen betrieben werden (Patel et al. 2009). Es ist schwierig die relevante Schichtebene einzustellen. Die Computertomographie gibt viele zahnmedizinisch irrelevante Strukturen wieder (Lemkamp et al. 2006).

2.6. Ziele der Studie

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Wurzelkanalanatomie der Unterkieferfrontzähne mithilfe der digitalen Volumentomographie. Es sollte überprüft werden, wie häufig ein zweiter Wurzelkanal vorliegt und wie häufig dieser zweite Wurzelkanal bilateral auftritt. Zudem sollte getestet werden, wie sinnvoll die Verwendung der digitalen Volumentomographie für die Erkennung eines zweiten Wurzelkanals im Unterkieferfrontzahnbereich ist.

3. Material und Methode

Diese Arbeit ist eine retrospektive 3D-Röntgenstudie, die in der Avadent Clinic von Dott./Univ. Ancona Dr. med. dent. Georg Henrich und Coll. in Bad Homburg/ Hessen in Kooperation mit dem Universitätsklinikum Göttingen, Poliklinik für Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie durchgeführt wurde.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Göttingen genehmigt (Antragsnummer: 7/6/11).

3.1. Administrative Vorbereitungen

Aus der Patientenkartei einer allgemein Zahnärztlichen und kieferchirurgischen Praxis in Bad Homburg/Hessen wurden von insgesamt 1700 vorhandenen und aus nicht mit der vorliegenden Studie zusammenhängenden Indikationen angefertigten DVT-Aufnahmen 960 DVT-Scans mit dem Programm Sidexis (Sirona) eingesehen. Vor Beginn der Studie wurde nach Patientenalter selektiert. Patienten, die zu dem Zeitpunkt der dreidimensionalen Röntgenaufnahme jünger als 18 Jahre alt waren, wurden nicht in die Studie einbezogen. 740 Patienten wurden demnach aus Altersgründen von der Studie ausgeschlossen. Von den verbliebenen 960 DVT-Bildern konnten 534 ausgewertet werden. 426 DVT-Daten wurden aufgrund zuvor definierter Ausschlusskriterien ausgesondert. Von den 534 eingesehenen DVT-Aufnahmen konnten aufgrund vorliegender Patienteneinwilligungen 302 in die Studie aufgenommen werden. Die insgesamt 302 untersuchten DVT-Bilder wurden anonymisiert, indem ihnen von einer an der Studie nicht beteiligten Person Nummern zugeordnet wurden. Alle untersuchten DVT-Aufnahmen wurden auf einer externen Festplatte gespeichert und ausgewertet.

Die Untersucherin wurde durch zwei Endodontologen kalibriert. Die Wurzelkanalmorphologien der untersuchten Zähne wurden in die Vertucci-Typen I, Typ II (III), Typ IV (VI, VII) und Typ V (Vertucci 1984) eingeteilt.

Die Einwilligung zur Studiendurchführung wurde vom Praxisinhaber und der Ethikkommission eingeholt. Die Einwilligung der Patienten erfolgte mit ihrer Unterschrift auf aktualisierten Anamnesebögen der Avadent Clinic. Auf diesen erklärten sich die Patienten damit einverstanden, dass ihre personenbezogenen Daten und Röntgenaufnahmen in anonymisierter Form für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden können.

Dieses ist eine retrospektive Studie, welche auf bereits angefertigten DVT-Daten basiert, die von Patienten angefertigt wurden, die verschiedene zahnmedizinische Erkrankungen aufweisen bzw. aufwiesen. Keine Aufnahme wurde zu Zwecken dieser Studie angefertigt.

3.2. Untersuchungsort und Zeitraum

Die Untersuchungen der Patienten mit Anfertigung der dreidimensionalen Röntgenbildern erfolgten im Zeitraum vom 15. September 2010 bis zum 15. September 2011 in der Avadent Clinic Dr. Henrich und Coll. in Bad Homburg.

3.3. Auswahl der DVT-Scans

Die Auswahl der DVT-Aufnahmen erfolgte nach Durchsicht der Patientenkartei und nach Einbeziehung der vorher festgelegten Einschluss- und Ausschlusskriterien.

3.3.1 Einschlusskriterien

Es wurden die folgenden Einschlusskriterien festgelegt:

- Es liegt eine unterschriebene Einwilligung einwilligungsfähiger Patienten vor.
- Das Wurzelwachstum aller Unterkieferfrontzähne ist röntgenologisch vollständig abgeschlossen
- Die zu untersuchenden Zähne sind eindeutig als Unterkieferfrontzähne zu identifizieren.
- Alle UK- Frontzähne von 32-42 sind vorhanden.
- Die zu untersuchenden Zähne sind zum Zeitpunkt der Auswertung nicht wurzelkanalbehandelt.
- Die Unterkieferfrontzähne sind nicht wurzelspitzenreseziert.
- Das Patientenalter zum Zeitpunkt der DVT- Aufnahme beträgt mindestens 18 Jahre.

3.3.2 Ausschlusskriterien

Es wurden die folgenden Ausschlusskriterien formuliert:

- Der Patient verfügt über eine unvollständige Bezahnung der Unterkieferfront von 32 bis 42.
- Der Patient besitzt einen zahnlosen Kiefer oder die Frontzähne fehlen bzw. sind in der DVT- Aufnahme nicht erfasst.
- Die vorhandenen Zähne sind nicht eindeutig als Unterkieferfrontzähne zu identifizieren.
- Die Qualität der Aufnahme erlaubt keine Auswertung; die Klassifikation des DVTs durch den Prüfarzt erfolgt zum Ausschluss.
- Es sind bereits wurzelkanalbehandelte Unterkieferfrontzähne zu erkennen.
- Es sind wurzelspitzenresezierte Zähne im Bereich der Unterkieferfrontzähne vorhanden.
- Mindestens ein Inzisivus verfügt über ein nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum.
- Die Patienten sind zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme jünger als 18 Jahre.
- Der Patient ist nicht einwilligungsfähig oder es liegt keine schriftliche Einwilligung vor.

3.3.3 Präsentation der Stichprobe /Anzahl der DVT-Aufnahmen

Insgesamt lagen bei Studienbeginn 1700 DVT-Daten in der Avadent Clinic vor. Von allen vorhandenen dreidimensionalen Aufnahmen wurden 960 eingesehen. Davon wurden 534 untersucht. Die übrigen DVT-Scans wurden nach Erfüllen mindestens eines Ausschlusskriteriums von der Studie ausgeschlossen. Es konnten 302 DVT-Aufnahmen von Patienten im Alter zwischen 18 und 78 Jahren (Median= 44.0 Jahre) in die Studie aufgenommen werden. Der Altersdurchschnitt der Patienten lag bei 44.7 Jahren (Standardabweichung SD $\pm$ 12,9).

Es gab keine signifikanten Altersunterschiede zwischen Frauen (Altersdurchschnitt = 43,83 Jahre SD $\pm$ 13,13) und Männern (Altersdurchschnitt = 46,45 Jahre SD $\pm$ 12,35), ($p=0.08$).

3.4 Einstellungen des DVT-Gerätes

Die in dieser Studie ausgewerteten DVT-Daten wurden mit dem nachfolgenden Gerät und den angegebenen Einstellungen angefertigt:

Gerät:	Galaxis Galileos/ Sirona Programm Sidexis
Röhrenspannung:	85 kv
Röhrenstromstärke:	5-7 mA
<i>Field of View/ FOV:</i>	15x15x15 cm ³
Auflösung:	0,3/ 0,15 mm
<i>Conebeam</i> -Strahlenwinkel:	24 Grad
Scanvorgang: Umlaufwinkel:	204 Grad
Scanzeit:	14 Sek. /effektive Strahlenzeit: 2-6 Sek.
Einzelaufnahmen:	200 Stk.
Rekonstruktionszeit:	4,5 Min
Datenvolumen:	bis zu 700 MByte pro Scan
Voxelgröße:	0,3 x 0,3 x 0,3 mm ³

(Alle technischen Daten wurden dem Sirona/ Sidexis XG Handbuch für den Anwender (2007) entnommen und mit denen des verwendeten Gerätes verglichen).

3.5 Patientenpositionierung

Alle metallischen Gegenstände legte der Patient ab. Die Gerätebewegung durfte durch vorhandene Gegenstände, Patientengröße oder Gehhilfen nicht beeinträchtigt werden (Sirona Handbuch). Die Patientenpositionierung wurde abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten variabel in sitzender oder in stehender Position durchgeführt. Der Patient erhielt eine Bleischürze zum Schutz der umgebenden Strukturen und Organe. Vorab wurde die Gerätehöhe auf die Größe des Patienten mit einer Aufwärts- oder Abwärtsbewegung eingestellt. Die Höhe des Aufbissstückes wurde auf Frontzahnhöhe eingestellt. Der Patient biss auf den Löffel des Aufbissstückes, welches mit der Okklusionsebene in waagerechte Position gebracht wurde und hielt sich mit beiden Händen an den Haltegriffen fest, die Stirn wurde mit einer Stirnstütze fixiert. Das

Lichtvisier wurde so eingestellt, dass der Lichtstrahl den Aufbiss und das Gesicht mittig traf. Der Patient sollte stabil stehen und während der Aufnahme nicht schlucken oder atmen, um Bewegungsartefakte zu vermeiden. Vor der Röntgenaufnahme wurde ein Testlauf mit der T-Taste durchgeführt. Bei korrektem, reibungslosem Umlauf des Gerätes wurde die Aufnahme durch Gedrückthalten der Fernauslösung ausgelöst. Der Tubus fährt sodann 1x um den fixiert stehenden Patienten herum und bestrahlt den orofazialen Bereich. Während des Röntgenvorgangs ertönt ein akustisches Signal. Dieses verstummt nach Beendigung des Vorgangs (Sirona/ Sidexis XG Handbuch für den Anwender 2007).

3.6 Patienteneinstellung

Die Patienten wurden nach Gewicht und Größe (BMI) individuell eingestellt. Je nach Gewicht wurde die Strahlendosis erhöht bzw. verringert. Die Auswahl der voreingestellten Aufnahmeparameter erfolgte über die Patienten-Symboltasten. Die Patientendosis kann zwischen 85 kV/10 mAs und 85 kV/42 mAs eingestellt werden. Die am häufigsten verwendete Einstellung in der Avadent Clinic beträgt 85 kV/21 mAs. Das bedeutet eine Patientendosis von 68 μ Sv. Die Rekonstruktionszeit zur Bildwiedergabe beträgt 4,5 Minuten. Danach können die DVT-Daten eingesehen und ausgewertet werden.

3.7 Untersuchungsablauf/ Screening der DVT-Aufnahmen/ Anwendung für *Secondviewer*

Alle DVT-Aufnahmen wurden nach einem standardisierten Ablauf ausgewertet. Nachfolgend wird diese Vorgehensweise kurz erläutert:

1. Der Computer wurde hochgefahren und Windows gestartet.
2. Das Programm Sidexis wurde geöffnet und angemeldet.
3. Die Patientennummer und das entsprechende Bild wurden ausgewählt. Mit der OK-Taste wurde die DVT- Auswahl bestätigt.
4. Die 3D-Taste wurde betätigt. Dadurch erhält man die dreidimensionale Datenansicht.
5. Mit dem Untersuchungsfenster der Panoramaaufnahme wurde nun die Frontzahnregion eingestellt.
6. Die Axialebene unten rechts wurde angewählt.

7. Mithilfe des Mausekursors wurde die Ansicht vergrößert und der Zahn von koronal nach apikal verfolgt.
8. Der Pulpaverlauf wurde mit dem Mausekursor in bukkal-oraler Richtung in der Transversalansicht dargestellt.
9. Mithilfe des Analysebuttons wurden zwei getrennte Messlinien pro Zahn eingezeichnet. Beginnend vom röntgenologischen Apex wurde eine Messlinie a` 2 mm und eine a` 7 mm nach koronal gezogen. Dabei wurde die Zahnachse beachtet und eingehalten.
10. Das Fadenkreuz wurde auf die koronalen Linienenden gelegt und in der axialen Bildansicht die Kanalanzahl begutachtet.
11. Pro Zahn erhielt man zwei Messungen, die zusammengefasst folgende Varianten ergeben können: 1-1, 2-1, 2-2 und 1-2.
12. Nach der DVT-Auswertung wurden die Ergebnisse in eine Excel-Tabelle übertragen. Die vier obigen Varianten, Kanalanzahlen in 7 mm und 2 mm Höhe, Zähne, Patientennummer, Alter und Geschlecht wurden in diese eingetragen und abgespeichert.

Die in dieser Studie untersuchten Zähne wurden gemäß der Klassifikation von Vertucci in die folgenden Gruppen eingeteilt: Gruppe 1-1, 1-2, 2-1 und 2-2. Gruppe 1-1 entspricht Vertucci's Typ I-Konfiguration. Gruppe 1-2 entspricht der Typ V-Konfiguration nach Vertucci. Die Typen II und III werden in Gruppe 2-1 wiedergegeben. Gruppe 2-2 beinhaltet Typ IV, VI und VII nach Vertucci. Typ VIII wurde aufgrund fehlender Präsenz in den untersuchten Frontzähnen in keine der vier verwendeten Gruppen aufgenommen.

Nachfolgend werden die verschiedenen Vertucci-Klassifikationen nochmals im Detail erläutert:

Typ 1: Ein durchgängiger Kanal von der Pulpakammer bis zum Apex.

Typ 2: Zwei separate Kanäle verlassen die Pulpakammer und fusionieren vor Austritt aus dem Apex.

Typ 3: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer und teilt sich innerhalb der Wurzel in zwei Kanäle, welche vor dem Austritt aus dem Apex wieder fusionieren.

Typ 4: Zwei separate Kanäle verlassen die Pulpakammer und treten ohne zu fusionieren aus dem Apex aus.

Typ 5: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer und teilt sich vor dem Apex in zwei Kanäle. Beide Kanäle verlassen den Apex separat.

Typ 6: Zwei einzelne Kanäle verlassen die Pulpakammer, fusionieren innerhalb der Wurzel, teilen sich vor dem Apex erneut und verlassen diesen getrennt.

Typ 7: Ein Kanal verlässt die Pulpakammer, teilt sich und fusioniert innerhalb der Wurzel und verlässt den Apex mit zwei getrennten Kanälen.

Typ 8: Drei separate Kanäle verlaufen von der Pulpakammer bis zum Apex und verlassen diesen getrennt.

Abbildung 1: Vertucci-Klassifikation (1984)

Im Folgenden sind die zweidimensionalen Darstellungen der DVT-Volumendaten in drei Ebenen dargestellt. Die Abbildungen 2-6 wurden aus den für diese Studie gespeicherten DVT-Aufnahmen entnommen.

Von links nach rechts: Longitudinalebene, Transversalebene und Axialebene.

Variante 1-1: Der Zahn verfügt sowohl 7 mm als auch 2 mm vor dem röntgenologischen Apex über einen durchgängigen Wurzelkanal von der Pulpakammer bis zur Wurzelspitze, was der Vertucci-Klassifikation Typ I entspricht (Abb. 2).

Abbildung 2: Kanalklassifikation Typ 1-1 (entspricht Vertucci Typ I)

Variante 1-2: Der Zahn enthält zwei Wurzelkanäle in 2 mm Höhe vom röntgenologischen Apex und einen Wurzelkanal bei 7 mm.

Diese Variante entspricht der Vertucci Klassifikation Typ V (Abb. 3).

Abbildung 3: Klassifikation Typ 1-2 (entspricht Vertucci Typ V)

Variante 2-1: Der Zahn verfügt in 7 mm Entfernung vom röntgenologischen Apex über zwei getrennte Wurzelkanäle und in Höhe von 2 mm über einen Wurzelkanal. Diese Variante entspricht der Vertucci-Klassifikation Typ II, spiegelt aber auch die Typ III Klassifikation wieder (Abb. 4).

Abbildung 4: Klassifikation Typ 2-1 (entspricht hier Vertucci Typ II)

Variante 2-2: Sowohl 7 mm als auch 2 mm vom röntgenologischen Apex entfernt verfügt der Zahn über zwei getrennte Wurzelkanäle. Diese Variante beinhaltet die Kanaleinteilungen Typ IV, Typ VI und Typ VII nach Vertucci (Abb. 5).

Abbildung 5: Klassifikation Typ 2-2 (entspricht hier Vertucci Typ IV)

Setzt man das Untersuchungsfenster der Übersichtsaufnahme auf den Unterkieferfrontzahnbereich und erhält in der Longitudinalebene eine Kanalwiedergabe mit abruptem Ende des Hauptkanals (weiße Pfeilmarkierung in Abbildung 6), ist ein zweiter Wurzelkanal zu erwarten.

Abbildung 6: Es gibt einen Hinweis auf einen zweiten Wurzelkanal bei einem abrupten Ende des Hauptkanals in der longitudinalen Ansicht (links)

3.8 Untersucher

Alle Untersuchungen wurden von ZÄ Marie Bohlender durchgeführt.

3.9 Statistik

Die Verteilungen der einzelnen Kanalkonfigurationen (1-1, 2-2, 1-2 und 2-1) wurden in absoluten und relativen Häufigkeiten dargestellt. Jeweils die Verteilungen der zentralen bzw. der lateralen Inzisivi wurden in Kreuztabellen gegenübergestellt und der Zusammenhang zwischen den zentralen bzw. lateralen Inzisivi mittels des Exakten Fisher Tests auf Signifikanz getestet. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 5\%$ festgelegt.

Zudem wurden die Häufigkeit und die Symmetrie des zweiten Wurzelkanals in verschiedenen Altersgruppen und im Geschlechtervergleich untersucht. Hierzu wurden die erhobenen Daten des Gesamtkollektivs in einer Excel Tabelle nach Alter sortiert, entsprechend der Quartile in vier Gruppen eingeteilt und abschließend nach Geschlecht sortiert. Zur Prüfung der Frage, ob das Alter und das Geschlecht Einfluss auf das Vorhandensein eines zweiten Wurzelkanals nehmen, wurden die Daten in einer Exceltabelle ausgezählt und die Ergebnisse tabellarisch gegenübergestellt. Zur Überprüfung einfacher Zusammenhänge wurde die Korrelation berechnet. Die Analysen wurden sowohl mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Version 2007, Microsoft) als auch mit der Statistik-Software R (Version 15, www.r-project.org) vorgenommen. Mittelwerte wurden jeweils mit Standardabweichung (Mittelwert + SD) angegeben. Aufgrund der hohen Tabellenanzahlen befinden sich die Kreuztabellen 20-43 im Anhang. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Gesamtauswertung in Überblickstabellen dargestellt.

4. Ergebnisse

4.1 Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer

Insgesamt wurden die DVT-Daten von 302 Patienten ausgewertet. Von diesen waren 116 (38,4%) männlich und 186 (61,6%) weiblich mit einem Durchschnittsalter von 44,7 ($\pm 12,9$) Jahren (Abb. 7).

Abbildung 7: Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs

4.2 Altersverteilung

Zusätzlich zur Geschlechterverteilung wurden die Patienten anhand ihres Alters in vier Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe beinhaltet die Patienten, die sich zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme in einem Alter zwischen 18-35 Jahre befanden. Die zweite Gruppe umfasst die Patienten im Alter zwischen 36-45 Jahren. Die dritte Gruppe enthält die 46-55jährigen Patienten. Gruppe 4 umfasst die Patienten, die das 56. Lebensjahr überschritten haben. Die statistische Auswertung mit dem Exakten Fisher Test ergab, dass sich das Durchschnittsalter der männlichen und weiblichen Studienteilnehmer nicht signifikant voneinander unterscheidet ($p= 0,08$).

4.3 Auswertung nach Altersgruppen

Abbildung 8 und Tabelle 1 geben einen Überblick über die Altersverteilung des Patientenkollektivs in den 4 Gruppen.

Abbildung 8: Altersverteilung innerhalb der Gruppen

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über das männliche und weibliche Durchschnittsalter, bezogen auf die jeweiligen Altersgruppen.

Altersgruppe	Durchschnittsalter		Durchschnittsalter gesamt
	männlich	weiblich	
18-35 J	28,8 J	27,6 J	27,9 J
36-45 J	39,5 J	44,7 J	40,9 J
46-55 J	49,7 J	48,7 J	50,6 J
> 56 J	63,1 J	61,2 J	61,9 J

Tabelle 1 zeigt die Geschlechterverteilung und das Durchschnittsalter innerhalb der Altersgruppen

In den folgenden Tabellen 2-5 werden die Ergebnisse innerhalb der Altersgruppen veranschaulicht.

	Zahngruppe Zentrale Inzisivi (31/41)	Zahngruppe Laterale Inzisivi (32/42)
Patientenanzahl der Gruppe 1	75	75
Pat. mit mind. einem 2. WK*	23 (30,7%)	28 (37,3%)
Pat. mit bilateraler Symmetrie	14	21
% in der Zahngruppe	60,9%	75%
% der Gesamtpatientenzahl	4,6%	6,95%

Tabelle 2: Übersicht der zentralen und lateralen Inzisivi der Altersgruppe 1, bezogen auf die Patientenanzahl, geschlechterunabhängig (WK*- Wurzelkanal)

Bei 23 (30,7%) der untersuchten 75 Patienten der Altersgruppe 1 konnten bei mindestens einem der *zentralen* Schneidezähne zwei Kanäle erkannt werden. Von diesen 23 Patienten hatten 14 Patienten (60,9%) jeweils in dem gegenüberliegenden Zahn einen zweiten Kanal. Bei 28 Patienten (37,3%) dieser Altersgruppe lag bei mindestens einem der *lateralen* Inzisivi ein zweiter Wurzelkanal vor. 21 der 28 Patienten (75%) hatten jeweils in dem gegenüberliegenden Zahn einen zweiten Wurzelkanal (Tabelle 2).

	Zahngruppe Zentrale Inzisivi (31/41)	Zahngruppe Laterale Inzisivi (32/42)
Patientenanzahl der Gruppe 1	87	87
Pat. mit mind. einem 2. WK*	17 (19,5%)	23 (26,4%)
Pat. mit bilateraler Symmetrie	15	18
% in der Zahngruppe	89,5%	82%
% der Gesamtpatientenzahl	4,96%	5,96%

Tabelle 3: Übersicht der zentralen und lateralen Inzisivi der Altersgruppe 2, bezogen auf die Patientenanzahl, geschlechterunabhängig (WK*- Wurzelkanal)

Die Gruppe der 36-45jährigen Patienten verfügt in dieser Studie über die höchsten Symmetrieraten in beiden Schneidezahngruppen mit 89% und 82% (Tabelle 3).

	Zahngruppe Zentrale Inzisivi (31/41)	Zahngruppe Laterale Inzisivi (32/42)
Patientenanzahl der Gruppe 1	73	73
Pat. mit mind. einem 2. WK*	17 (23,2%)	18 (5,96%)
Pat. mit bilateraler Symmetrie	13	13
% in der Zahngruppe	76,5%	72%
% der Gesamtpatientenzahl	4,3%	4,3%

Tabelle 4: Übersicht der zentralen und lateralen Inzisivi der Altersgruppe 3, bezogen auf die Patientenanzahl, geschlechterunabhängig (WK*- Wurzelkanal)

Jeweils 13 von 73 Patienten aus der dritten Altersgruppe wiesen eine bilaterale Symmetrie innerhalb beider Zahngruppen auf (76,5% bzw. 72%) (Tabelle 4).

	Zahngruppe Zentrale Inzisivi (31/41)	Zahngruppe Laterale Inzisivi (32/42)
Patientenanzahl der Gruppe 1	67	67
Pat. mit mind. einem 2. WK*	18 (26,9%)	16 (20,9%)
Pat. mit bilateraler Symmetrie	11	10
% in der Zahngruppe	61,1%	62,5%
% der Gesamtpatientenzahl	3,6%	3,3%

Tabelle 5: Übersicht der zentralen und lateralen Inzisivi der Altersgruppe 4, bezogen auf die Patientenanzahl, geschlechterunabhängig (WK*- Wurzelkanal)

Die Teilnehmer der Gruppe 4 wiesen im Vergleich zu den oben genannten Altersgruppen geringere Symmetriewerte auf (61,1% und 62,5%).

Ohne Berücksichtigung des Geschlechts ist innerhalb der vier Altersgruppen das Vorkommen des zweiten Wurzelkanals beim gegenüberliegenden Zahn in der Altersgruppe der 36-45jährigen mit 89,5% für die zentralen bzw. 82% für die lateralen Frontzähne am höchsten. Die geringste Symmetrierate mit 60,9% ergab sich bei den zentralen Inzisivi der 18-35jährigen Teilnehmer.

Die statistische Analyse mit dem Exakten Fisher Test ergab, dass das Alter keinen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz und die Symmetriehäufigkeit eines zweiten Wurzelkanals hat.

Tabelle 6 veranschaulicht die Ergebnisse der Auswertung bezogen auf die Anzahl und Symmetrie der Wurzelkanäle bei den zentralen und lateralen Schneidezähnen.

4.4. Auswertung nach Zahngruppen

	Zahngruppe Zentrale Inzisivi (31/41)	Zahngruppe Laterale Inzisivi (32/42)
Patienten gesamt	302	302
Pat. mit mind. einem 2. WK*	85 (28,1%)	85 (28,1%)
Pat. mit bilateraler Symmetrie	53	62
% der Gesamtpatientenzahl	17,5%	20,5%

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Ergebnisse der zentralen- und lateralen Inzisivi bezogen auf die Patientenanzahl (WK* - Wurzelkanal)

Bezogen auf die Gesamtanzahl von 302 Patienten hatten 85 Patienten (28,1%) an mindestens einem der *mittleren* Schneidezähne einen zweiten Wurzelkanal. 53 (62,3%) davon verfügten kontralateral ebenfalls über einen zweiten Wurzelkanal. Bezogen auf die Gesamtpatientenanzahl macht das 17,5% aus. Auch bei den *lateralen* Inzisivi konnte bei 85 Teilnehmern (28,1%) mindestens bei einem der Zähne ein zweiter Kanal erkannt werden. 73% der lateralen Inzisivi (n=62) wiesen auch im gegenüberliegenden Zahn einen zweiten Kanal auf. Bezogen auf die Gesamtanzahl macht das 20,5% aus (Tabelle 6).

In Tabelle 7 und Abbildung 9 wird das Auftreten eines zweiten Wurzelkanals bei den zentralen und lateralen Inzisivi gegenübergestellt. In dieser Studie lag in 24,34% ein zweiter Wurzelkanal bei den *lateralen* Schneidezähnen vor. Das Vorkommen eines zweiten Kanals bei den *zentralen* Inzisivi lag mit 22,85% nur unwesentlich niedriger.

Abbildung 9 zeigt die Verteilung der Wurzelkanäle

	zentrale Inzisivi	laterale Inzisivi	Summe
zwei Kanäle	138 (22,85%)	147 (24,34%)	285 (23,59%)
ein Kanal	466 (77,15%)	457 (75,66%)	923 (76,41%)

Tabelle 7: Übersicht der Unterkieferfrontzähne mit einem oder zwei Kanälen ohne Kategorisierung der Kanalmorphologie und geschlechter- bzw. altersunabhängig

4.5 Morphologie

Von den 1208 ausgewerteten Unterkieferfrontzähnen zeigten 923 (76,41%) einen Wurzelkanal von der Pulpa bis zum Apex (1-1). 262 Zähne (21,69%) verfügten über zwei getrennte Wurzelkanäle, die sich vor dem Austritt aus der Wurzelspitze bzw. auf Höhe von 2 mm vor dem röntgenologischen Apex vereinten (2-1). Bei 13 Zähnen (1,08%) trennte sich ein Hauptkanal vor dem Austritt aus der Wurzelspitze in zwei Wurzelkanäle (1-2). Zwei getrennte Kanäle von der Wurzelspitze bis zum röntgenologischen Apex konnten bei 10 Zähnen (0,82%) beobachtet werden (2-2) (Tabelle 8).

4.5.1 Verteilung der Wurzelkanalmorphologien innerhalb der Zahngruppen

Eine Einteilung der untersuchten Zähne erfolgte in die Zahngruppen 31, 32, 41 und 42. Die nachfolgende Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Verteilung der Wurzelkanalmorphologien 1-1, 1-2, 2-1 und 2-2 innerhalb der Zahngruppen.

Zahngruppen	n=	Typ 1-1	Typ 1-2	Typ 2-1	Typ 2-2
31	302	234 (77,5%)	2 (0,7%)	64 (21,2%)	2 (0,7%)
32	302	228 (75,5%)	3 (1,0%)	68 (22,5%)	3 (1,0%)
41	302	232 (76,8%)	4 (1,3%)	65 (21,5%)	1 (0,3%)
42	302	229 (75,8%)	4 (1,3%)	65 (21,5%)	4 (1,3%)
Summe (n)	1208	923	13	262	10
Prozent	100,00%	76,41%	1,08%	21,69%	0,82%

Tabelle 8: Die Zähne mit zwei Kanälen wurden entsprechend der Kanalmorphologie eingeteilt

Die folgenden Abbildungen 10-13 zeigen die Häufigkeiten der Kanalmorphologien innerhalb der Zahngruppen (je Zahngruppe n= 302). Sie verdeutlichen den vergleichbar hohen prozentualen Anteil (75-77%) der Kanalvariante 1-1 bei allen Frontzahngruppen. Die Kanalvariante 2-1 zeigt mit 21-23% einen deutlich geringeren Anteil im Vergleich zu der Morphologie 1-1, innerhalb der Zahngruppen 31/41 und 32/42 zeigt diese Variante dennoch einen ähnlich hohen Anteil. Die Kanalvariationen 1-2 und 2-2 kommen bei allen Zahngruppen mit 0,3-1,3% nur selten vor.

Abb. 10: Morphologieverteilung Zahn 31

Abb. 11: Morphologieverteilung Zahn 41

Werden die zentralen und lateralen Zahngruppen 31/41 sowie 32/42 gegenübergestellt, wird deutlich, dass sich innerhalb der Zahngruppen die Kanaltypen in ihrer Anzahl nur gering voneinander unterscheiden. Bei allen vier Zahngruppen ist die Verteilung der Kanaltypen nahezu identisch (Abbildungen 10-13).

Abb. 12: Morphologieverteilung Zahn 32

Abb. 13: Morphologieverteilung beim Zahn 42

Für die männlichen und weiblichen Gruppierungen wurden 4x4-Kreuztabellen zur statistischen Auswertung erstellt. Die folgenden Tabellen (Tab. 9-10) geben die Morphologieverteilungen für die Frauen innerhalb der ersten Altersgruppe wieder. Die farblich markierten Felder geben die patientenbezogenen Symmetrieanzahlen wieder. Für die zentralen und lateralen Inzisivi wurden jeweils getrennte Kreuztabellen erstellt.

	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	39	0	2	0	41 (76%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	4	1	8	0	13 (24,1%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	43 (79,6%)	1 (1,9%)	10 (18,5%)	0 (0%)	Gesamt = 54

Tabelle 9: 4x4-Kreuztabelle für die zentralen Inzisivi 31 und 41 für die Frauen in der Altersgruppe 1, patientenbezogen

Insgesamt befinden sich 54 Frauen (29% von n=186) in Gruppe 1. Von diesen 54 Teilnehmerinnen verfügten 39 (72%) bei den zentralen Inzisivi symmetrisch (d.h. Zahn 31 und 41) über eine 1-1 Konfiguration. Acht Frauen (15%) der Gruppe 1 hatten symmetrisch beim 31 und 41 eine 2-1 Morphologie. Die Kanalmorphologie 2-2 konnte in der weiblichen Altersgruppe 1 bei keinem (0%) der beiden zentralen Inzisivi erkannt werden.

	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	34	0	1	2	37 (68,5%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	2	0	14	0	16 (30%)
32 2-2	1	0	0	0	1 (1,9%)
Spaltensumme	37 (68,5%)	0 (0%)	15 (27,8%)	2 (3,7%)	Gesamt = 54

Tabelle 10: 4x4-Kreuztabelle für die lateralen Inzisivi 32 und 42 in der Gruppe der Frauen in der Altersgruppe 1, patientenbezogen

Für die lateralen Schneidezähne gilt das selbe Auswertungsverfahren, wie bereits oben für die zentralen Schneidezähne verwendet. Die farblich markierten Bereiche geben die bilaterale Symmetrie wieder. 34 Patientinnen (63%) der 54 Teilnehmerinnen hatten bilateral eine 1-1 Morphologie und 14 Frauen (26%) dieser Gruppe wiesen symmetrisch eine 2-1 Morphologie innerhalb der seitlichen Schneidezähnen auf.

Aufgrund des immer gleichen Vorgehens bei der Tabellenauswertung wird auf eine weitere Beschreibung der Tabellen für die Altersgruppen 2-4 der Frauen und der männlichen Altersgruppen verzichtet. Das oben beschriebene Verfahren ist auf die im Anhang aufgeführten 4x4-Kreuztabellen (20-43) zu übertragen.

4.6 Symmetrie

4.6.1 Bilaterales Vorkommen des zweiten Wurzelkanals

Tabelle 11 zeigt das bilaterale Vorkommen zweier Wurzelkanäle ohne Betrachtung der Kanalmorphologie. Von 302 Patienten ist bei 53 Patienten (17,2%) ein bilaterales Vorkommen zweikanaliger *zentraler* Unterkieferinzisivi und bei 62 Patienten (20,5%) zweikanaliger *lateralen* Unterkieferinzisivi zu verzeichnen. Es konnte bei 37 Patienten (12,3%) in allen Unterkieferinzisivi ein zweiter Wurzelkanal erkannt werden. Es wird deutlich, dass die lateralen Inzisivi häufiger bilateral über einen zweiten Kanal verfügen.

Zähne	<i>Bilaterales Vorkommen/ Patienten</i>	% der Patienten
Zentrale Inzisivi	53	17,5%
Laterale Inzisivi	62	20,5%
Zentrale und laterale Inzisivi	37	12,29%

Tabelle 11: Übersicht des bilateralen Vorkommens zweier Wurzelkanäle bei Unterkieferfrontzähnen ohne Kategorisierung der Kanalmorphologie

4.6.2 Bilaterales Vorkommen der unterschiedlichen Wurzelkanalmorphologien

Für die statistische Auswertung der Symmetriehäufigkeit der unterschiedlichen Kanalmorphologien wurden ebenfalls 4x4-Kreuztabellen verwendet, um zudem die Auszählung und Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten der Kanalkonfigurationen durchzuführen. Hierfür wurden nicht nur die Tabellen für die zentralen und lateralen Inzisivi getrennt erstellt, sondern zum einen Bezug auf die Patientenzahl (n=302) und zum anderen auf die Zahnanzahlen pro Zahngruppe (n=604) in getrennten Tabellen genommen.

Zentrale Inzisivi (Patientenanzahl)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	217	2	15	0	234 (77%)
31 1-2	1	1	0	0	2 (1%)
31 2-1	12	1	50	1	64 (21%)
31 2-2	2	0	0	0	2 (1%)
Spaltensumme	232 (76,8%)	4 (1,3%)	65 (22%)	1 (0,3%)	Gesamt = 302

Tabelle 12: 4x4-Kreuztabelle für die zentralen Inzisivi 31 und 41, bezogen auf die Patientenanzahl

Tabelle 12 zeigt die Symmetriehäufigkeit in Bezug auf die Patientenanzahl. Die farblich markierten Bereiche machen die Symmetriehäufigkeit deutlich. Von 302 Patienten liegt die Kanalmorphologie 1-1 bei 217 Patienten (71,9%) symmetrisch vor, gefolgt von der Kanalmorphologie 2-1, die bei 50 Patienten (16,6%) bilateral vorkommt. Bei einem Patienten (0,3%) liegt eine Symmetrie der Kanalkonfiguration 1-2 vor. Bei keinem Patienten konnte sowohl bei 31 als auch bei 41 eine Symmetrie der Kanalmorphologie Typ 2-2 erkannt werden (Tabelle 12).

Laterale Inzisivi (Patientenanzahl)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	217	2	6	3	228 (77%)
32 1-2	1	2	0	0	3 (1%)
32 2-1	9	0	58	1	68 (21%)
32 2-2	2	0	1	0	3 (1%)
Spaltensumme	229 (75,8%)	4 (1,3%)	65 (22%)	4 (1,3%)	Gesamt = 302

Tabelle 13: 4x4-Kreuztabelle für die lateralen Inzisivi 32 und 42 des Gesamtkollektivs, bezogen auf die Patientenanzahl

Die Kanalmorphologie 1-1 stellt sich bei den lateralen Inzisivi ebenso dar wie bei den zentralen Inzisivi (71,9%). Die Kanalmorphologie 2-1 kommt bei 58 Patienten (19,2%) bilateral vor. Bei zwei Patienten (0,7%) liegt eine Symmetrie der Kanalkonfiguration 1-2 in beiden lateralen Inzisivi vor. Bei keinem Patienten konnte eine Symmetrie der Kanalmorphologie Typ 2-2 erkannt werden (Tabelle 13).

Zentrale Inzisivi (Zahnanzahl pro Zahngruppe)

Die Tabellen 14-15 geben eine Übersicht über das Symmetrieverhalten der Kanalmorphologien in Bezug auf die Zahnanzahlen pro Zahngruppe.

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	434	4	30	0	468 (77%)
31 1-2	2	2	0	0	4 (1%)
31 2-1	24	2	100	2	128 (21%)
31 2-2	4	0	0	0	4 (1%)
Spaltensumme	464 (76,8%)	8 (1,3%)	130 (22%)	2 (0,3%)	Gesamt = 604

Tabelle 14: 4x4-Kreuztabelle für die zentralen Inzisivi 31 und 41, bezogen auf die Zahnanzahl

Laterale Inzisivi (Zahnanzahl pro Zahngruppe)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	434	4	12	6	456 (77%)
32 1-2	2	4	0	0	6 (1%)
32 2-1	18	0	116	2	136 (21%)
32 2-2	4	0	2	0	6 (1%)
Spaltensumme	458 (75,8%)	8 (1,3%)	130 (22%)	8 (1,3%)	Gesamt = 604

Tabelle 15: 4x4-Kreuztabelle für die lateralen Inzisivi 32 und 42, bezogen auf die Zahnanzahl

Tabelle 15 zeigt, dass die lateralen Inzisivi keine deutlich höhere Symmetriehäufigkeit bei den Konfigurationen 1-2 und 2-1 aufweisen als die zentralen Inzisivi.

Zusammenfassung der Symmetrie innerhalb der Altersgruppen (Tabellen 3-6)

Altersgruppe	Symmetrie in Prozent %	
	Zentrale Inzisivi	Laterale Inzisivi
Altersgruppe 1	60,9%	75,0%
Altersgruppe 2	89,5%	82,0%
Altersgruppe 3	76,5%	72,0%
Altersgruppe 4	61,1%	62,5%

Tabelle 16: Darstellung der Symmetriehäufigkeit der zentralen und lateralen Inzisivi innerhalb der vier Altersgruppen, geschlechterunabhängig.

Tabelle 16 fasst die Häufigkeit symmetrischen Auftretens zweikanaliger zentraler und lateraler Inzisivi zusammen. Sie verdeutlicht, dass das bilaterale Vorkommen des zweiten Wurzelkanals in der Altersgruppe der 36-45jährigen mit 89,5% für die zentralen bzw. 82% für die lateralen Frontzähne am häufigsten zu finden ist.

4.7 Zusammenfassung

Tabelle 17 und 18 geben einen Überblick über die Häufigkeit symmetrischen Auftretens zweikanaliger zentraler und lateraler Unterkieferfrontzähne in Bezug auf die Patientenanzahl und unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

Frauen		Zentrale Inzisivi		Laterale Inzisivi	
n= 186	Patientenanzahl innerhalb der Altersgruppe	Pat. mit mind. einem 2. Wurzelkanal	Symmetrie (Patienten/%)	Pat. mit mind. einem 2. Wurzelkanal	Symmetrie (Patienten/%)
Altersgruppe 1	54	15	9 (60,0%)	20	14 (70,0%)
Altersgruppe 2	46	15	8 (53,3%)	16	14 (87,5%)
Altersgruppe 3	43	11	9 (81,8%)	11	9 (81,8%)
Altersgruppe 4	42	12	6 (50,0%)	10	5 (50,0%)

Tabelle 17: Häufigkeit des symmetrischen Auftretens zweikanaliger Unterkieferfrontzähne nach Geschlecht und Altersgruppen.

Ein Vergleich der *zentralen* Inzisivi innerhalb der vier Altersgruppen der Frauen ergab, dass nach dem Exakten Fisher Test ($p=0,41$) der Anteil an bilateraler Symmetrie nicht signifikant verschieden ist. Von 54 Frauen der Altersgruppe 1 (29% von $n=186$) lagen bei

15 Frauen (27,8%) in mindestens einem der zentralen Inzisivi zwei Kanäle vor. 9 (60%) von diesen 15 Patientinnen hatten bilateral zwei Wurzelkanäle.

Auch im Hinblick auf die *lateralen* Inzisivi ist der Unterschied zwischen den Altersgruppen in der Häufigkeit symmetrischer Kanalkonfigurationen nicht signifikant ($p=0,21$).

Von 54 Frauen der Altersgruppe 1 (29% von $n=186$) konnte bei 20 Frauen (37%) in mindestens einem der seitlichen Schneidezähne ein zweiter Kanal detektiert werden. 14 (70%) dieser 20 Frauen hatten jeweils in dem gegenüberliegenden seitlichen Zahn einen zweiten Wurzelkanal.

In der Altersgruppe 2 der weiblichen Personen konnten von 46 (24,7% von $n=186$) Teilnehmerinnen 15 (32,6%) erkannt werden, bei denen bei mindestens einem der zentralen Zähne ein zweiter Kanal vorlag. 8 der 15 Frauen (53,3%) wiesen eine bilaterale Symmetrie auf.

Untersucht man die seitlichen Schneidezähne der Altersgruppe 2 (Patientenanzahl $n=46$) wiesen von 16 (34,8%) Teilnehmerinnen mit mindestens einem zusätzlichen Wurzelkanal 14 (87,5%) eine Symmetrie auf. In der Gruppe der 46-55jährigen Frauen ($n=43$) hatten sowohl bei den zentralen als auch bei den lateralen Zähnen neun von elf Patientinnen bilateral einen zweiten Wurzelkanal (81,8%). In der vierten Gruppe ($n=42$) lag die Symmetriehäufigkeit eines zweiten Wurzelkanals für beide Zahntypen bei 50%.

Bezogen auf die Gesamtanzahl der Frauen ($n=186$) lag bei 53 Patientinnen (28,5%) ein zweikanaliger Frontzahn vor. Die Symmetrieanzahl der *zentralen* Schneidezähne bezogen auf die Gesamtanzahl der Frauen beträgt 17,2%. Von den 186 Frauen hatten 57 (30,6%) mindestens in einem der *lateralen* Inzisivi einen zweiten Kanal. Die Symmetriehäufigkeit der seitlichen Schneidezähne bezogen auf die Gesamtanzahl der Frauen beträgt 22,6%.

Männer		Zentrale Inzisivi		Laterale Inzisivi	
	Patientenanzahl innerhalb der Altersgruppe	Pat. mit mind. einem 2. Wurzelkanal	Symmetrie (Patienten/%)	Pat. mit mind. einem 2. Wurzelkanal	Symmetrie (Patienten/%)
n= 116					
Altersgruppe 1	21	8	5 (62,5%)	8	7 (87,5%)
Altersgruppe 2	38	12	7 (58,3%)	7	4 (57,1%)
Altersgruppe 3	32	6	4 (66,7%)	7	4 (57,1%)
Altersgruppe 4	25	6	5 (83,3%)	6	5 (83,3%)

Tabelle 18: Häufigkeit des symmetrischen Auftretens zweikanaliger Unterkieferfrontzähne nach Geschlecht und Altersgruppen.

Bei 8 (38,1%) männlichen Personen der Altersgruppe 1 (n=21) wies mindestens einer der *zentralen* Inzisivi zwei Kanäle auf. 5 (62,5%) dieser 8 Patienten hatten auch im gegenüberliegenden zentralen Zahn einen zweiten Wurzelkanal. Bei den *lateralen* Inzisivi wiesen ebenfalls 8 Männer (38,1%) der Altersgruppe 1 bei mindestens einem Zahn einen zweiten Wurzelkanal auf. 7 (87,5%) der 8 Männer konnten auch auf der kontralateralen Seite einen zweiten Kanal vorweisen. Es wurde bei 12 (31,6%) Männern in der Altersgruppe 2 (n=38) mindestens in einem *zentralen* Inzisivus ein zweiter Kanal erkannt, in 7 der 12 Fälle (58,3%) lag bilateral ein zweiter Kanal vor. In den *seitlichen* Schneidezähnen konnten bei 4 (57,1%) von 7 (18,4%) Männern auch im gegenüberliegenden Zahn ein zweiter Wurzelkanal gefunden werden. In der dritten Gruppe der männlichen Probanden (n=32) lag die Symmetrie der *zentralen* Unterkieferfrontzähne mit einem zweiten Wurzelkanal bei 66,7% und bei den *seitlichen* Frontzähnen bei 57,1%.

Die Gruppe der über 56jährigen Männer (n=25) hatte sowohl bei den *zentralen* als auch bei den *lateralen* Inzisivi bei fünf von sechs (24%) zweikanaligen Zähnen bilateral einen zweiten Wurzelkanal. Das bedeutet, dass sowohl bei den mittleren als auch bei den seitlichen Unterkieferfrontzähnen in 83,3% jeweils der kontralaterale Zahn des gegenüberliegenden Quadranten einen zweiten Kanal aufwies (Tabelle 18).

Bei den männlichen Probanden befindet sich das häufigste bilaterale Vorkommen der *mittleren* Schneidezähne mit 83,3% in der Gruppe 4, die *seitlichen* Schneidezähne weisen die höchste Symmetrierate mit 87,5% innerhalb der ersten Gruppe auf, gefolgt von 83,3% der Gruppe 4. Das geringste bilaterale Vorkommen liegt bei den *zentralen* Inzisivi mit 58,3% und bei den *lateralen* Inzisivi mit 57,1% in der zweiten Gruppe (Tabelle 18).

Auch bei den Männern stellt sich im Vergleich der verschiedenen Altersgruppen kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit eines zweiten Kanals und dessen Symmetriewahrscheinlichkeit heraus. Bei den *zentralen* Inzisivi ergab sich ein p-Wert von $p=0,85$ und bei den *seitlichen* Schneidezähnen ein p-Wert von $p=0,44$. Die Variablen Geschlecht und Alter lagen über der vorher festgelegten Signifikanzgrenze von $\alpha = 0,05$.

Von 116 Männern lag ein zusätzlicher Wurzelkanal in den mittleren Schneidezähnen bei 32 Patienten vor (27,6%). Die Symmetriehäufigkeit zentraler zweikanaliger Schneidezähne beträgt demnach 18,1% der untersuchten Männer. 28 der 116 Teilnehmer (24,1%) wiesen mindestens in einem der *lateralen* Inzisivi einen zweiten Kanal auf. Die

Symmetriehäufigkeit bei den seitlichen Schneidezähnen bezogen auf die Gesamtanzahl der Männer beträgt 17,24%.

Der direkte Vergleich der *zentralen* Inzisivi bei Frauen und Männern im Hinblick auf das Alter ergab keinen signifikanten Einfluss auf die bilaterale Prävalenz des zweiten Wurzelkanals ($p=0,65$). Auch der direkte Vergleich der *lateralen* Inzisivi der Frauen und Männer im Bezug auf das Alter ergab keine Signifikanz ($p=1.00$). Die Variablen Geschlecht und Alter lagen über der vorher festgelegten Signifikanzgrenze von $\alpha=0,05$.

5. Diskussion

Trotz der Tatsache, dass Wurzelkanäle dem Wurzelverlauf des Zahnes folgen, gibt es Abweichungen der Kanalanzahlen und Unterschiede in deren Verlauf (Radlanski 2011). Diesbezüglich befassten sich diverse Studien mit der Fragestellung nach der Wurzelkanalanatomie zentraler und lateraler Unterkieferinzisivi. Diese zeigen eine hohe Variationsbreite bezüglich deren Anzahl und deren Morphologie. Für den zentralen Inzisivus werden Häufigkeiten eines zweiten Wurzelkanals zwischen 11,3% (Madeira und Hetem 1973) und 68% angegeben (Sert et al. 2004), während für die Prävalenz eines zweiten Wurzelkanals beim lateralen Unterkieferfrontzahn Werte zwischen 11,9% (Madeira und Hetem 1973) und 65% publiziert sind (Karagöz-Kücükay 1994).

Die Prävalenzen eines zweiten Wurzelkanals in der vorliegenden Studie betragen 22,9 % bei dem zentralen und 24,3% bei dem lateralen Inzisivus und entsprechen anderen Untersuchungen (Miyoshi et al. 1977, Vertucci 1984, Walker 1988).

Die hohe Variabilität in der Prävalenz der Wurzelkanalanzahlen bei Unterkieferfrontzähnen kann durch mehrere Faktoren erklärt werden:

- Es werden unterschiedliche diagnostische Kriterien verwendet. So wird in einigen Studien bereits eine Dentinbrücke im Kanalverlauf als Kennzeichen für einen zweiten Wurzelkanal gedeutet (Green 1956, Madeira und Hetem 1973, Bellizzi und Hartwell 1983, Nattress und Martin 1991, Uma et al. 2004, de Oliveira et al. 2009), während in anderen Untersuchungen mindestens zwei klar sichtbar getrennte, bzw. sondierbare Kanalabschnitte entlang des Hauptkanals vorliegen müssen (Klein et al. 1997).
- Eine unterschiedliche Zusammensetzung des Patientenkollektivs. So existieren Werte aus Studien mit unterschiedlichem Durchschnittsalter bzw. Altersverteilungen (Peiris et al. 2008, Someda et al. 2009, Du et al. 2011), verschiedenen Populationen (Walker 1988, Sert et al. 2004, Ezzodini et al. 2006, Al-Qudah und Awawdeh 2006, Peiris et al. 2008), als auch Studien, in denen das Alter und die Geschlechterverteilung (Someda et al. 2009) einbezogen wurden. Ein fortgeschrittenes Patientenalter führt zu einer Dentinneubildung und demnach zu einer komplexeren Variabilität im Kanalverlauf (Du et al. 2011). Wie das Geschlecht sich auf die Ausbildung eines zweiten Wurzelkanals und dessen Symmetrie auswirkt, ist bislang noch nicht bekannt.
- Der Studientyp ist ein weiterer essentieller Faktor für die Aussagekraft der

publizierten Werte. Es wurden röntgenologische In-vivo-Studien (Rankine-Wilson und Henry 1965, Bellizzi und Hartwell 1983, de Oliveira et al. 2009), röntgenologische In-vitro-Untersuchungen (Benjamin et al. 1974, Hession 1977, Walker 1988, Nattress und Martin 1991, Klein et al. 1997, Uma et al. 2004) und reine In-vitro-Studien (Green 1956 und 1973, Vertucci 1984, Kartal und Yanikoglu 1992, Miyashita et al. 1997, Mauger et al. 1998, Uma et al. 2004, Ezzodini et al. 2006, Al-Qudah und Awawdeh 2006, Peiris et al. 2008) vorgestellt.

5.1 Diskussion der Methodik

5.1.1 Bewertung des Studiendesigns

Trotz vorheriger Kalibrierung der Untersucherin (MB) ist aufgrund der rein röntgenologischen Auswertung eine Fehlerquote nicht auszuschließen. Es können Fehler bei der Festlegung der Messlinien, der optimalen Zahndarstellung oder Fehlmessungen aufgrund vorhandener Artefakte entstehen. Darüber hinaus können Ermüdungserscheinungen bei der Auswertung der Daten am Betrachtungsmonitor zu Fehleinschätzungen führen. Die Analysen wurden ohne optische Hilfen vorgenommen, was die Ergebnisse falsch negativ beeinflussen kann.

5.1.2 Bewertung der Einschluss- und Ausschlusskriterien

Die Auswahl der Ein- und Ausschlusskriterien erscheint auch retrospektiv betrachtet, zufriedenstellend gewählt. Je strenger die vorher festgelegten Kriterien ausfallen, desto genauer sind die Ergebnisse. Die festgelegten Definitionen könnten für Publikationen mit ähnlichen Fragestellungen gleichermaßen verwendet werden.

5.1.3 Anzahl der untersuchten Zähne

Die Anzahl der untersuchten Frontzähne ist für die Beantwortung der Fragestellung ausreichend. Sie lag bei 1208 (jeweils 604 laterale und zentrale Inzisivi) und liegt demnach über der vieler anderer zitierter Studien (Green 1956, 1973, Benjamin et al. 1974, Kaffe et al. 1985, Walker 1988, Mauger et al. 1998, de Oliveira et al. 2009, Jaju et al. 2013). Die Anzahl untersuchter Zähne ist vergleichbar mit der von Madeira und Hetem (1973) mit

insgesamt 1333 Inzisivi (davon 683 zentrale und 650 laterale) und Miyoshi et al. (1977), welche insgesamt 1141 Frontzähne (davon 616 zentrale und 526 laterale) untersuchten. Sie liegt aber unter der Anzahl von de Oliveira et al. (1999) mit insgesamt 2115 Frontzähnen und der von Sert et al. (2004) mit 1400 Zähnen.

5.1.4 Bewertung der Messmethode

Die angewandte Methodik zur Darstellung des Kanalverlaufes in den verschiedenen Ebenen ist partiell gut reproduzierbar und einfach durchzuführen. Trotz allem kann es durch Fehlfestlegungen der 2- und 7 mm-Markierungspunkte bereits zu Beginn zu immer wiederkehrenden Folgefehlern während des Auswertungsvorganges kommen. Die Messmethodik liefert zwar eine ausreichende Beantwortung der hier gestellten Frage nach den Wurzelkanalmorphologien der Unterkieferfrontzähne im Bereich von 2 und 7 Millimetern koronal der Wurzelspitze, sie gibt aber keine Informationen über die höher gelegenen Pulpaabschnitte. Das kann zur Folge haben, dass der tatsächliche Pulpaverlauf von koronal nach apikal nicht korrekt erfasst wird. Diese Tatsache führt unweigerlich zu einer Herabsetzung der Prävalenzraten bei der Auswertung der Unterkieferfrontzähne. Wertet man die DVT-Daten mit der Fragestellung nach einem oder zwei Wurzelkanälen aus, ohne die Wurzelkanalmorphologien auf Höhen der beiden Messstellen auszuwerten, wären vermutlich die Prävalenzraten deutlich höher.

5.1.4.1 Bewertung des 2-Millimetermesspunktes

Die Festlegung des Messpunktes wurde in Anlehnung an die Sektionstechniken nach Mauger et al. (1998) und Uma et al. (2004) gewählt. Die Autoren begutachteten Schnittpräparate extrahierter Zähne, welche jeweils 1-3 mm koronal des Apex entnommen wurden. Die Messung 2 mm koronal der Wurzelspitze ist in der DVT-Aufnahme angesichts der filigranen Kanalbeschaffenheit im unteren Wurzeldrittel nur bedingt möglich. Durch die fehlende optische Hilfe und die begrenzte Auflösung der dreidimensionalen Voreinstellung des DVT-Gerätes ist die Auswertung des apikalen Bereiches erschwert. Nachfolgende Studien sollten auf einen analogen 2-Millimetermesspunkt bei identischen Voreinstellungen des DVT-Apparates verzichten. Es ist zu diskutieren, ob der 2mm-Abstand überhaupt korrekt ausgewählt wurde. Betrachtet man die Ergebnisse von Mauger et al. (1998), wird deutlich, dass bei keinem der Schnittpräparate im Abstand von 2 mm ein

zweiter Wurzelkanal identifiziert werden konnte. In dreißig Prozent der 2mm-Präparate wurde lediglich ein Kanalisthmus erkannt, wohingegen die 1mm- und 3mm-Schnittpräparate in 2% und 1% zwei getrennte Wurzelkanäle zeigten.

5.1.4.2 Bewertung des 7-Millimetermesspunktes

Die Festlegung des 7-Millimetermesspunktes erfolgte nach schematischer Einteilung des Schneidezahnes. Geht man von einer durchschnittlichen Zahnlänge des unteren Schneidezahnes von 21,5- 23,5 mm aus (Lehmann und Hellwig 2002), liegt der 7 mm-Messpunkt zwischen dem mittleren und apikalen Zahndrittel im Bereich der Wurzelmitte. Mit dieser Messung wurden im Vergleich zum 2mm-Messpunkt deutlicher die ein- von zwei-kanaligen Zähnen unterschieden. Bei einer Messlinie von 7 mm sind bei zwei vorhandenen Wurzelkanälen beide gut diagnostizierbar. Die Wurzelkanalanatomie 7 mm koronal der Wurzelspitze lässt sich mit dieser Messmethode hinreichend auswerten. Für folgende Studien mit ähnlicher Fragestellung ließe sich die Messeinstellung ohne weiteres übernehmen.

5.1.5 Bewertung der Röntgenmethodik

Für die Auswertung der Symmetriewerte an Unterkieferfrontzähnen stellt die reine DVT-Untersuchung eine gute Variante dar, da sie die Möglichkeit einer kompletten Betrachtung der Frontzähne auch in axialer Ansicht bietet. Die Inzisivi können direkt im Quadrantenvergleich gegenübergestellt und miteinander verglichen werden. Eine Ex-vivo-Studie zur Ermittlung der Symmetrieprävalenzen mit aussagekräftigen Zahnanzahlen ist schwer umzusetzen, da es eine Schwierigkeit darstellt, ausreichend Patienten zu generieren, bei denen alle Unterkieferfrontzähne zum gleichen Zeitpunkt entfernt werden müssen.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 116 (38,4%) männlichen und 186 (61,6%) weiblichen Probanden zusammen. Die aktuelle Studie beinhaltet mehr weibliche als männliche Probanden, ähnlich wie bei Tu et al. (2009) mit 47,96% männlichen und 52,03% weiblichen Teilnehmern. Das Patientenkollektiv unterscheidet sich aber von der Verteilung von Zheng et al. (2010) mit 52,56% männlichen und 47,43% weiblichen Probanden, Wang et al. (2010) mit 46,05% weiblichen und 53,95% männlichen Teilnehmern und Jaju et al. (2013) mit 53,1% männlichen und 46,9% weiblichen Personen.

Damit entspricht die Verteilung der Geschlechter in dieser Studie weniger der vieler zitierter Studien, sondern ähnelt lediglich der Geschlechterverteilung von Tu et al. (2009) und Sert et al. (2009).

5.2.2 Alter der Studienteilnehmer

Hinsichtlich der überwiegenden Zahl der In-vitro-Studien, in denen von den Autoren weder Geschlecht noch Alter berücksichtigt wurden, ist ein Vergleich des Durchschnittsalters schwierig. Das Durchschnittsalter der Patienten in der aktuellen Studie lag bei 44,7 (+/- 12,9) Jahren und demnach über dem von Zheng et al. (2010) mit 30,2 Jahren. Häufig wurden die Patienten in verschiedene Altersgruppen eingeteilt, wie bei Someda et al. (2009),

Kaya et al. (2011) und Peiris et al. (2008). Peiris et al. (2008) belegten, dass in der Altersgruppe der 30-40-Jährigen und die der über 40-Jährigen im Vergleich zu jüngeren Altersgruppen eine deutlichere Kanalabgrenzung zu erkennen war.

5.2.3 Prävalenz des zweiten Wurzelkanals

Die Ergebnisse früherer Studien unterscheiden sich von den Ergebnissen dieser Arbeit im Hinblick auf die Prävalenz eines zweiten Wurzelkanals und das bilaterale Vorkommen dieses Kanals. Angesichts der unterschiedlich großen Untersuchungsgruppen (untersuchte Zähne bzw. DVT-Aufnahmen) und Vorgehensweisen bei den

Auswertungsmethoden bzw. beim gewählten Studiendesign ist es ratsam, die aktuellen Ergebnisse entsprechend ihrer Einflussfaktoren auf die Prävalenzraten bevorzugt mit Ergebnissen aus Studien mit vergleichbarem Design zu diskutieren. In Anbetracht dessen sollten die aktuellen Ergebnisse dieser Studie den bereits veröffentlichten Ergebnissen rein röntgenologischer In-vivo-Publikationen als Vergleichswerte gegenübergestellt werden.

Aus der unten aufgeführten Tabelle 19 können demnach die Ergebnisse von vier Studien in den direkten Vergleich eingehen [Bellizzi und Hartwell (1983), Neo und Chee (1990), de Oliveira et al. (2009), Jaju et al. (2013)]. Innerhalb dieser In-vivo-Studien wurde das Auftreten eines zweiten Wurzelkanals in 1,3-46,55% festgestellt. Demzufolge liegen die Daten der aktuellen Studie über denen der direkten Vergleichsstudien Bellizzi und Hartwell (1983), Neo und Chee (1990), de Oliveira et al. (2009). Das kann daraus resultieren, dass keine dieser Vergleichsstudien eine dreidimensionale Röntgendarstellung zur Verfügung hatte, sondern nur zweidimensionale apikale Röntgenaufnahmen, welche die tatsächliche Zahn- und Wurzelform nicht in allen Ebenen wiedergeben. Somit würde ein vorliegender zweiter, lingual gelegener Kanal nicht zur Darstellung kommen. Der direkte Vergleich zwischen der Studie von Jaju et al. (2013) und der aktuellen Studie zeigt, dass die Ergebnisse von Jaju et al. (2013) eine deutlich höhere Prävalenzrate mit 46,55% publiziert als die aktuelle Studie mit 23,6%. Das kann an den unterschiedlichen Einstellungen der verwendeten DVT-Geräte liegen. Jaju et al. (2013) verwendeten ein kleineres FOV (5x5cm) bei einer Voxel-Größe von 0,125mm. Die Autoren verwendeten demnach eine limitierte und keine faziale DVT-Einstellung, was wie bereits oben erläutert, zu einer verbesserten Bildauflösung und aufgrund dessen zu einer deutlicheren Darstellbarkeit der auszuwertenden Region führt.

Walker (1988) lieferte Informationen zur Prävalenz eines zweiten Wurzelkanals in einer südchinesischen Bevölkerungsgruppe und stellte diesbezüglich röntgenologische Studienergebnisse und In-vitro-Ergebnisse gegenüber. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Prävalenzraten abhängig vom Studiendesign sind. Es fällt auf, dass bei Verwendung einer röntgenologischen In-vivo-Auswertungsform die Prävalenzraten niedriger ausfallen als in röntgenologischen In-vitro-Studien.

Übersicht über In-vivo- und In-vitro-Röntgenstudien zur Darstellung der Prävalenzraten des zweiten Wurzelkanals in Unterkieferfrontzähnen

Untersuchungen	Studiendesign	Anzahl der Zähne (n)	Prävalenz des 2. WK
Rankine-Wilson und Henry (1965)	Röntgen <i>in vitro</i>	111	40,5%
Benjamin und Dowson (1974)	Röntgen <i>in vitro</i>	364	41,4%
Hession (1977)	Röntgen <i>in vitro</i>	13	61,5%
Miyoshi et al. (1977)	Röntgen <i>in vitro</i>	1141	18,7%
Bellizzi und Hartwell (1983)	Röntgen <i>in vivo</i>	417	18,6%
Walker (1988)	Röntgen <i>in vitro</i>	200	27%
Neo und Chee (1990)	Röntgen <i>in vivo</i>	154	1,3%
Natress und Martin (1991)	Röntgen <i>in vitro</i>	455	13%
Uma et al. 2004	Röntgen <i>in vitro</i>	50	56%
de Oliveira et al. (2009)	Röntgen <i>in vivo</i> und <i>in vitro</i>	600	17,5% <i>in vivo</i> , 15% BL*, 20% MD* <i>in vitro</i>
Jaju et al. (2013)	Röntgen <i>in vivo</i>	520	46,55%
Aktuelle Studie	Röntgen <i>in vivo</i>	1208	23,6%

Tabelle 19: Übersicht über die Ergebnisse zur Prävalenz zweikanaliger Unterkieferfrontzähne (BL*-bukkolingual, MD* -mesiodistal bezogen auf die Röntgeneinstellung)

Die Literatur berichtet über eine Variationsbreite der Prävalenz zweiter Wurzelkanäle in Unterkieferfrontzähnen von 1,3% bei Neo und Chee (1990) bis zu 61,5% bei Hession (1977). Berechnet man den Mittelwert verschiedener Röntgen-Studien von Rankine-Wilson und Henry (1965), Benjamin und Dowson (1974), Hession (1977), Miyoshi et al. (1977), Bellizzi und Hartwell (1983), Walker (1988) Neo und Chee (1990), Natress und Martin (1991), Uma et al. (2004) und de Oliveira et al. (1999), erhält man einen prozentualen Durchschnittswert von 28,2%, was mit dem Ergebnis dieser Studie vergleichbar ist.

5.2.4 Kanalklassifikationen

Um die Wurzelkanalmorphologie der Unterkieferfrontzähne so detailliert wie möglich zu beschreiben, wurde, ähnlich wie von anderen Autoren (Benjamin und Dowson 1974, Vertucci et al. 1984, Kartal und Yanikoglu 1992, Weine et al. 1999) beschrieben, die Kanalanatomie auch in dieser Studie in unterschiedliche Gruppen/Typen eingeteilt.

Die zitierte Klassifikation von Vertucci (1984) wurde die für diese Studie ausgewählt, um einen direkten Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer Studien zu ermöglichen.

5.2.4.1 Kanalmorphologie Typ 1-1

Typ 1-1 der aktuellen Studie entspricht der Klassifikation anderer publizierter Studien. (Pineda und Kuttler 1972, Benjamin et al. 1974, Vertucci 1984, Walker 1987, Kartal und Yanikoglu 1992, Uma et al. 2004, Jaju et al. 2013).

In allen Zahngruppen der aktuellen Studie konnte der Typ 1-1 am häufigsten nachgewiesen werden. Diese hohe Prävalenz kann durch die unten genannten Faktoren erklärt werden (S.67).

In der aktuellen Studie macht diese Konfiguration mit 76,4% den größten Prozentsatz aus und entspricht somit den Ergebnissen vorheriger Röntgenstudien (Pineda und Kuttler 1972 mit 74,3% und Walker 1987, mit 73%). Den Beobachtungen älterer Röntgen-Studien, dass ein Wurzelkanal bei den Unterkieferfrontzähnen dominiert (Pineda und Kuttler 1972, Walker 1987, Jaju et al. 2013), widersprechen allerdings die Ergebnisse von Uma et al. (2004). Die Autoren erkannten mit einer kombinierten Sektions- und Röntgentechnik in 52% die Typ III-Konfiguration nach Vertucci). Demnach unterscheidet sich das Ergebnis der aktuellen Studie von denen von Uma et al. (2004).

5.2.4.2 Kanalmorphologie Typ 1-2

Typ 1-2 der aktuellen Studie entspricht den Klassifikationen älterer Veröffentlichungen (Typ 5 nach Vertucci 1984, Typ 5 nach Kartal und Yanikoglu 1992 und Typ 4 nach Weine et al. 1999,). Die Typ 1-2 Konfiguration macht 1,08% aus und kommt somit als dritthäufigste Morphologie in dieser Studie vor. Verglichen mit den Ergebnissen von Vertucci (1984), Sert et al. (2004) und Uma et al. (2004) ist das Vorkommen dieses Kanaltyps höher, aber liegt unter denen Angaben von Al-Qudah und Awawdeh (2006) mit 3,6% und Peiris et al.

(2008) mit 3,7%. Diese Tatsache liegt womöglich im unterschiedlichen Studiendesign begründet. Beide Autoren nutzten eine In-vitro-Methode, bei welcher der Wurzelkanalverlauf an extrahierten und dekalzifizierten Zähnen untersucht wurde und der apikale Bereich womöglich klarer dargestellt werden konnte.

Die deutlich geringe Prävalenz des Kanaltyps 1-2 in der aktuellen Studie kann durch die unten genannten Faktoren erklärt werden (S.67).

Vermutlich läge die Prävalenzrate der aktuellen Studie deutlich höher, wären die Auswertungen mit dem oben beschriebenen „Endo- Modus“ des DVT- Gerätes vorgenommen worden. Durch die verbesserte Auflösung der endodontischen Einstellung ließen sich die Wurzelspitze und das apikale Gewebe laut Hersteller deutlicher darstellen und auswerten (Sirona 2012).

5.2.4.3 Kanalmorphologie Typ 2-1

Typ 2-1 entspricht der Typ 2 Klassifikation nach Vertucci (1984), Typ 3 nach Benjamin et al. (1974), Typ 2 nach Kartal und Yanikoglu (1992) und Typ 2 nach Weine et al. (1999). Mit 21,7% ist dieser Kanaltyp mit ähnlichen Ergebnissen wie von Pineda und Kuttler (1972) mit 27,6%, Walker (1988) mit 22%, Al-Qudah und Awawdeh (2006) mit 17,6%, Peiris et al. (2008) mit 22,9% der zweithäufigste dieser Studie.

Die ermittelte Prävalenzrate liegt deutlich unter der von Benjamin et al. (1974) mit 41,4%, Uma et al. (2004) mit 54% und Sert et al. (2004) mit 65,5%. Das kann seine Ursache in der unterschiedlichen Studienmethodik finden. Die aufgeführten Publikationen mit weit höheren Prävalenzraten sind In-vitro-Studien, welche Sektionstechniken, Anfärbetechniken oder kombiniert röntgenologische In-Vitro-Techniken an extrahierten Zähnen anwendeten. Die Prävalenzrate des Kanaltyps 2-1 der aktuellen Studie kann durch die unten genannten Faktoren erklärt werden (S.67).

5.2.4.4 Kanalmorphologie Typ 2-2

Die Kanalmorphologie Typ 2-2 entspricht dem Klassifikationstyp 4 nach Vertucci (1984), Typ 2 nach Benjamin et al. (1974), Typ 4 nach Kartal und Yanikoglu (1992) und Typ 3 nach Weine et al. (1999).

In 0,8% der untersuchten Zähne konnte diese Klassifikation erkannt werden. Damit liegt

die Prävalenz unter der der Studien von Uma et al. (2004), Sert et al. (2004) und Al-Qudah und Awawdeh (2006). Ähnlich wie in der Studie von Benjamin et al. (1974) mit 1,3% kam diese Morphologie am seltensten vor.

Die niedrige Prävalenzrate des Kanaltyps 2-2 der aktuellen Studie kann durch die nun aufgeführten Faktoren erklärt werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Faktoren nennen, die Einfluss auf die Prävalenzraten der vier Kanaltypen 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 nehmen können:

- Eine Tertiärdentinbildung/ Pulpakalzifizierung erfolgte entlang der Kanalwände und führte zu einer Verengung des Kanallumens und nicht zu einer Kanalauftrennung.
- Auf Höhe der Messpunkte 2 und 7 Millimeter wurde nur ein Wurzelkanal erkannt.
- Die Auswertung erfolgte ohne optische Vergrößerungshilfe, was zu einer Nichterkennung von Kanalabzweigungen und demnach zu einer Unterschätzung der Prävalenzrate führen kann.
- Es lagen Graustufen oder Bewegungsartefakte im Bereich des Messpunktes vor, was die Identifikation einer Bifurkation verhinderte.
- Die Tertiärdentinbildung erfolgte bis zum Zeitpunkt der Auswertung in weiter koronal gelegenen Pulpaabschnitten.
- Der Messpunkt 7 mm koronal der Wurzelspitze lässt sich deutlicher darstellen als der Messpunkt 2 mm koronal des Apex.
- Im Bereich des 7 Millimetermesspunktes lagen weniger Verzerrungen vor als im Bereich des 2 Millimetermesspunktes.
- Es konnte keine Abzweigung durch die begrenzte Darstellbarkeit des apikalen Bereiches identifiziert werden.

5.2.5 Symmetrie im Seitenvergleich

Wie schon erläutert, wurden bereits in mehreren Studien die kombinierten In-vivo- und In-vitro-Röntgenstudien gegenübergestellt, welche die Wurzelkanalanatomie untersuchten. Keine dieser Studien befasste sich mit der Symmetrie der Unterkieferfrontzähne.

Es konnte von den 302 Teilnehmern bei 85 Personen mindestens an einem mittleren oder seitlichen Schneidezahn ein zweiter Wurzelkanal erkannt werden. Bei den *zentralen*

Schneidezähnen lag bei den 85 ermittelten Patienten in 62,3% und bei den *seitlichen* Schneidezähnen der 85 Patienten in 73% eine Symmetrie vor. Eine Unterteilung der Patienten in männliche und weibliche Teilnehmer ergab, dass bei den Frauen die mindestens an einem Zahn einen zweiten Kanal zeigten, die zentralen Inzisivi in 17,2% und die lateralen Inzisivi in 22,6% über eine Symmetrie verfügten. Die männlichen Teilnehmer mit mindestens einem zusätzlichen Wurzelkanal zeigten eine Symmetrierate von 18,1% an den mittleren und 17,24% an den seitlichen Schneidezähnen.

Eine Überprüfung unserer Symmetrieergebnisse ist trotz intensiver Literaturrecherche aufgrund fehlender vergleichbarer Quellen schwierig. Daher werden nur die Ergebnisse von Iyer et al. (2006) und Tu et al. (2009) als Vergleichswerte genommen. Iyer et al. (2006) verglichen bei 125 Patienten die Symmetriehäufigkeit anatomischer Besonderheiten bei Unterkieferprämolaren. 3,2% der Patienten zeigten eine bilaterale Symmetrie. Die Auswertung der Unterkieferprämolaren zeigte mit 3,2% eine geringere Prävalenz als in der aktuellen Studie, was auf die alleinige Auswertung zweidimensionaler apikaler Röntgenbilder zurückgeführt werden könnte.

Tu et al. (2009) hingegen erkannten bei der Auswertung von 123 DVT-Aufnahmen in 33,3% einen dreiwurzeligen ersten Unterkiefermolaren, bei denen in 53,65% eine bilaterale Symmetrie vorlag. Die Unterkiefermolaren weisen einen größeren Zahn- und Wurzeldurchmesser auf, was die symmetrische Auswertung im axialen Querschnitt vereinfacht und die deutlich höhere Prävalenz im Vergleich zu den Ergebnissen von Iyer et al. (2006) erklären würde.

Trotz der begrenzten Stichprobe von 302 DVT-Bildern können mit der vorliegenden Untersuchung die bereits bestehenden Erkenntnisse über die Wurzelkanalmorphologien und Kanalanzahlen von Unterkieferfrontzähnen bestätigt werden. Die in der vorliegenden Studie ermittelte Symmetriehäufigkeit stellt demgegenüber eine neue, bislang in früheren Publikationen noch nicht oder zumindest nicht so prägnant dargestellte Assoziation dar.

5.3 Schlussfolgerungen

Basierend auf diesen Erkenntnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen aufstellen:

- Die Nutzung der dreidimensionalen Bildgebung mit den hier verwendeten Voreinstellungen erweist sich als adäquates Mittel zur Bestimmung der Wurzelkanalmorphologien 1-1 und 2-1. Die verwendete Geräteeinstellung liefert zwar eine gute Übersicht über die Kanalkonfigurationen der Unterkieferfrontzähne, kleinere Abzweigungen vom Kanalablauf sind aber nur eingeschränkt bzw. unzureichend zu erkennen.
- Für eine präzise Auswertung der Morphologien 1-2 und 2-2 ist die verwendete Voreinstellung des DVT- Gerätes nicht ausreichend. Es empfiehlt sich, die Geräteeinstellungen vorab durch den kürzlich weiterentwickelten Endo-Modus zu ersetzen. Hierbei ist es möglich, das Sichtfeld zu verkleinern, um eine verbesserte Auflösung zu generieren. Um genauere Details des Pulpaverlaufes darstellen zu können, bietet es sich an, das kleine „Endo-Volumen“ von 5x5,5 cm mit einer höheren Auflösung von bis zu 100 µm zu verwenden (Sirona 2012).
- Nahezu ein Viertel (23,6%) der untersuchten Zähne verfügt über einen zusätzlichen Wurzelkanal.
- In bis zu 17,5% bei den zentralen und bis zu 20,5% bei den lateralen Unterkieferfrontzähnen kann von einem zusätzlichen bilateral vorkommenden Wurzelkanal ausgegangen werden.
- Ein zweiter Wurzelkanal im gleichen Zahn des gegenüberliegenden Quadranten sollte bei Männern und Frauen in jedem Alter erst dann ausgeschlossen werden, wenn er mit allen nötigen Hilfsmitteln nicht aufgefunden werden kann, da diese Studie zeigt, dass weder das Alter noch das Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz und die Symmetrierate des zweiten Wurzelkanals nimmt.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser retrospektiv kontrollierten Studie sollte durch Einsatz der digitalen Volumentomographie geklärt werden, wie häufig ein zweiter Wurzelkanal im Unterkieferfrontzahnbereich vorkommt und wie häufig dieser Kanal bilateral auftritt. Die Wurzelkanalanatomie der Unterkieferinzisivi wurde im Abstand von 2 und 7 mm koronal des röntgenologischen Apex untersucht.

Die Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen: Für die retrospektive Röntgenstudie gaben 302 Patienten (186 Frauen und 116 Männer) mit einem durchschnittlichen Alter von 44,7 (+/- 12,9) Jahren ihr Einverständnis. Untersucht wurden insgesamt 1208 zentrale und laterale Inzisivi.

Bei 53 Patienten (17,5%) ist ein bilaterales Vorkommen der zentralen zweikanaligen Unterkieferinzisivi und bei 62 Patienten (20,5%) der zweikanaligen lateralen Unterkieferinzisivi zu verzeichnen. Es konnte bei 37 Patienten (12,3%) in allen 4 Unterkieferinzisivi ein zweiter Wurzelkanal erkannt werden. In 197 (65,4%) der DVT-Daten war in der gesamten Unterkieferfront nur ein Wurzelkanal zu erkennen. In 34,6% der Fälle kam mindestens bei einem Inzisivus ein zweiter Wurzelkanal vor. Von insgesamt 1208 untersuchten Zähnen wiesen 919 Zähne (76,3%) eine Typ 1-1 Kanalmorphologie und 13 Zähne (1,08%) eine Typ 1-2 Morphologie auf. Die Kanalmorphologie 2-1 kam bei 262 Zähnen (21,76%) vor, bei 10 Zähnen (0,83%) lag eine Typ 2-2 Morphologie vor.

Zusammengefasst lag in 23,6% der Zähne ein zweiter Wurzelkanal vor.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung machen deutlich, wie wichtig die Kenntnis über die Wurzelkanalanatomie der Unterkieferfrontzähne ist, da diese häufig zwei Wurzelkanäle aufweisen.

7.ANHANG**7.1 Anamnesebogen inkl. Patienteneinwilligung (im Folgenden mit Grün markiert)**

Anmeldebogen - damit wir Sie besser kennen lernen

Name:	.....	Vorname:	.....
			
			
Geburtsdatum:	.....	PLZ:	.....
			
Straße:	.....	Wohnort:	.....
			
Telefon privat:	.....	geschäftlich:	.....
			
Mobil:	.....	e-mail:	.....
			
Beruf:	.....	Arbeitgeber:	.....
			
Krankenkasse:	.....		
☐ beihilfeberechtigt	☐ privat versichert	☐ privat zusatzversichert	☐ privat versichert Basis Tarif

Rechnungsempfänger (Versicherter bei nicht Selbstversicherten):

Name:	.....	Vorname:	.....
			
Geburtsdatum:	.....	PLZ:	.....
			
Straße:	.....	Ort:	.....
			

Hausarzt	.....	Ort:	.....
			

Überweisender Zahnarzt	.....	Ort:	.....
			

Wie sind Sie auf uns aufmerksam geworden?

Überweisung	☐
Empfehlung Freunde/Bekannte	☐
Telefonbuch/Gelbe Seiten	☐
Internet	☐
Zeitungsanzeige	☐
Vorträge	☐
.....	☐

Bitte beantworten Sie uns noch die umseitig aufgeführten Gesundheitsfragen, damit wir besser auf Ihre Probleme eingehen und allgemeinmedizinische Risiken vermeiden können. Ihre persönlichen Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt.

Gesundheitsfragen

Leiden Sie unter einer der nachfolgend aufgeführten Erkrankungen? Bitte kennzeichnen

Herz- und Kreislauferkrankungen:

Herzinfarkt – Erkrankungen der Herzkranzgefäße - Rhythmusstörungen – Schrittmacher – ☐
 Klappenersatz – Herzfehler – Endokarditis – hoher Blutdruck – niedriger Blutdruck - Stent

Bluterkrankungen / Gerinnungsstörungen ☐

Diabetes mellitus (Zuckerkrankheit) ☐

Gelenkersatz ☐

Ich nehme Bisphosphonate (z. B. Fosamax) ☐

Schilddrüsenerkrankungen ☐

Erkrankungen der Atmungsorgane / Asthma ☐

Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes ☐

Infektionserkrankungen: Hepatitis – HIV – Tuberkulose – ☐
 andere.....

Lebererkrankungen ☐

Nierenerkrankungen ☐

Allergien und Unverträglichkeiten:

Antibiotika/Penicillin – Schmerzmittel – Betäubungsspritzen - Latex – Kunststoffe – Metalle ☐

Oder gegen:.....

Tumorerkrankung (auch in der Vergangenheit) ☐

Krebs – Bestrahlungen – Chemotherapie

Erkrankungen des Nervensystems ☐

Anfallsleiden – Kopfschmerzen - Migräne – Schlafstörungen – Ohnmacht – Nervosität –
 Schlaganfall

Rauchen Sie? ☐

Nehmen Sie Medikamente ein? Wenn ja, welche?

.....

Sind Sie wegen anderer Erkrankungen in ärztlicher Behandlung? ☐

.....

Für Patientinnen - Sind Sie schwanger? ☐

Ich bestätige, alle Angaben vollständig und wahrheitsgemäß erteilt zu haben und verpflichte mich, eintretende Änderungen des Gesundheitszustandes während der gesamten Behandlungsdauer mitzuteilen.

Ich bin damit einverstanden, dass meine personenbezogenen Daten, mitgebrachte und hier erhobene Befunde und Röntgenbilder, Karteikarteneinträge und andere Aufzeichnungen von allen Mitgliedern und Mitarbeitern der Avadent Clinic Dr. Henrich und Coll. eingesehen werden dürfen und dass sie in anonymisierter Form in wissenschaftlichen Studien ausgewertet werden können.

Ort, Datum

Unterschrift

7.2 Kreuztabellen zur statistischen Auswertung

Kreuztabellen für die zentralen Inzisivi

Einteilung der zentralen Inzisivi

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	217	2	15	0	234 (77%)
31 1-2	1	1	0	0	2 (1%)
31 2-1	12	1	50	1	64 (21%)
31 2-2	2	0	0	0	2 (1%)
Spaltensumme	232 (76,8%)	4 (1%)	65 (22%)	1 (0%)	Gesamt = 302

Tabelle 20: 4x4-Kreuztabelle für die zentralen Inzisivi 31 und 41

→ 268/302 (89%) symmetrisch insgesamt

Kreuztabellen für die lateralen Inzisivi

Einteilung der lateralen Inzisivi

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	217	2	6	3	228 (77%)
32 1-2	1	2	0	0	3 (1%)
32 2-1	9	0	58	1	68 (21%)
32 2-2	2	0	1	0	3 (1%)
Spaltensumme	229 (75,8%)	4 (1%)	65 (22%)	4 (0%)	Gesamt = 302

Tabelle 21: 4x4-Kreuztabelle für die lateralen Inzisivi 32 und 42 des Gesamtkollektivs

→ 277/302 (91,72%) symmetrisch insgesamt

7.3 Altersgruppen-Auswertung

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Altersgruppe 1** (18-35jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	52	0	2	0	54 (72%)
31 1-2	1	0	0	0	1 (1,3%)
31 2-1	5	1	12	1	19 (25,3%)
31 2-2	1	0	0	0	1 (1,3%)
Spaltensumme	59 (78,6%)	1 (1,3%)	14 (18,6%)	1 (1,3%)	Gesamt =75

Tabelle 22: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Altersgruppe 1

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 64/75 (85,3%) symmetrisch

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Altersgruppe 1** (18-35jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	47	1	1	2	51 (68%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	2	0	21	0	23 (30,6%)
32 2-2	1	0	0	0	1 (1,3%)
Spaltensumme	50 (66,7%)	1 (1,3%)	22 (29,3%)	2 (2,7%)	Gesamt=75

Tabelle 23: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Altersgruppe 1

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 68/75 (90,7%) symmetrisch

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	60	0	0	0	70 (80,5%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	2	0	15	0	17 (19,5%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	60 (71%)	1 (1,1%)	24 (27,6%)	0 (0%)	Gesamt =87

Tabelle 24: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Altersgruppe 2

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 75/87 (86,2%) symmetrisch

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	64	0	3	0	67 (77%)
32 1-2	0	1	0	0	1 (1,1%)
32 2-1	2	0	16	1	19 (21,8%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	66 (75,9%)	1 (1,1%)	19 (21,8%)	1 (1,1%)	Gesamt =87

Tabelle 25: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Altersgruppe 2

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 81/87 (93%) symmetrisch

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Altersgruppe 3** (46-55jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	56	1	2	0	59 (81%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	1	0	13	0	14 (19,2%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	57 (78,1%)	1 (1,4%)	15 (20,5%)	1 (1,4%)	Gesamt =73

Tabelle 26: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Altersgruppe 3

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 69/73 (94,5%) symmetrisch

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Altersgruppe 3** (46-55jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	55	0	2	1	58 (79,5%)
32 1-2	0	1	0	0	1 (1,4%)
32 2-1	2	0	11	0	13 (17,8%)
32 2-2	0	0	1	0	1 (1,4%)
Spaltensumme	57 (78,1%)	1 (1,4%)	14 (19,2%)	1 (1,4%)	Gesamt =73

Tabelle 27: 4x4-Kreuztabelle bezogen auf die lateralen Inzisivi 32 und 42 der Altersgruppe 3

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 67/73 (91,8%) symmetrisch

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Altersgruppe 4** (> 56jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	49	0	2	0	51 (76,1%)
31 1-2	0	1	0	0	1 (1,5%)
31 2-1	4	0	10	0	14 (21%)
31 2-2	1	0	0	0	1 (1,5%)
Spaltensumme	54 (80,6%)	1 (1,5%)	12 (18%)	0 (0%)	Gesamt = 67

Tabelle 28: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Altersgruppe 4

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 60/67 (89,5%) symmetrisch

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Altersgruppe 4** (>56 jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	51	1	0	0	52 (77,6%)
32 1-2	1	0	0	0	1 (1,5%)
32 2-1	3	0	10	0	13 (19,4)
32 2-2	1	0	0	0	1 (1,5%)
Spaltensumme	56 (83,6%)	1 (1,5%)	10 (15%)	0 (0%)	Gesamt =67

Tabelle 29: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Altersgruppe 4

Bezogen auf das Gruppenkollektiv:

→ 61/67 (91%) symmetrisch

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	33	1	5	0	39 (81,25%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	1	0	8	0	9 (18,75%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	34 (70,8%)	1 (2,1%)	13 (27,1%)	0 (0%)	Gesamt = 48

Tabelle 30: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Frauen in der Altersgruppe 2, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	32	0	1	0	33 (68,8%)
32 1-2	0	1	0	0	1 (2,1%)
32 2-1	1	0	13	0	14 (29,1%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	33 (68,8%)	1 (2,1%)	14(29,1%)	0 (0%)	Gesamt = 48

Tabelle 31: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Frauen in der Altersgruppe 2, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 3** (46-55jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	31	0	1	0	32 (76,2%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	1	0	9	0	10 (23,8%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	32(76,2%)	0(0%)	10(23,8%)	0(0%)	Gesamt = 42

Tabelle 32: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Frauen in der Altersgruppe 3, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 3** (46-55jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	31	0	1	0	32 (76,2%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	1	0	8	0	9 (21,4%)
32 2-2	0	0	1	0	1 (2,4%)
Spaltensumme	32 (76,2%)	0 (0%)	10 (23,8%)	0 (0%)	Gesamt =42

Tabelle 33: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Frauen in der Altersgruppe 3, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 4** (>56jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	30	0	2	0	22 (52,4%)
31 1-2	0	1	0	0	1 (2,4%)
31 2-1	3	0	5	0	8 (19%)
31 2-2	1	0	0	0	1 (2,4%)
Spaltensumme	24 (57,1%)	1 (2,4%)	7 (16,7%)	0 (0%)	Gesamt =42

Tabelle 34: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Frauen in der Altersgruppe 4, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Frauen der Altersgruppe 4** (>56jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	32	0	0	0	32 (76,2%)
32 1-2	1	0	0	0	1 (2,4%)
32 2-1	3	0	5	0	8 (19%)
32 2-2	1	0	0	0	1 (2,4%)
Spaltensumme	37 (88,1%)	0 (0%)	5 (12%)	0 (0%)	Gesamt = 42

Tabelle 35: 4x4-Kreuztabelle der lateralen Inzisivi 32 und 42 der Frauen in der Altersgruppe 4, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 1** (18-35jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	13	0	0	0	13 (62%)
31 1-2	1	0	0	0	1 (4,8%)
31 2-1	1	0	4	1	6 (28,6%)
31 2-2	1	0	0	0	1 (4,8%)
Spaltensumme	16 (76,2%)	0 (0%)	4 (19%)	1 (4,8%)	Gesamt = 21

Tabelle 36: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Männer in der Altersgruppe 1, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 1** (18-35jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	13	1	0	0	14 (66,7%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	0	7	0	0	7 (33,3%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	13 (62%)	8 (38%)	0 (0%)	0 (0%)	Gesamt =21

Tabelle 37: 4x4-Kreuztabelle bezogen auf die lateralen Inzisivi 32 und 42 der Männer in der Altersgruppe 1, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	27	0	4	0	31 (79,5%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	1	0	7	0	8 (20,5%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	28 (71,8%)	0 (0%)	11 (28,2%)	0 (0%)	Gesamt = 39

Tabelle 38: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Männer in der Altersgruppe 2, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 2** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	32	0	2	0	34 (87,2%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	1	0	3	1	5 (12,8%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	33 (84,6%)	0 (0%)	5 (12,8%)	1 (2,6%)	Gesamt =39

Tabelle 39: 4x4-Kreuztabelle bezogen auf die lateralen Inzisivi 32 und 42 der Männer in der Altersgruppe 2, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 3** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	25	1	1	0	27 (87,1%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	0	0	4	0	4 (13%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	25 (80,6%)	1 (3,2%)	5 (16,1%)	0 (0%)	Gesamt = 31

Tabelle 40: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Männer in der Altersgruppe 3, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 3** (36-45jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	24	0	1	1	26 (83,9%)
32 1-2	0	1	0	0	1 (3,2%)
32 2-1	1	0	3	0	4 (13%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	25 (80,6%)	1 (3,2%)	4 (13%)	1 (3,2%)	Gesamt= 31

Tabelle 41: 4x4-Kreuztabelle bezogen auf die lateralen Inzisivi 32 und 42 der Männer in der Altersgruppe 3, patientenbezogen

Einteilung für die **zentralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 4** (>56jährig)

Zahn/Morphologie	41 1-1	41 1-2	41 2-1	41 2-2	Zeilensumme
31 1-1	19	0	0	0	19 (76%)
31 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
31 2-1	1	0	5	0	6 (24%)
31 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	20 (80%)	0 (0%)	5 (20%)	0 (0%)	Gesamt = 25

Tabelle 42: 4x4-Kreuztabelle der zentralen Inzisivi 31 und 41 der Männer in der Altersgruppe 4, patientenbezogen

Einteilung für die **lateralen Inzisivi der Männer der Altersgruppe 4** (>56jährig)

Zahn/Morphologie	42 1-1	42 1-2	42 2-1	42 2-2	Zeilensumme
32 1-1	19	1	0	0	20 (80%)
32 1-2	0	0	0	0	0 (0%)
32 2-1	0	0	5	0	5 (20%)
32 2-2	0	0	0	0	0 (0%)
Spaltensumme	19 (76%)	1 (4%)	5 (20%)	0 (0%)	Gesamt = 25

Tabelle 43: 4x4-Kreuztabelle bezogen auf die lateralen Inzisivi 32 und 42 der Männer in der Altersgruppe 4, patientenbezogen

8. LITERATURVERZEICHNIS

Abella F, Mercader M, Duran-Sindreu F, Roig M (2011):

Managing severe curvature of radix entomolaris: three-dimensional analysis with cone beam computed tomography. Int Endod J 44, 876-885

Al-Fouzan KS, AlManee A, Jan J, Al-Rejaie M (2012):

Incidence of two canals in extracted mandibular incisors teeth of Saudi Arabian samples. Saudi Endod J 2, 65-69

Al-Qudah AA, Awawdeh LA (2006):

Root canal morphology of mandibular incisors in a Jordanian population. Int Endod J 39, 873-877

Arnold M (2010):

Die Differenzierung einkanaler und mehrkanaler Unterkieferfrontzähne mit Hilfe des Dentalmikroskops. Endodontie 19, 153-163

Arnold M (2011):

Minimalinvasive Fragmententfernung mithilfe der digitalen Volumentomographie. Endodontie 20, 403-413

Bauman R, Scarfe W, Clark S, Morelli J, Scheetz J, Farman A (2011):

Ex vivo detection of mesiobuccal canals in maxillary molars using CBCT at four different isotropic voxel dimensions. Int Endod J 44, 752-758

Bellizzi R, Hartwell G (1983):

Clinical investigation of in vivo endodontically treated mandibular anterior teeth. J Endod 9, 246-248

Benjamin KA, Dowson J, Arbor A (1974):

Incidence of two root canals in human mandibular incisor teeth.

Oral Surg 38, 122-126

Bornstein MM, Lauber R, Sendi P, von Arx T (2011):

Comparison of periapical radiography and limited cone beam computed tomography in mandibular molars for analysis of anatomical landmarks before apical surgery.

J Endod 37, 151-157

Boruah LC, Bhuyan AC (2011):

Morphologic characteristics of root canals of mandibular incisors in north-east Indian population: An in vitro study.

J Conserv Dent 14, 346-350

Chen G, Yao H, Tong C (2009):

Investigation of the root canal configuration of mandibular first molars in a Taiwan Chinese population.

Int Endod J 42, 1044-1049

Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM (2007):

Clinical indications for digital imaging in dento- alveolar trauma. Part 1: Traumatic injuries.

Dent Traumatol 23, 95-104

Cotton TP, Geisler, TM, Holden DT, Schwartz, SA, Schindler WG (2007):

Endodontic applications of cone beam volumetric tomography.

J Endod 33, 1121-1132

de Oliveira SH, de Moraes LC, Faig-Leite H, Camargo SE, Camargo CH (2009):

In vitro incidence of root canal bifurcation in mandibular incisors by radiovisiography.

J Appl Oral Sci 17, 234-239

Du C, Zhu Y, Hong L (2011):

Age-related changes in pulp cavity of incisors as a determinant for forensic age identification.

J Forensic Sci 56, 72-76

Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F (2011):

Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption.

Int Endod J 44, 136-147

Eder A, Kantor M, Nell A, Moser T, Gahleitner A, Schedle A, Sperr W (2006):

Root canal system in the mesiobuccal root of the maxillary first molar: an in vitro comparison study of computed tomography and histology.

Dentomaxillofac Radiol 35, 175-177

Estrela C, Bueno MR, Sousa-Neto MD, Pecora J (2008 a):

Method for determination of root curvature radius using cone beam computed tomography images.

Braz Dent J 19, 114-118

Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo BC, Azevedo JR (2008 b):

Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis.

J Endod 34, 273-279

Estrela C, Bueno MR, Gonçalves de Alencar AH, Mattar R, Valladares Neto J, Azevedo BC, Rodrigues de Araujo Estrela C (2009):

Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography.

J Endod 35, 1491-1497

Ezzodini F, Mohammadi Z, Tabrizizadeh M (2006):

Root canal morphology of human mandibular incisors in Yazd province.

Dent Res J 3, 1-3

Farman AG (2005):

ALARA still applies

Oral Surg Oral Med Oral Pathol, Oral Radiol Endod 100, 395-397

Ferraz JA, Pécora JD (1993):

Three- rooted mandibular molars in patients of Mongolian, Caucasian and Negro Origin.

Braz Dent J 3, 113-117

Funato A, Funato H, Matsumoto K (1998):

Mandibular central incisor with two root canals.

Endod Dent Traumatol 14, 285-286

Green D (1956):

A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 9, 1224-1232

Green D (1973):

Double canals in single roots.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 35, 689-696

Heidemann D:

Endodontie. 4. Auflage;

Urban und Fischer Verlag, München 2001

Hellwig E, Klimek J, Attin T:

Einführung in die Zahnerhaltung 4. Auflage;

Urban und Fischer Verlag, München 2007

Hession RW (1977):

Endodontic morphology II. A radiographic analysis.

Oral Surg 44, 610-620

Howard-Swirzinski K, Edwards PC, Saini TS, Norton NS (2010):

Length and geometric patterns of the greater palatine canal observed in cone beam computed tomography.

Int J Dent 2010, 1-6

Huang CC, Chang YC, Chuang MC, Lai TM, Lai JY, Lee BS, Lin CP (2010):

Evaluation of root and canal systems of mandibular first molars in Taiwanese individuals using cone- beam computed tomography.

J Formos Med Assoc 109, 303-308

Hülsmann M:

Checklisten der Zahnmedizin: Endodontie.

Thieme, Stuttgart 2008, S. 28

Hwang YH, Min KS (2005):

Clinical management of 3 mandibular incisors with 2 separate canals and foramina: a case report.

J Can Dent Assoc 71, 388-389

Ioannidis K, Lambrianidis T, Beltes P, Besi E, Malliari M (2011):

Endodontic management and cone beam computed tomography. Evaluation of seven maxillary and mandibular molars with single roots and single canals in a patient.

J Endod 37, 103-109

Iyer VH, Indira R, Ramachandran S, Srinivasan MR (2006):

Anatomical variations of mandibular premolars in Chennai population.

Ind J Dent Res 17, 7-10

Jaju SP, Jaju PP, Garcha V (2013):

Root canal assessment of mandibular incisors in an Indian population using cone beam CT.

ENDO (Lond Engl) 7, 105-111

Kabak YS, Abbott PV (2007):

Endodontic treatment of mandibular incisors with two root canals: report of two cases.

Aust Endod J 33, 27-31

Kaffe I, Kaufman A, Littner MM, Lazarson A (1985):

A radiographic study of the root canal system of mandibular anterior teeth.

Int Endod J 18, 253-259

Karagöz-Küçükay I (1994)

Root canal ramifications in mandibular incisors and efficacy of low temperature injection thermoplasticized gutta-percha filling.

JEndod 20, 236-240

Kartal N, Yanikoglu F (1992):

Root canal morphology of mandibular incisors.

J Endod 18, 562-564

Kaya S, Adiguzel O, Yavus I, Tumen EC, Akkus Z (2011):

Cone-beam dental computerized tomography for evaluating changes of aging in the dimensions central superior incisor root canals.

Med Oral Patol Oral Cir Bucal 16, 463-466

Kim E, Fallahrastegar A, Jung YY, Kim S, Lee SJ (2005):

Difference in root canal length between Asians and Caucasians.

Int Endod J 38, 149-151

Klein RMF, Blake SA, Nattress BR, Hirschmann PN (1997):

Evaluation of X-ray beam angulation for successful twin canal identification in mandibular incisors.

Int Endod J 30, 58-63

Kottoor J, Natanasabapathy V, Rajmohan S, Senthilkumar H (2010):

Maxillary first molar with seven root canals diagnosed with cone-beam computed tomography scanning: A case report.

J Endod 36, 915-921

Kumar V, Gossett L, Blattner A, Iwasaki LR, Williams K, Nickel JC (2011):

Comparison between cone beam computed tomography and intraoral digital radiography for assessment of tooth root lesions.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 139, 533-541

La SH, Jung DH, Kim EC, Min KS (2010):

Identification of independent middle mesial canal in mandibular first molar using cone-beam computed tomography imaging.

J Endod 36, 542-545

Lee JK, Ha BA, Choi JH, Heo SM, Perinpanayagam H (2006):

Quantitative three-dimensional analysis of root canal curvature in maxillary first molars using micro-computed tomography.

J Endod 32, 941-945

Lehmann KM, Hellwig E:

Zahnärztliche Propädeutik. 9. Auflage

Urban und Fischer Verlag, München 2002, S. 11-16

Lemkamp M, Filippi A, Berndt D, Lambrecht T (2006):

Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomografie.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 116, 645-653

Liang YH, Li G, Wesselink PR, Wu MK (2011):

Endodontic outcome predictors identified with periapical radiographs and cone-beam computed tomography scans.

J Endod 37, 326-331

Lofthag-Hansen S, Huumonen S, Gröndahl K, Gröndahl HG (2007):

Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103, 114-119

Logani A, Singh A, Singla M, Nasseem S (2010):

Die labiale Zugangskavität bei Unterkieferfrontzähnen- Ein alternativer Weg zum Erfolg.

Endodontie 19, 165-170

Low KMT, Dula K, Bürgin W, von Arx T (2008):

Comparison of periapical radiography and limited cone- beam in posterior maxillary teeth referred for apical surgery.

J Endod 34, 557-562

Ludlow JB, Laster WS, See M, Bailey J, Hershey HG (2007):

Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103, 534-542

Madeira MC, Hetem S (1973):

Incidence of bifurcations in mandibular incisors.

Oral Surg 36, 589-591

Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D (2008):

Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro.

J Endod 34, 87-89

Mauger MJ, Schindler WG, Walker WA (1998):

An evaluation of canal morphology at different levels of root resection in mandibular incisors.

J Endod 24, 607-609

Mauger MJ, Waite RM, Alexander JB, Schindler WG (1999):

Ideal endodontic access in mandibular incisors.

J Endod 25, 206-207

Michetti J, Maret D, Mallet, JP, Diemer F (2010):

Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy.

J Endod 36, 1187-1190

Miyashita M, Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Sekizawa T (1997):

Root canal system of the mandibular incisor.

J Endod 23, 479-484

Miyoshi S, Fujiwara J, Tsuji YH, Nakata T, Yamamoto K (1977):

Bifurcated root canals in crown diameter.

J Dent Res 56, 1425

Nair MK, Nair UP (2007):

Digital and advanced imaging in endodontics: a review.

J Endod 33, 1-6

Nattress BR, Martin DM (1991):

Predictability of radiographic diagnosis of variations in root canal anatomy in mandibular incisor and premolar teeth.

Int Endod J 24, 58-62

Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao C (2010):

Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology.

J Endod 36, 1547-1551

Neo J, Chee LF (1990):

A retrospective clinical study of endodontically treated mandibular incisors in a selected Chinese population.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 70, 782-3

Nesari R, Rossman LE Kratchman SI (2009):
Cone beam computed tomography in endodontics: Are we there yet?
Compend Contin Educ Dent 30, 312-314

Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E (2007):
The potential applications of cone beam computed tomography in the management of
endodontic problems.
Int Endod J 40, 818-830

Patel S (2009):
New dimensions in endodontic imaging: part 2. Cone beam computer tomography.
Int Endod J 42, 436-75

Patel S, Horner K (2009):
The use of cone beam computed tomography in endodontics.
Int Endod J 42, 755-756

Patel S, Dawood A, Whaites E, Ford TP (2009):
New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic
systems.
Int Endod J 42, 447-462

Peiris HRD, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E (2008):
Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages.
Int Endod J 41, 828-835

Pineda F, Kuttler Y (1972):
Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7275 root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 33, 101-110

Queresby FA, Savell TA, Palomo JM (2008):
Applications of cone beam computed tomography in the practice of oral and maxillofacial
surgery.
J Oral Maxillofac Surg 66, 791-796

Radlanski RJ:

Curriculum Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie. 1. Auflage
Quintessenz Verlag, Berlin 2011, S. 127-157, 175f., 309-315

Rahimi S, Shahi S, Yavari HR, Reyhani MF, Ebrahimi ME, Rajabi E (2009):

A stereomicroscopy study of root apices of human maxillary central incisors and mandibular second premolars in an Iranian population.

J Oral Sci 51, 411-415

Rankine-Wilson RW, Henry P (1965):

The bifurcated root canal in mandibular incisor teeth.

J Am Dent Assoc 70 1162-1165

Roberts JA, Drage NA, Davies J, Thomas DW (2009):

Effective Dose from cone beam CT examinations in dentistry.

Brit J Radiol 82, 35-40

Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P (2006):

Clinical Applications of cone-beam computed tomography in dental practice.

J Can Dent Assoc 72, 75-80

Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG (2009):

Use of cone beam computed tomography in endodontics.

Int J Dent 2009, Article ID 634567,1-20

Sert S, Aslanalp V, Tanalp J (2004):

Investigation of the root canal configurations of mandibular permanent teeth in the Turkish population.

Int Endod J 37, 494-499

Sherrad JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R, Buschang PH (2010):

Accuracy and reliability of tooth and root length measured on cone-beam computed tomographs.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 137, 100-108

Sirona Dental Systems GmbH:
Sidexis XG. Handbuch für den Anwender.
Bensheim 2007

Sirona Dental Systems GmbH:
Das Röntgenmagazin von Sirona, X-Visionen.
Bensheim 2012

Someda H, Saka H, Matsunaga S, Ide Y, Nakahara K, Hirata S, Hashimoto M (2009):
Age estimation based on three- dimensional measurement of mandibular central incisors
in Japanese.
Forensic Science International 185, 110-114

Srinivasan R, Raghu R (2011):
Labial access for lower anterior teeth- a rational approach.
Archives of Oral Sciences und Research 1, 156-158

Tachibana H, Matsumoto K (1990):
Applicability of x-ray computerized tomography in endodontics.
Endod Dent Traumatol 6, 16-20

Tiku AM, Kalaskar RR, Damle SG (2005):
An unusual presentation of all the mandibular anterior teeth with two root canals - a case
report.
J Indian Soc Pedod Prev Dent 23, 204-206

Tu MG, Huang HL, Hsue SS, Hsu JT, Chen SY, Jou MJ, Tsai CC (2009):
Detection of permanent three-rooted mandibular first molars by Cone-Beam Computed
Tomography imaging in Taiwanese individuals.
J Endod 35, 503-507

Tsujimoto Y (2009):
Forms of roots and root canals in endodontic treatment.
J Oral Biosciences 51, 218-223

Tsurumachi T, Honda K (2007):

A new computerized tomography system for use in endodontic surgery.

Int Endod J 40, 224-232

Tyndall DA, Rathore S (2008):

Cone beam CT diagnostic applications: Caries, periodontal bone assessment and endodontic applications.

Dent Clin North Am 52, 825-841

Uma CH, Ramachandran S, Indira R, Shankar P (2004):

Canal and isthmus morphology in mandibular incisors - an in vitro Study.

Endodontology 16, 7-11

Vertucci FJ (1984):

Root canal anatomy of the human permanent teeth.

Oral Surg 58, 589-599

Victorino FR, Bernardes RA, Baldi JV, De Moraes IG, Bernardinelli N,

Garcia RB, Bramante CM (2009):

Bilateral mandibular canines with two roots and two separate canals- Case report.

Braz Dent J 20, 84-86

Walker RT (1987):

A comparative investigation of the root number and canal anatomy of permanent teeth in vitro.

Int Endod J 19, 315-317

Walker RT (1988):

The root canal anatomy of mandibular incisors in a southern Chinese population.

Int Endod J 21, 218-223

Wang Y, Zheng QH, Zhou XD Tang L, Wang Q, Zheng GN, Huang DM (2010):
Evaluation of the root and canal morphology of mandibular first permanent molars in a western Chinese population by cone-beam computed tomography.
J Endod 36, 1786-1789

Weine FS, Hayqmi S, Hata G, Toda T (1999):
Canal configuration of the mesiobuccal root of the maxillary first molar of a Japanese sub-population.
Int Endod J 32, 79- 87

Zhang R, Yang H, Yu X, Wang H, Hu T, Dummer PMH (2011):
Use of CBCT to identify the morphology of maxillary permanent molar teeth in a Chinese subpopulation.
Int Endod J 44, 162-169

Zheng QH, Wang Y, Zhou XD, Wang Q, Zheng GN, Huang DM (2010):
A cone-beam computed tomography study of maxillary first permanent molar root and canal morphology in a Chinese population.
J Endod 36, 1480-1484

Zöller JE:
Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
Grundlagen, Diagnostik und Behandlungsplanung. 1. Auflage;
Quintessenz Verlag, Berlin 2007

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann möchte ich für die Möglichkeit zur Durchführung der Arbeit und für die tatkräftige Unterstützung recht herzlich danken.

Herrn Dr. Klaus Jung aus der medizinischen Statistik der Universität Göttingen danke ich für die zahlreichen Hilfestellungen im Rahmen dieser Statistik.

Herrn Dott./Univ. Ancona /Dr. med. dent. Georg Michael Henrich möchte ich für die Erlaubnis danken, auf seine Patientendaten im Rahmen dieser Dissertation Zugriff nehmen zu dürfen.