

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. R. Hickel

**Einsatz und Bewertung eines kunststoffbasierten
Wurzelkanalsealers in Verbindung mit drei
unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken**

Eine in vitro-Untersuchung

Dissertation

zum Erhalt des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dejan Robert Konec

aus

München

2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Ch. Benz
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Dr. med. H. Kniha Prof. Dr. med. dent. Dr. h. c. W. Gernet
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. dent. C. Haffner
Dekan:	Prof. Dr. med. D. Reinhardt
Tag der mündlichen Prüfung:	09.01.2006

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	GRUNDLAGEN DER WURZELKANALBEHANDLUNG	4
2.1.	Allgemeiner Überblick	4
2.2.	Wurzelkanalaufbereitung	5
2.2.1.	Allgemeiner Überblick.....	5
2.2.2.	Mechanische Wurzelkanalaufbereitung.....	6
2.2.2.1.	Manuell-mechanische Aufbereitung.....	6
2.2.2.2.	Maschinell-mechanische Aufbereitung.....	8
2.2.3.	Smear layer.....	11
2.2.4.	Chemische Wurzelkanalaufbereitung.....	12
2.3.	Wurzelkanalfüllung	14
2.3.1.	Allgemeiner Überblick.....	14
2.3.2.	Materialien.....	16
2.3.2.1.	Wurzelkanalfüllstifte (WF-Stifte).....	16
2.3.2.2.	Wurzelkanalfüllpasten (Sealer).....	17
2.3.3.	Techniken.....	19
2.4.	Dichtigkeitsuntersuchungen	22
2.5.	Ziel der Studie	24
3.	MATERIAL UND METHODE	26
3.1.	Beschreibung deS „System AET- Anatomic Endodontic Technology“ (Ultradent Products Inc., Utah, USA)	26
3.1.1.	EndoEZE (Ultradent Products Inc., Utah, USA).....	26
3.1.2.	EndoREZ (Ultradent Products Inc., Utah, USA).....	28
3.2.	Eigene Untersuchungen	32
3.2.1.	Untersuchung der Materialeigenschaften.....	32
3.2.2.	Probenauswahl und Gruppeneinteilung.....	33
3.2.3.	Dichtigkeitsuntersuchung.....	34

3.2.3.1.	Einteilung der untersuchten Gruppen.....	34
3.2.3.2.	Wurzelkanalaufbereitung	35
3.2.3.3.	Wurzelkanalfüllung.....	36
3.2.3.4.	Farbstoffpenetrationstest	38
3.2.3.5.	Auswertung	40
3.2.3.5.1.	Röntgenbilder.....	40
3.2.3.5.2.	Farbstoffpenetrationstest.....	42
3.2.3.6.	Statistische Auswertungen	44
3.2.4.	Dokumentation von Sonderfällen	45
4.	ERGEBNISSE.....	46
4.1.	Untersuchung der Materialeigenschaften.....	46
4.2.	Dichtigkeitsuntersuchung	46
4.2.1.	Röntgenbilder	47
4.2.2.	Farbstoffpenetrationstest.....	54
4.3.	Dokumentation von Sonderfällen	70
5.	DISKUSSION.....	73
5.1.	Material und Methode.....	73
5.2.	Versuchsergebnisse	79
5.2.1.	Röntgenbilder	79
5.2.2.	Farbstoffpenetrationstest.....	82
5.3.	Schlussfolgerung	86
6.	ZUSAMMENFASSUNG	88
7.	LITERATURVERZEICHNIS	90
8.	ANHANG.....	109
8.1.	Abbildungsverzeichnis.....	109
8.2.	Diagramme und Tabellen	113

8.3. Dokumentationsbögen	115
8.3.1. Röntgenbilder	115
8.3.2. Farbstoffpenetrationstest	116
8.4. Ermittelte Daten	117
8.4.1. Daten „Röntgenbilder“	117
8.4.2. Daten „Farbstoffpenetrationstest“	120
8.5. Legenden zu den Diagrammen	135
9. LEBENSLAUF	136
10. DANKSAGUNG	137

1. EINLEITUNG

Seit Beginn der wissenschaftlich fundierten Zahnheilkunde kam es durch neue technologische und wissenschaftliche Erkenntnisse zu Fortschritten auf allen Teilgebieten der Zahnmedizin. Die Erfolgsaussichten einer zahnärztlichen Behandlung konnten hierdurch deutlich verbessert werden. Zu all diesen neuen Behandlungsmöglichkeiten, welche dem Zahnarzt zur Verfügung stehen, kommt aber auch ein stetig wachsender Anspruch des Patienten auf Erhalt seiner natürlichen Zähne. Die Alternative „Zahnextraktion“ wird von vielen Patienten trotz prothetischer und implantologischer Möglichkeiten der Rehabilitation nicht mehr ohne weiteres akzeptiert.

Zahnerhaltende Maßnahmen, insbesondere die endodontischen Verfahren, haben in der Vergangenheit an Bedeutung gewonnen. So nahm in den letzten Jahren die jährliche Anzahl an Wurzelkanalfüllungen innerhalb deutscher Zahnarztpraxen stetig zu (absolute Anzahl in Mio.: 1970: 3,165; 2003: 7,853). Zudem verschob sich das Verhältnis zwischen den jährlich ermittelten Zahlen an durchgeführten Extraktionen und Wurzelkanalbehandlungen zunehmend zu Gunsten der endodontischen Behandlung (1970: 5,4 / 1; 2001: 1,8 / 1) [130]. Diesem Umstand tragen die stetigen Weiterentwicklungen der endodontischen Behandlungsmethoden Rechnung. Sie haben das Ziel, neben der Sicherung des Behandlungserfolgs auch den Zeit- und Arbeitsaufwand von Wurzelkanalbehandlungen zu minimieren.

Trotz aller Neu- und Weiterentwicklungen orientieren sich die vorgeschlagenen Behandlungskonzepte zur Wurzelkanalbehandlung nach wie vor an dem von SCHILDER 1974 beschriebenen "cleaning and shaping" [117]. Hierbei kommt es nach anfänglicher Ausräumung des pulpalen Weichgewebes zu einer Kombination von mechanischer und chemischer Aufbereitung des Wurzelkanals, welche die Voraussetzung für eine dichte, wandständige und dauerhafte Wurzelkanalfüllung schaffen soll. Den Abschluss der endodontischen Behandlung stellt der biokompatible und hermetische Verschluss des Wurzelkanalsystems dar. Dieser soll eine Reinfektion des Wurzelkanals und somit den endodontischen Misserfolg verhindern.

Insbesondere auf dem Gebiet der Wurzelkanalaufbereitung konnten durch die Entwicklung neuer Materialien und Techniken, wie beispielsweise die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mittels rotierender Nickel-Titan-Instrumente, enorme Fortschritte erzielt werden. Die momentan zur Verfügung stehende Fülle an effektiven manuellen und maschinellen Aufbereitungstechniken scheint mittlerweile jedoch am Ende ihrer Entwicklung zu sein.

Sowohl das Design als auch das Material manueller und maschineller Aufbereitungssysteme ist nahezu ausgereizt.

Für eine weitere Steigerung der Effizienz der Wurzelkanalbehandlung müssen nun auch die in der Vergangenheit etwas vernachlässigten Teilbereiche, wie zum Beispiel die Füllung des ausgeräumten und aufbereiteten Wurzelkanals, vorangetrieben werden.

Als definitive Wurzelkanalfüllung und somit Abschluss einer endodontischen Behandlung hat sich Guttapercha in Kombination mit einem Versiegelungszement (Sealer) bewährt. Die heute am häufigsten angewandte Applikationsmethode für dieses Material basiert auf Guttaperchastiften, welche entweder durch die Zentralstift- oder Mehrstiftmethode (laterale Kondensation) unter gleichzeitiger Verwendung eines Sealers in den Wurzelkanal eingebracht werden. Zahlreiche Studien belegen, dass es erst durch den Einsatz von Sealern gelingt, die Abschlussdichte der Wurzelkanalfüllung deutlich zu erhöhen [157, 83]. Jedoch erkannte SCHILDER bereits 1967, dass mit dieser Wurzelkanalfüllmethode keine homogene, den Hohlraum des Wurzelkanals vollständig ausfüllende Wurzelfüllung erzielt werden kann [116]. Dies führte insbesondere zur Weiterentwicklung der Wurzelkanalfülltechniken, mit dem Ziel eine „dreidimensionale“ Wurzelkanalfüllung zu erhalten. Durch die chemische Modifikation der Guttapercha mit Chloroform oder Xylol wurde versucht die Wandadaptation der Guttapercha zu verbessern [116, 158]. Die gewünschte Dichtigkeit insbesondere im apikalen Bereich konnte jedoch mit diesen Methoden nicht erreicht werden [110, 70]. Ein anderer Weg führte zur Entwicklung von thermoplastischen Methoden zur Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha, wie beispielsweise die „warme Einstiftmethode“ (Thermafil, Tulsa Dental Products) [67] oder die thermoplastischen Injektionsmethoden (Obtura, Unitek oder Ultrafil, Hygienic Corp) [154, 93]. Diese thermoplastischen Wurzelkanalfüllmethoden führen hinsichtlich des apikalen Verschlusses des Wurzelkanals zu besseren Ergebnissen als die herkömmlichen Wurzelkanalfüllungen [13].

Trotz all dieser Verbesserungen hinsichtlich der Forderung nach einer „dreidimensionalen“ Füllung des Wurzelkanals darf nicht vergessen werden, dass es sich bei der Guttapercha nicht um einen idealen Werkstoff mit herausragenden Eigenschaften handelt. Die nach wie vor gültigen Richtlinien, welche bereits 1940 von GROSSMAN [42] an ein ideales Wurzelkanalfüllmaterial gestellt wurden, können, insbesondere in Bezug auf die Fähigkeit den Wurzelkanal abzudichten, von Guttapercha alleine nicht erfüllt werden. Die Abdichtung eines Wurzelkanals erfolgt nur bei gleichzeitiger Verwendung eines Sealers. Die Guttapercha erfüllt lediglich die Funktion, den Sealer gleichmäßig auf der Wurzelkanalwand zu verteilen

und die Menge des Sealers möglichst gering zu halten, um die unvermeidliche Schrumpfung des Sealers bei seiner Aushärtung zu minimieren. Hinzu kommt, dass eine typische Schwachstelle solcher aus zwei Partnern bestehenden Wurzelkanalfüllungen der Verbund zwischen Sealer und Guttapercha darstellt. In zahlreichen Studien konnten Spaltbildungen zwischen Guttapercha und Sealer beobachtet werden [122, 33]. Darüberhinaus zeigen neuere Studien, wie beispielsweise von MILETIĆ 2002 [95], dass Wurzelkanalfüllungen mit Guttapercha trotz Verwendung eines Sealers eine Bakterien- und Pilzpenetration im apikalen Bereich nicht verhindern können.

Zusammenfassend wird deutlich, dass auf dem Gebiet der Wurzelkanalfüllung, sicherlich auch durch die enormen Fortschritte der Wurzelkanalaufbereitung vorangetrieben, vor allem die Techniken und Applikationsmethoden einer Guttapercha-Sealer-Wurzelkanalfüllung zahlreiche Weiterentwicklungen erfahren haben. In Bezug auf die verwendeten Materialien konnte jedoch die seit über 100 Jahren währende Vorherrschaft von Guttapercha im Wurzelkanal noch nicht beendet werden [111].

Die in den letzten Jahren entwickelten Wurzelfüllmaterialien auf Komposit-Basis, wie zum Beispiel Epiphany (Pentron Clinical Technologies, USA) oder auch EndoREZ (Ultradent Products, USA), zeugen vom Versuch, auch den Wurzelfüllmaterialien eine Neu- und Weiterentwicklung beikommen zu lassen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Anwendbarkeit und Versiegelungseigenschaft des kunststoffbasierten Sealers EndoREZ (Ultradent Products, USA) im Rahmen einer in vitro-Untersuchung beurteilt werden.

2. GRUNDLAGEN DER WURZELKANALBEHANDLUNG

2.1. Allgemeiner Überblick

Die Wurzelkanalbehandlung stellt eine der ältesten Therapiemaßnahmen in der Zahnerhaltung dar. Ihre Ziele sind die Schmerzbeseitigung bei akuten Formen der Pulpitis und apikaler Parodontitis, sowie der langfristige Erhalt eines solchen erkrankten Zahnes als vollständig funktionsfähige Kaueinheit.

Am Beginn der Wurzelkanalbehandlung steht die Wurzelkanalaufbereitung, wodurch eine möglichst umfassende Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems erfolgen soll. Die abschließende Wurzelkanalfüllung dient der wandständigen und bakteriendichten Versiegelung des Endodonts. Für den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist die vollständige Obturation des Wurzelkanalsystems entscheidend, welche eine bakterielle Rekolonisation verhindern soll [21, 141].

Als Ursache für einen endodontischen Misserfolg werden in den meisten Fällen persistierende oder rezidivierende endodontale Reinfektionen verantwortlich gemacht [99, 98, 124]. Dabei können grundsätzlich intraradikuläre und extraradikuläre Infektionen unterschieden werden [123]. Im Zusammenhang mit intraradikulären Reinfektionen wird neben der inadäquaten Wurzelkanalaufbereitung mit unvollständiger Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals insbesondere auch die unzureichende Obturation des Wurzelkanalsystems als häufige Ursache für den endodontischen Misserfolg angesehen [132, 88, 89].

Die für einen endodontischen Erfolg notwendige suffiziente Aufbereitung und Füllung eines Wurzelkanals wird durch die spezielle Morphologie des Wurzelkanalsystems erschwert [23]. So besteht das System „Wurzelkanal“ nicht nur aus einem Hauptkanal, sondern es besitzt daneben zahlreiche von ihm ausgehende Seitenkanäle und Anastomosen [71, 92] (Abbildung 1, S. 5).

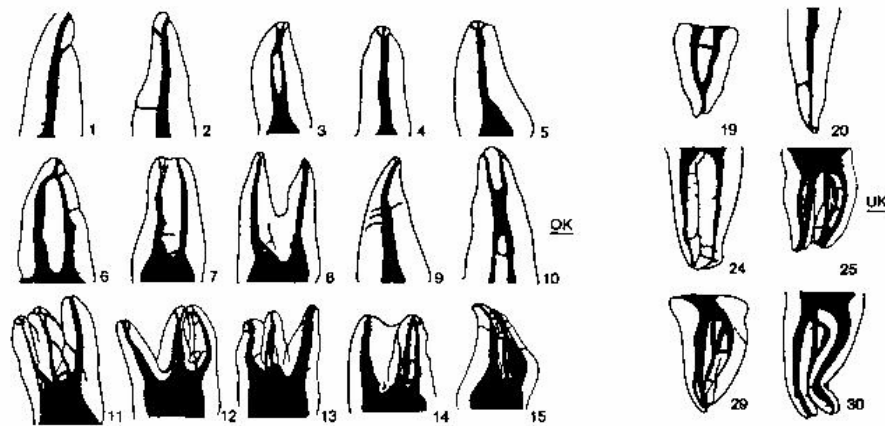


Abbildung 1: Beispiele für die Komplexität des Wurzelkanalsystems

Für den Erfolg einer endodontischen Behandlung sind somit sicherlich mehrere Faktoren entscheidend. Neben der praktischen Erfahrung des Zahnarztes auf dem Gebiet der Endodontologie und dem Wissen über die Besonderheiten der Zahnmorphologie müssen die einzelnen Schritte der Wurzelkanalbehandlung aufeinander abgestimmt sein. Aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Methoden und Materialien zur Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung muss der Zahnarzt ein für die jeweilige Situation stimmiges Behandlungskonzept erstellen.

2.2. Wurzelkanalaufbereitung

2.2.1. Allgemeiner Überblick

Die Wurzelkanalaufbereitung stellt einen wesentlichen Bestandteil der Wurzelkanalbehandlung dar. Erst durch eine adäquate Aufbereitung des Wurzelkanals werden die Voraussetzungen für eine Obturation des Kanalsystems geschaffen.

Mit der Wurzelkanalaufbereitung sind folgende Ziele verbunden [32, 86, 138]:

- Entfernung des vitalen und nekrotischen Pulpagewebes
- Eliminierung der Mikroorganismen
- Beibehaltung des originären Wurzelkanalverlaufs
- vollständige Aufbereitung des kompletten Wurzelkanals bis zum Foramen physiologicum
- Schaffung einer von apikal nach koronal konischen Form des Wurzelkanals
- Erhalt der apikalen Konstriktion

Zusammengefasst stellen die Reinigung und Formgebung des Wurzelkanals die wesentlichen Aufgaben einer Wurzelkanalaufbereitung dar, wodurch ein Zustand größtmöglicher Keimarmut geschaffen wird. Um diese Aufgaben zu erfüllen, werden mechanische und chemische Aufbereitungsmethoden miteinander kombiniert.

2.2.2. Mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Die mechanische Wurzelkanalaufbereitung kann in zwei Hauptgruppen unterteilt werden. Auf der einen Seite steht die manuell-mechanische Aufbereitung mittels Handinstrumenten, auf der anderen Seite die maschinell-mechanische Aufbereitung mittels maschinell betriebener Instrumente. Beide Arten sind jedoch nicht vollkommen getrennt voneinander zu sehen. Vielmehr werden beide oftmals in Form einer Hybridtechnik miteinander kombiniert.

2.2.2.1. Manuell-mechanische Aufbereitung

Die manuell-mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals stellt die klassische Variante der Wurzelkanalaufbereitung dar. Zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung stehen zahlreiche verschiedene Instrumententypen aus unterschiedlichen Legierungen, wie beispielsweise Edelstahl und Nickel-Titan, zur Verfügung [112, 113]. Die gängigsten manuellen Wurzelkanalinstrumente sind die aus Chrom-Nickel-Edelstahl gefertigten Reamer, K-Feilen und Hedström-Feilen (Abbildung 2, S. 7). Diese Instrumente unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Geometrie und in ihrer der geometrischen Form zugrunde liegenden Arbeitsweise [113, 138].

Reamer werden aus einem dreieckigen oder quadratischen Rohling durch Verdrillung oder Fräsung hergestellt. Auf Grund ihres Schneidekantenwinkels von $<45^\circ$ erlauben sie eine drehende Arbeitsweise im Wurzelkanal.

K-Feilen werden ebenso aus einem dreieckigen oder quadratischen Rohling durch Verdrillung oder Fräsung hergestellt. Ihr Schneidekantenwinkel beträgt ebenfalls $<45^\circ$. Die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit ist im Vergleich zu den Reamern jedoch größer, wodurch sich auch der Schneidekantenwinkel vergrößert. Somit ist für diesen Instrumententyp sowohl eine drehende als auch feilende Arbeitsweise im Wurzelkanal möglich.

Hedström-Feilen werden aus runden Rohlingen durch Fräsung hergestellt. Ihr Schneidekantenwinkel von $>45^\circ$ erfordert eine feilende Bewegung im Wurzelkanal. Unter

den Handinstrumenten weisen sie die höchste Schneidleistung aber auch die größte Frakturanfälligkeit auf.

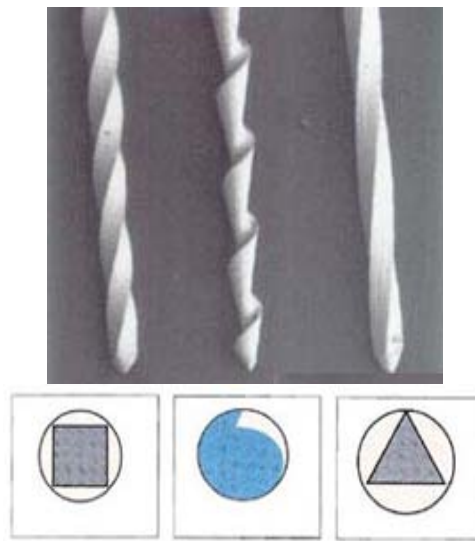


Abbildung 2: Verschiedene Handinstrumente mit Querschnitt (v. l. n. r.):
K-Feile, Hedström-Feile, Reamer

Um möglichst alle Ziele der Wurzelkanalaufbereitung zu erfüllen, müssen insbesondere bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mehrere Instrumententypen miteinander kombiniert werden [21, 80, 55].

Neben dieser großen Auswahl an Handinstrumenten stehen dem Behandler auch zahlreiche verschiedene Aufbereitungstechniken zur Verfügung. Insbesondere zunehmende Kanalkrümmungen und abnehmende Krümmungsradien erschweren es, einen Wurzelkanal formgerecht zu erweitern und ihn gleichzeitig weitestgehend von Geweberesten zu befreien [55, 115]. Grundsätzlich können diese vergleichsweise komplizierten Aufbereitungstechniken zum einen hinsichtlich des drehenden oder feilenden Einsatzes der Instrumente und zum anderen nach der Richtung der Erweiterung des Kanals von koronal nach apikal bzw. von apikal nach koronal unterschieden werden [113]. Einige der bekanntesten Aufbereitungstechniken sind in Tabelle 1 (S. 8) aufgeführt.

<i>Arbeitsweise</i>	<i>Aufbereitungsrichtung</i>	<i>Aufbereitungstechnik</i>	<i>Beschrieben von</i>
Teilweise drehend	Von apikal nach koronal	Step-back Balanced-force	CLEM (1969) [20] ROANE et al. (1985) [109]
	Von koronal nach apikal	Crown-down Crown-down-pressureless	GOERIG et al. (1982) [39] MORGAN und MONTGOMERY (1984) [97]
Teilweise feilend	Von apikal nach koronal	Circumferential-filing Anticurvature-filing	ABOU-RASS et al. (1980) [2]
	Von koronal nach apikal	Korono-apikale Technik	GRIESINGER et al. (1993) [41]

Tabelle 1: Übersicht über Aufbereitungstechniken auf Grundlage der manuellen Arbeitsweise

Trotz dieser verschiedensten Instrumente und Aufbereitungstechniken gelingt es nicht, sämtliche Anteile der Kanalwand zu bearbeiten [138, 46].

2.2.2.2. Maschinell-mechanische Aufbereitung

Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Anstrengungen unternommen, maschinelle Hilfsmittel zur Aufbereitung des Wurzelkanals zu entwickeln, um dem Behandler die mühsame und zeitaufwendige Arbeit mit Handinstrumenten zu erleichtern.

Hierbei handelt es sich um „Wurzelkanalbohrer“ unterschiedlicher Legierungen, welche durch spezielle Endodontie-Winkelstücke angetrieben werden. Das als erstes bekannt gewordene Gerät wurde bereits 1899 von ROLLINS entwickelt [94]. Jedoch erst mit dem 1964 eingeführten Giromatic-Systems erreichte die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung einen höheren Bekanntheitsgrad.

Bei den meisten nachfolgenden Endodontie-Winkelstücken handelt es sich um mehr oder weniger umfassende Modifikationen des Giromatic-Systems, bei welchen der starre Bewegungsablauf und die Art der einzuspannenden Instrumente verändert wurden.

Durch die Entwicklung und den Einsatz von veränderten (Flexistahl) und neuen Materialien (Nickel-Titan) konnte die maschinelle Bearbeitung des Wurzelkanals zusätzlich unterstützt, erleichtert und verbessert werden. Den großen Nachteil der aus Edelstahl gefertigten Handinstrumente, welche insbesondere bei der Aufbereitung von gekrümmten Kanälen auf Grund ihrer Rigidität zu Aufbereitungsfehlern in Form von Begradigungen des ursprünglichen Kanalverlaufs führen, zeigen diese neueren Instrumente aus Flexistahl beziehungsweise Nickel-Titan nicht.

Vor allem die aus Nickel-Titan hergestellten Instrumente zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität aus, was die Aufbereitung gekrümmter Kanäle erheblich erleichtert und klassische Aufbereitungsfehler verhindert [62]. Gegenüber den konventionellen Handinstrumenten unterscheiden sich diese maschinell verwendeten Nickel-Titan-Instrumente hinsichtlich ihrer Querschnittsform. Sie bestehen aus einer Abfolge von passiven Anlagerungsflächen an die Kanalwand, die das Instrument im Wurzelkanal zentrieren sollen, und aktiv schneidenden Bereichen. Um Stufenbildungen innerhalb des Wurzelkanals zu vermeiden, sind die Instrumentenspitzen meist abgerundet (Batt-Spitze) (Abbildung 3, S. 9).

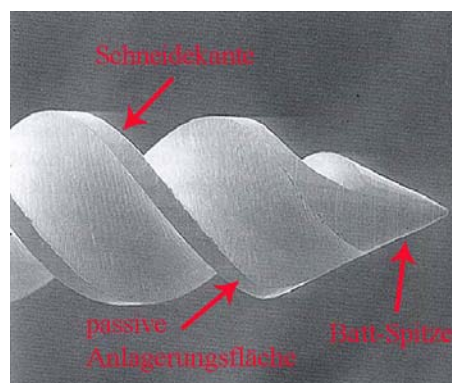


Abbildung 3: Arbeitsspitze eines Nickel-Titan-Instruments (ProFile, Dentsply, Konstanz)

Diese Nickel-Titan-Instrumente werden im Wurzelkanal vollrotierend angewendet, da auf Grund ihrer mechanischen Eigenschaften die Frakturgefahr gegenüber Edelstahlinstrumenten bei dieser Arbeitsweise geringer ist. Trotzdem konnten einige Studien zeigen, dass Nickel-Titan-Instrumente bei vollrotierender Arbeitsweise ein im Vergleich zu den herkömmlichen Handinstrumenten größeres Frakturrisiko aufweisen [9, 136]. Auf Grund dieser vergleichsweise erhöhten Frakturgefahr wird die Rotation dieser vollrotierend angewandten Nickel-Titan-Instrumente mittels spezieller Winkelstücke (u.a. Tri Auto ZX, Morita, D-Dietzenbach) beziehungsweise computergesteuert (u.a. Endo-Stepper, SET, D-Emmering)

drehmomentabhängig limitiert. Hieraus resultiert eine deutlich gesteigerte Aufbereitungssicherheit mit geringerem Frakturrisiko [136].

Neben den rotierend und feilend arbeitenden Systemen stehen dem Behandler zusätzlich schwingende Systeme zur Verfügung. Hierbei wird zwischen den Schallgeräten mit einer Frequenz zwischen 1.500-6.500 Hz und den Ultraschallgeräten mit einer Frequenz zwischen 20.000-40.000 Hz unterschieden. In zahlreichen Studien konnte nur eine ungenügende Formgebung des Wurzelkanals mittels dieser schwingenden Systeme nachgewiesen werden [49, 86, 131, 136]. Sie sind somit zur Formgebung des Wurzelkanals nicht geeignet. Demgegenüber führen diese schwingenden Instrumente zu einer Steigerung der Effizienz der intrakanalären Spüllösungen. Somit liegt ihr Anwendungsbereich vor allem in der Unterstützung der chemo-mechanischen Wurzelkanalaufbereitung [17, 45, 125].

<i>Antriebsart</i>	<i>Arbeitsweise</i>	<i>System und Hersteller</i>
Rotation	winkel-begrenzte Rotation	Giromatic (Micro Mega, Oberursel)
	vollständige Rotation	ProFile (Dentsply, Konstanz) Flexmaster (VDW, München) Hero 642 (Micro Mega, Oberursel)
Hubbewegung	feilend	Canal-Leader (SET, Emmering)
Schwingung	Schwingungen im Schallbereich	Excalibur (W&H, A-Bürmoos)
	Schwingungen im Ultraschallbereich	Piezon-Master (EMS, Schweiz)

Tabelle 2: Einteilung maschineller Aufbereitungssysteme nach der Antriebsart

Trotz dieser großen Bandbreite an maschinellen Hilfsmitteln konnten zahlreiche Arbeiten zeigen, dass maschinelle Aufbereitungssysteme hinsichtlich der Formgebung, der Reinigungswirkung und der Arbeitssicherheit der manuellen Wurzelkanalaufbereitung im Allgemeinen unterlegen sind [38, 44, 60, 61]. Somit können die maschinellen Aufbereitungssysteme nach wie vor die manuelle Wurzelkanalaufbereitung nicht vollständig ersetzen. Vielmehr dienen sie als Ergänzung zu den traditionellen Techniken und werden in Form einer Hybridtechnik mit diesen kombiniert.

2.2.3. Smear layer

Als Folge der mechanischen Bearbeitung des Wurzelkanals entsteht auf der Oberfläche des Kanals eine Schmierschicht. Die Bestandteile dieser als *smear layer* bezeichneten Schicht sind neben zermahlenem Dentinabrieb Reste des Pulpagewebes, Prädentin und Odontoblastenfortsätze. Bei einem Zahn mit infizierter Pulpa enthält er darüberhinaus Bakterien [106, 121, 76].

Die Dicke dieses *smear layer* beträgt in etwa 1-2 μm . Während der Instrumentation des Wurzelkanals werden Teile der Schmierschicht 5-40 μm tief in die Dentintubuli hineingepresst [106, 87].

Der Effekt und Einfluss dieses von MCCOMB & SMITH 1975 [90] erstmals in der Endodontie beschriebenen *smear layer* wird kontrovers diskutiert. Aus klinischer Sicht erscheint insbesondere problematisch, dass trotz intensiver Desinfektionsmaßnahmen Bakterien sowohl im *smear layer* als auch in den Dentintubuli verbleiben können [15]. Ob der *smear layer* andererseits ein Eindringen von Mikroorganismen in die Dentinkanälchen zu verhindern vermag, wird in der Literatur gegensätzlich diskutiert [30, 85, 19].

Uneinigkeit herrscht vor allem über die Qualität der Wurzelkanalfüllung in An- bzw. Abwesenheit des *smear layer*. Durch die Verbolzung der Dentintubuli soll es zu einer gewissen Versiegelung der Wurzelkanaloberfläche kommen, welche ein Nachsickern von Feuchtigkeit aus den Dentinkanälchen verhindern soll. Die somit erhaltene trockene und glatte Kanalwand stellt nach Ansicht einiger Autoren eine Voraussetzung für eine wanddichte Wurzelkanalfüllung dar [80]. Andere Studien zeigen dagegen, dass die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen nicht allein vom Vorhandensein bzw. Fehlen dieser Schmierschicht abhängt, sondern vielmehr die Kombination von *smear layer* und der jeweils verwendeten Wurzelkanalfüllung darüber entscheidet [140]. Im Gegensatz dazu vertreten andere Autoren die Ansicht, dass der *smear layer* die Haftung der Füllmaterialien auf der Dentinoberfläche des Wurzelkanals reduziert [37], das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli erschwert [145, 146, 79] und zu einer geringeren Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung führt [72, 108]. Eine eindeutige Aussage über die klinische Relevanz des *smear layer* bleibt demzufolge abzuwarten.

2.2.4. Chemische Wurzelkanalaufbereitung

Die mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals soll hinsichtlich der Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems durch die chemische Wurzelkanalaufbereitung unterstützt werden. Hierbei kommt es während der Instrumentierung des Kanalsystems zu einer intermittierenden Wurzelkanalspülung mittels geeigneter Spülmittel. Neben dem im Vergleich zur alleinigen mechanischen Wurzelkanalaufbereitung deutlich gesteigerten Reinigungseffekt [8] wird durch die Anwendung einer Wurzelkanalspülung auch die Gefahr einer Instrumentenfraktur deutlich reduziert [43, 31] und die Schneideleistung der Instrumente erhöht [138]. Darüberhinaus besitzen einige Spüllösungen eine antimikrobielle und gewebelösende Wirkung.

Die Ziele einer Wurzelkanalspülung können wie folgt zusammengefasst werden [59]:

- Desinfektion des Wurzelkanals
- Ausschwemmung von nekrotischem Pulpagewebe und Dentinspänen
- gewebelösende Wirkung
- keine Schädigung des periapikalen Gewebes
- Reduktion der Gefahr einer Instrumentenfraktur
- Erhöhung der Schneideleistung der Wurzelkanalinstrumente

Als Wurzelkanalspülung stehen dem Zahnarzt zahlreiche Lösungen verschiedenster Konzentrationen zur Verfügung. Die gebräuchlichsten Spüllösungen sind NaOCl, H₂O₂, EDTA, Chlorhexidindigluconat und physiologische Kochsalzlösung. Trotz ihrer unterschiedlichen Eigenschaften ist ihnen gemein, dass ihre Effizienz vom Durchmesser und der Länge des mechanisch aufbereiteten Wurzelkanals abhängt. Die Wirkung der Wurzelkanalspülung entfaltet sich nur in den Bereichen des Wurzelkanals, zu welchen die Lösung Kontakt aufzunehmen vermag. Darüberhinaus ist ihre Effektivität von Konzentration, Temperatur, Einwirkzeit und Applikationsart abhängig [3]. Die in dieser Arbeit verwendeten Spüllösungen werden im Folgenden näher beschrieben.

Natriumhypochlorid (NaOCl) stellt das am häufigsten verwendete chemische Agens in der Endodontie dar. Neben seiner antibakteriellen Wirkung besitzt es die Fähigkeit, nekrotisches Material und Pulpagewebe aufzulösen [59, 47, 16]. Beide Eigenschaften steigen mit zunehmender Konzentration und Einwirkzeit. Die Entfernung des bei der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals entstehenden *smear layer* gelingt mit NaOCl als alleinige Wurzelkanalspülung nicht [12]. Über die ideale Konzentration von NaOCl herrscht in der

Literatur keine einheitliche Meinung. Im Allgemeinen wird eine Konzentration zwischen 0,5 % und 5,25 % empfohlen.

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) ist ein organischer Chelator, welcher mit Kalziumionen wasserlösliche Metallkomplexe bildet. Hierdurch kommt es zu einer Demineralisation von anorganischen Substanzen. Die entmineralisierende Wirkung des EDTA erleichtert vor allem die Aufbereitung enger beziehungsweise stark kalzifizierter Wurzelkanäle. Darüberhinaus besitzt es eine gewisse antibakterielle Wirkung gegenüber alpha-hämolyzierender Streptokokken und *Staphylococcus aureus* bei gleichzeitig geringer Zytotoxizität [59, 105]. Durch eine Kombination von EDTA und NaOCl kommt es zur vollständigen Entfernung des *smear layer* [100].

Chlorhexidindigluconat (CHX) wird in Konzentrationen von 0,1 - 2,0 % als Wurzelkanalspülung verwendet. Bereits 0,12 - 1,0 %ige Lösungen führen zu einer deutlichen Keimreduktion [155], welche durch höhere Konzentrationen von CHX noch gesteigert werden kann [27, 66]. Hinsichtlich der notwendigen Konzentration einer zur chemischen Wurzelkanalaufbereitung verwendeten CHX-Lösung liegen in der Literatur bislang keine einheitlichen Empfehlungen vor. Jedoch erwies sich in einigen Studien CHX bereits in geringeren Konzentrationen als 2,0 % gegenüber den am häufigsten in infizierten Wurzelkanälen vorhandenen Mikroorganismen als wirksam [114, 22]. Die antibakterielle Wirksamkeit ist mit der von NaOCl vergleichbar [101, 53]. Im Gegensatz zu NaOCl besitzt es jedoch keinen gewebe lösenden Effekt.

Die Effizienz einer Wurzelkanalspülung kann durch die Kombination verschiedener Spüllösungen verbessert werden, da hierdurch die zum Teil unterschiedlichen positiven Eigenschaften der einzelnen Agenzien gemeinsam zum Tragen kommen.

2.3. Wurzelkanalfüllung

2.3.1. Allgemeiner Überblick

Der durch die Wurzelkanalaufbereitung geschaffene Zustand der größtmöglichen Keimarmut muss durch einen dauerhaft hermetischen und bakteriendichten Verschluss des gesamten Wurzelkanalsystems konserviert werden. Hierdurch soll eine Reinfektion des Wurzelkanals sowohl von koronal als auch von apikal her verhindert werden [45, 51, 144]. Die Wurzelkanalfüllung stellt somit den Abschluss der Wurzelkanalbehandlung dar.

Zur Obturation des Wurzelkanals wird eine Vielzahl von Materialien angeboten. Ihre Eignung richtet sich nach den folgenden Anforderungen, die an ein ideales Wurzelkanalfüllmaterial gestellt werden [42, 45]:

- leicht anmischbar
- leicht einführbar
- langsam erhärtend
- volumenbeständig
- wandständig
- nicht porös
- nicht resorbierbar
- nicht zahnverfärbend
- radioopak
- steril bzw. sterilisierbar
- biokompatibel
- leicht entfernbar

Bis heute gibt es jedoch kein Wurzelkanalfüllmaterial, das sämtliche dieser Anforderungen erfüllt.

Die zur Füllung des Wurzelkanals verwendeten Materialien lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen. Auf der einen Seite die Wurzelkanalfüllpasten (Sealer), welche im plastischen Zustand in den Kanal eingebracht werden und dort erhärten, auf der anderen Seite die Wurzelkanalfüllstifte (WF-Stifte), die mehr oder weniger fest sind und in Form von konischen Stiften angeboten werden.

Eine rein aus Wurzelkanalfüllstiften bestehende Wurzelfüllung ist nicht in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft dicht zu verschließen. Insbesondere Seitenkanäle, Anastomosen oder sonstige Besonderheiten der Wurzelkanalanatomie stellen Problemfälle für eine solche Wurzelkanalfüllung dar. Zudem führt die Inkongruenz zwischen der Form des Kanalsystems und der des Kernmaterials unweigerlich dazu, dass ohne die Anwendung eines Sealers stets unzureichend abgedichtete Wurzelkanalbereiche verbleiben [157, 83, 133, 126].

Ebenso schlechte Ergebnisse liefern bislang Wurzelkanalfüllungen, bei welchen ein Sealer als alleiniges Füllmaterial verwendet wird [144, 56]. Eine typische Materialeigenschaft der Wurzelkanalfüllpasten ist ihre Volumenänderung beim Aushärten. Hieraus resultieren ungenügende Wandständigkeiten [26, 149].

Schlussendlich lässt sich aus diesen Beobachtungen die heute gültige Empfehlung für die Wurzelkanalfüllung ableiten, die aus einem volumenbeständigen Kernmaterial und einer erhärtenden Wurzelkanalfüllpaste bestehen soll. Als Kernmaterial dient eine unterschiedliche Anzahl von WF-Stiften. Sie haben die Aufgabe, den Sealer gleichmäßig auf die Wurzelkanalwand zu verteilen, und dabei die Menge des Sealers möglichst gering zu halten, um seine unvermeidliche Schrumpfung bei der Aushärtung zu minimieren. Der Sealer soll auf der anderen Seite die Inkongruenzen zwischen der Form des Wurzelkanals und jener des volumenstabilen Kernmaterials ausfüllen [45, 51, 56, 138]. Weichbleibende Wurzelkanalfüllpasten sind als Bestandteil einer definitiven Wurzelkanalfüllung abzulehnen, da sie löslich sind und vom vitalen Gewebe resorbiert werden [102, 144].

Neben dieser Fülle an Materialien bieten sich dem Behandler verschiedenste Techniken ihrer Applikation in den Wurzelkanal. Die Wahl der jeweiligen Wurzelkanalfülltechnik wird von der Art und Form des zu behandelnden Kanals und der jeweils angewandten Aufbereitungstechnik bestimmt. Aus diesem Grund sollte der Zahnarzt mehrere dieser unterschiedlichen Techniken beherrschen.

2.3.2. Materialien

2.3.2.1. Wurzelkanalfüllstifte (WF-Stifte)

Wurzelkanalfüllstifte werden bei zahlreichen Wurzelkanalfülltechniken als volumenstabiles Kernmaterial einer Wurzelkanalfüllung eingesetzt. Sie können in feste und halbfeste WF-Stifte unterteilt werden und bestehen entweder aus Guttapercha oder Metall [138, 144].

Guttapercha-Stifte stellen halbfeste WF-Stifte dar. Diese mittlerweile in verschiedenen Konizitäten erhältlichen Stifte sind entsprechend der Größe von Wurzelkanalinstrumenten normiert. Die Bestandteile dieser WF-Stifte sind Guttapercha (19 - 45 m%), Zinkoxid als Füllkörper (33 - 61,5 m%), Wachse oder Harze als Weichmacher (1,0 - 4,1 m%), Farbpigmente (1,3 - 3,4 m%) und einige Spurenelemente (unter 1 m%; u.a. Cd, Cu, Fe, S, Ti) [34, 57, 52]. Guttapercha wird seit über einem Jahrhundert in der Wurzelkanalbehandlung verwendet [111] und ist seitdem das weltweit bekannteste und gebräuchlichste Wurzelfüllmaterial. Chemisch handelt es sich hierbei um ein trans-Isomer des 1,4-Poly-Isoprens, das mit Naturkautschuk (cis-Isomer des 1,4-Poly-Isoprens) verwandt ist. Die Biokompatibilität der Guttapercha-Stifte ist als gut zu bewerten, wobei eine gewisse Zytotoxizität beschrieben wurde, die wahrscheinlich auf das in diesen WF-Stiften enthaltene Zinkoxid zurückzuführen ist [135, 104]. Darüberhinaus nehmen sie in gewissem Maße eine Zwischenstellung zwischen den WF-Stiften und den Sealern ein, da sie nach Erweichung durch Wärmezufuhr oder durch organische Lösungsmittel wie Eukalyptol, Xylol oder Chloroform auch als plastisches Material verwendet werden können.

Neben diesen halbfesten Stiften werden feste WF-Stifte aus Silber oder Titan angeboten. Auf Grund ihrer Steifigkeit besitzen sie gegenüber den Guttapercha-Stiften einen Vorteil bei der Füllung enger und gekrümmter Kanäle [44, 58]. Ihr großer Nachteil ist jedoch, dass sie sich im Wurzelkanal nicht kondensieren lassen. Somit wird eine große Menge an Sealer benötigt, um die Inkongruenzen zwischen WF-Stift und Wurzelkanal aufzufüllen. Wegen der Abbindekontraktion von WF-Pasten steigt folglich die Wahrscheinlichkeit von Randundichtigkeiten. Hieraus resultiert im Vergleich zur Anwendung von Guttapercha-Stiften zumeist eine deutlich schlechtere Abdichtung der Wurzelkanäle [58, 51]. Ein weiterer Nachteil ist die im Falle einer indizierten Revision erschwerte oder teilweise sogar unmögliche Entfernung einer aus festen WF-Stiften bestehenden Wurzelkanalfüllung [144]. Insbesondere WF-Stifte aus Silber zeigen bei Kontakt mit Gewebsflüssigkeit ein Korrosionsverhalten. Derartige Korrosionsprodukte sind zytotoxisch und stellen häufig die

Ursache für akute und / oder chronische Entzündungsreaktionen im periapikalem Gewebe dar [48, 161].

Fasst man die geschilderten Aspekte zu den WF-Stiften zusammen, so erscheinen Guttapercha-Stifte den festen WF-Stiften aus Metall oder Titan nach wie vor überlegen.

2.3.2.2. Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Für den definitiven Verschluss des Wurzelkanals kommen ausschließlich erhärtende Wurzelkanalfüllpasten in Frage. Weich bleibende Wurzelkanalfüllpasten besitzen den Nachteil, dass sie löslich sind und vom vitalen Gewebe resorbiert werden. Sie sind somit zur Obturation des Wurzelkanals weder alleine noch in Kombination mit einem volumenstabilen Kernmaterial geeignet [102, 144]. Darüberhinaus sind aber auch erhärtende Sealer bislang nicht als alleiniges Wurzelfüllmaterial in der Lage den Wurzelkanal dauerhaft hermetisch und bakteriendicht auszufüllen [144, 56]. Ihnen kommt lediglich die Aufgabe zu, Inkongruenzen zwischen der Form der Wurzelkanalwand und jener des Kernmaterials auszufüllen [45, 51, 56, 138]. Die Menge des Sealers sollte möglichst gering gehalten werden, da fast alle Sealer eine Abbindekontraktion zeigen. Hieraus resultiert insbesondere bei größerem Sealer-Volumen eine ungenügende Wandständigkeit der Wurzelfüllung [149].

Derzeit stehen dem Zahnarzt zahlreiche erhärtende Wurzelkanalfüllpasten zur Verfügung, die sich anhand ihrer Zusammensetzung in verschiedene Gruppen unterteilen lassen (Tabelle 3, S. 18).

<i>Basis</i>	<i>Präparate und Hersteller</i>
Zinkoxid-Eugenol	TubliSeal (Kerr, Karlsruhe) Aptal-Harz (Speiko, Münster)
Zinkoxid-Eugenol + Medikamentenzusatz	Endomethasone N (Pharma-Dental, Bonn)
Epoxidharz	AH26 (DeTrey Dentsply, Konstanz) AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)
Methacrylat	Hydron (Hydron Canada)
Polyketon	Diaket (Espe, Seefeld)
Polydimethylsiloxan	RSA Roeko Seal Automix (Roeko, Langenau)
Kalziumsalicylat	Apexit (Vivadent, Ellwangen) Sealapex (Kerr, Karlsruhe)
Glasionomer-Zement	Ketac-Endo (Espe, Seefeld)

Tabelle 3: Auswahl einiger Produkte aus den verschiedenen Gruppen erhärtender Wurzelkanalfüllpasten

Aus heutiger Sicht wird vor allem von den Wurzelkanalfüllpasten mit Medikamentenzusätzen zunehmend Abstand genommen. Als Medikamentenzusatz wird ein Desinfizenz, zumeist Paraformaldehyd, und / oder ein Antiphlogistikum (Kortikosteroide) verwendet. Der Einsatz dieser Zusätze wird wegen ihrer lokalen und systemischen Nebenwirkungen zunehmend kritisch bewertet [138, 144]. WF-Pasten mit Medikamentenzusätzen haben in der modernen Endodontie keinen Stellenwert mehr. Nach den aktuellen Empfehlungen werden sie als absolut obsolet bezeichnet [32, 129].

Unter der Vielzahl der zurzeit angebotenen Sealer stellt AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz), ein Polymer auf Epoxidharz-Basis, den Goldstandard dar [129]. AHPlus ist das Nachfolgeprodukt des 1954 von Schröder vorgestellten AH26 [119]. Das AH26 konnte bereits in der Vergangenheit durch seine gute Dentinhaftung und hohe Abdichtungseigenschaft überzeugen [142, 37]. Ein Nachteil dieses Sealers ist jedoch, dass von dem im AH26 enthaltenen Hexamethylentetraamin beim Aushärten geringe Mengen Formaldehyd abgespalten werden [128]. Dieser für die Formaldehyd-Freisetzung

verantwortliche Inhaltsstoff ist im Nachfolgeprodukt AHPlus nicht mehr enthalten [144, 78]. Neben diesem Vorteil gegenüber AH26 zeigt die Modifikation AHPlus dieselben hervorragenden physikalischen und materialtechnischen Eigenschaften wie sein Vorgänger. Hieraus resultiert für beide Epoxidharze eine vergleichbar gute Versiegelungseigenschaft [28], die zudem der Abdichtungseigenschaft anderer Sealer überlegen ist [24, 10, 84, 83]. Insgesamt sind WF-Pasten auf Epoxidharz-Basis als empfehlenswert einzustufen.

2.3.3. Techniken

Zur Füllung des Wurzelkanals sind in der Literatur zahlreiche Wurzelkanalfülltechniken beschrieben.

Wurzelkanalfüllungen, die aus einem Sealer als alleinigem Füllmaterial bestehen, können trotz ihrer Einfachheit und ihrer raschen Durchführung nicht empfohlen werden. Bei dieser reinen Pastentechnik wird die WF-Paste mittels einer feinen Drahtspirale (Lentulo) in den Wurzelkanal eingebracht. Dreht sich die Spirale im Uhrzeigersinn, so wird das Füllmaterial nach apikal transportiert. Nachteil dieser Wurzelkanalfülltechnik ist die fehlende Kontrollmöglichkeit während des Füllvorgangs. Hieraus resultieren überlange und inhomogene Wurzelfüllungen mit eingeschlossenen Luftblasen. Darüberhinaus kommt es durch die Volumenänderung des Sealers während seiner Aushärtung zu insuffizienten Wandständigkeiten der Wurzelfüllung [26, 149]. Somit sind diese auf einer reinen Pastentechnik basierenden Wurzelfüllungen bislang nicht in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft hermetisch und bakteriendicht zu verschließen [144, 56].

Dem Zahnarzt stehen zahlreiche Wurzelkanalfülltechniken zur Verfügung, die in Abhängigkeit von der Art und Form des zu behandelnden Kanals und der angewandten Aufbereitungstechnik weitestgehend die an eine Wurzelkanalfüllung gestellten Anforderungen erfüllen. Prinzipiell kann zwischen Kalt- und Warmtechniken unterschieden werden (Tabelle 4, S. 20).

	<i>Wurzelkanalfülltechniken</i>
Kalttechniken	Zentralstift-Technik
	laterale Kondensation
Warmtechniken	vertikale Kondensation [116]
	warme Einstiftmethode <i>Thermafil</i> ® [67]
	thermomechanische Kondensation <i>McSpadden-Compactor</i> ® [91]
	thermoplastische Kondensation <i>Obtura</i> ® [154] <i>Ultrafil</i> ® [93]

Tabelle 4: Auswahl einiger Wurzelkanalfülltechniken, eingeteilt nach Kalt- und Warmtechnik

Die Zentralstifttechnik (single cone-Technik) kann als eine Modifikation der reinen Pastenfüllung gesehen werden. Dabei wird neben dem mit einer K-Feile oder mit einem Lentulo in den Wurzelkanal eingebrachten Sealer ein Guttapercha-Stift als volumenstabiles Kernmaterial eingesetzt. Die Form des Stiftes sollte der des aufbereiteten Wurzelkanals möglichst weitgehend gleichen, um die Menge des zur Ausfüllung der Inkongruenzen benötigten Sealers möglichst gering zu halten. Diese Forderung setzt eine standardisierte Aufbereitung des Wurzelkanals voraus, welche nur bei geraden Wurzelkanälen mit rundem Querschnitt möglich ist [52, 107, 159]. Hierdurch wird der Indikationsbereich der Zentralstifttechnik deutlich eingegrenzt. Darüberhinaus führt die Zentralstifttechnik in zahlreichen Dichtigkeitsuntersuchungen zu schlechteren Ergebnissen als andere Wurzelkanalfülltechniken [143]. Als Vorteile dieser Wurzelkanalfülltechnik können sicherlich ihre rasche Durchführbarkeit und Einfachheit genannt werden. Insgesamt jedoch ist die Zentralstifttechnik auf Grund der genannten Nachteile in dieser Form nicht zeitgemäß und akzeptabel.

Unter den Kalttechniken wird als Methode der Wahl im Allgemeinen die laterale Kondensation propagiert, welche sich bereits langjährig im klinischen Alltag bewährt hat [81, 120]. Ihr Ziel ist es, den Wurzelkanal weitestgehend mit einem volumenstabilen

Kernmaterial bei gleichzeitig nur wenig Sealer auszufüllen [45, 52]. Nach der Positionierung des Primärstiftes wird ein Spezialinstrument (Spreader) entlang dieses Guttapercha-Stiftes mit leichtem, apikalwärts gerichtetem Druck in den Wurzelkanal eingeschoben. Es kommt zu einer mechanischen Kondensation der Guttapercha an die Wurzelkanalwand, womit Platz für einen weiteren akzessorischen Guttapercha-Stift geschaffen wird. Dieses Vorgehen wird wiederholt, bis der Kanal mit Guttapercha-Stiften nahezu vollständig gefüllt ist. Durch diese Technik kann der Sealeranteil der Wurzelkanalfüllung deutlich reduziert werden. Der WF-Paste kommt nun lediglich die Aufgabe zu, die verbleibenden Räume zwischen den Stiften und der Kanalwand auszufüllen. Dadurch sinkt der Einfluss des Sealers auf die Qualität der Wurzelkanalfüllung [7]. Im Gegensatz zur Zentralstifttechnik gelingt es mit dieser Mehrstifttechnik auch im Querschnitt ovale oder nierenförmige Wurzelkanäle zuverlässig zu füllen [51]. Die Größe des durch den Spreader ausgeübten Drucks während der lateralen Kondensation der Guttapercha scheint keinen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung zu nehmen [50]. Diese Tatsache erscheint besonders wichtig, da vor allem bei zu großem Kondensationsdruck oftmals vertikale Wurzelfrakturen als Komplikation dieser Wurzelkanalfülltechnik auftreten [52, 54]. Neben dieser schwerwiegenden Komplikation wird als weiterer Nachteil der lateralen Kondensationsmethode der im Vergleich zur Zentralstifttechnik deutlich erhöhte Zeitaufwand gesehen.

Bereits 1967 erkannte SCHILDER, dass mit der lateralen Kondensation keine vollkommen homogene, „dreidimensionale“ Wurzelkanalfüllung zu erzielen ist [117]. Insbesondere konnten auch spezielle Kanalmorphologien, wie beispielsweise interne Granulome, mit den Kalttechniken nur unbefriedigend abgefüllt werden. Diese Tatsachen führten zur Entwicklung verschiedener Warmtechniken (Tabelle 4, S. 20). Sämtliche thermoplastischen Methoden basieren auf der Eigenschaft der Guttapercha, bei Wärmezufuhr zu erweichen und als plastisches Material verwendet werden zu können [45]. Hierdurch ist es möglich, den aufbereiteten Wurzelkanal weitestgehend im Sinne einer „dreidimensionalen“ Wurzelfüllung mit Guttapercha auszufüllen [65, 150, 36]. Allen thermoplastischen Methoden gemein ist jedoch, dass es durch die Abkühlung des erwärmten Füllmaterials im Wurzelkanal zu einer Schrumpfung der Guttapercha kommt [118]. Hieraus resultieren schlechte Wanddichtigkeiten, weshalb diese Warmtechniken ausnahmslos mit einem Sealer kombiniert werden müssen [63, 139]. Als ein weiterer Nachteil der thermoplastischen Verfahren gilt die in der Literatur oftmals beschriebene Gefahr der Überextension der Wurzelkanalfüllung [35, 82, 18]. Bezüglich der Dichtigkeit thermoplastischer Wurzelkanalfüllungen wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Ergebnisse veröffentlicht. Einerseits waren in einigen Studien

Warmtechniken bezüglich ihrer Abdichtungseigenschaft gegenüber der lateralen Kondensation im Vorteil [13, 6]. Andererseits konnte jedoch kein signifikanter Dichtigkeitsunterschied zwischen thermoplastischen und lateral kondensierten Wurzelkanalfüllungen nachgewiesen werden [103, 1, 139]. Auf Grund dieser Vor- und Nachteile konnten die thermoplastischen Wurzelkanalfülltechniken die laterale Kondensation bislang nicht als Standardverfahren im klinischen Alltag ersetzen.

2.4. Dichtigkeitsuntersuchungen

In den letzten Jahrzehnten nahm die Anzahl der in der Literatur veröffentlichten Studien über die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen stetig zu. Dichtigkeitsuntersuchungen sind auch heute noch ein wesentlicher Bestandteil der endodontischen Forschungsarbeit [153]. Ihre Bedeutung beruht sicherlich auf dem Wissen, dass zur Vermeidung von endodontischen Misserfolgen neben einer suffizienten Wurzelkanalaufbereitung auch eine dauerhaft bakteriendichte und hermetische Obturation des Wurzelkanals notwendig ist. Die Korrelation zwischen unvollständig abgefüllten Wurzelkanälen und dem Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung konnte in der Vergangenheit von zahlreichen klinischen Studien belegt werden [4, 137, 96]. In Anbetracht dieser Tatsache scheint die Beurteilung der Passage von Teilchen oder Flüssigkeiten entlang der Wurzelkanalfüllung eine geeignete Methode zur Qualitätskontrolle zu sein.

Zur Untersuchung der Versiegelungseigenschaften von Wurzelkanalfüllmaterialien und -techniken wurden zahlreiche *in vitro*-Methoden beschrieben. Bei den meisten dieser Untersuchungen dient die laterale Kondensation von Guttapercha als Vergleichsgruppe [153]. Grundsätzlich lassen sich semi-quantitative und quantitative Verfahren unterscheiden (Tabelle 5, S. 23).

	<i>Untersuchungsmethoden</i>
semi-quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • lineare Messung der Penetration unterschiedlicher Marker
quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • volumetrische Bestimmung der penetrierten Markermenge durch Spektrophotometrie [29] • elektrochemische Methode [64]

Tabelle 5: Methoden zur Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelkanalfüllungen

Die semi-quantitativen Untersuchungsmethoden basieren auf der Überlegung, dass anhand der Messung einer linearen Markerpenetration entlang einer Wurzelkanalfüllung das Ausmaß der Undichtigkeit der Füllung wiedergegeben werden kann. Als Marker werden verschiedene Farbstoffe, Radioisotope oder Bakterien verwendet [75], wobei sich in den letzten Jahren die Farbstoffe, wie zum Beispiel Fluorescein, Eosin-Rot, India Ink, Silbernitrat oder Methylblau, etabliert haben. Im Rahmen dieser Farbstoffpenetrationstests werden die zu untersuchenden Zähne für eine bestimmte Dauer in eine Farbstofflösung eingelegt. Hierfür wird am häufigsten eine 0,2 – 5 %ige, wässrige Methylblau-Lösung verwendet [153]. Um im Anschluss daran das Ausmaß der Farbstoffpenetration auswerten zu können, muss die Wurzelkanalfüllung mittels verschiedener Methoden sichtbar gemacht werden. Zum einen werden hierfür Längsbrüche oder Querschnitte der Zahnwurzeln angefertigt, zum anderen ermöglicht ein spezielles Verfahren zur Entkalkung der Zähne eine direkte Sicht auf die Wurzelkanalfüllung [134]. Mit der somit ermittelbaren Farbstoffpenetrationstiefe kann indirekt auf die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung geschlossen werden.

Ziel der quantitativen Methoden ist es, Ergebnisse zu erhalten, mit welchen eine direkte Aussage bezüglich der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen getroffen werden kann. Hierfür werden das Volumen des penetrierten Markers oder der entlang der Wurzelfüllung fließende Strom quantitativ bestimmt [153]. Da die Ergebnisse dieser wesentlich aufwendigeren Untersuchungen weitestgehend mit denen der semi-quantitativen Methoden korrelieren, konnten sie den klassischen Farbstoffpenetrationstest als Standardverfahren zur Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung nicht verdrängen.

2.5. Ziel der Studie

Neue Entwicklungen in der Endodontologie verfolgen das Ziel, die Effizienz und Erfolgsaussicht einer Wurzelkanalbehandlung zu verbessern. Die Tauglichkeit neuer Materialien oder Techniken auf dem Gebiet der Wurzelkanalfüllung hängt vor allem von ihrer Eigenschaft ab, den Wurzelkanal dauerhaft hermetisch und bakteriendicht abzuschließen. Darüberhinaus ist ihr klinischer Erfolg sicherlich in Abhängigkeit einer sinnvollen Relation von Kosten, Zeitaufwand und Nutzen zu sehen.

Im Rahmen dieser *in vitro*-Studie sollte ein neuer kunststoffbasierter Wurzelkanalsealer bezüglich seiner Eignung und Möglichkeiten zur Wurzelkanalfüllung bewertet werden. Hierfür wurden an extrahierten Zähnen orthograde Wurzelkanalfüllungen angefertigt, deren Dichtigkeit durch einen Farbstoffpenetrationstest mit Methylblau untersucht wurde. Drei verschiedene Wurzelkanalfülltechniken wurden im Vergleich eingesetzt. Neben der klassischen Kaltmethoden mit Guttapercha (laterale Kondensation) kamen die Zentralstifttechnik und die reine Pastentechnik zur Anwendung. Als Vergleichsgruppe diente die auch in der Fachliteratur zurzeit als Goldstandard geltende laterale Kondensation von Guttapercha mit einem Epoxidharz als Sealer.

Weiteres Interesse galt neben der Beurteilung der Versiegelungseigenschaften dieses neuen kunststoffbasierten Sealers insbesondere seiner intrakanalären Applikationsmethode mittels einer speziellen Applikationsspritze (Abbildung 4, S. 25). Bislang konnten die allgemeingültigen Anforderungen an eine Wurzelkanalfüllung nur durch die laterale Kondensation von Guttapercha oder durch die thermoplastischen Guttaperchamethoden erfüllt werden. Dieses eingeschränkte Spektrum der momentan zur Füllung des Wurzelkanalssystems empfohlenen Techniken könnte durch das neuartige Applikationssystem des zu untersuchenden Sealers erweitert werden. Mit seiner Hilfe scheint eine akzeptable dreidimensionale Obturation des Wurzelkanalsystems mittels einer reinen Pasten- bzw. Zentralstift-Technik möglich zu sein.

Die Beurteilung der Versiegelungseigenschaft in Abhängigkeit der unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken soll klären, ob und in welcher Form der Einsatz dieses neuen Sealers im Rahmen einer Wurzelkanalfüllung gerechtfertigt ist.



Abbildung 4: Wurzelkanalfüllmaterial EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Applikationsspritze

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Beschreibung des „System AET- Anatomic Endodontic Technology“ (Ultradent Products Inc., Utah, USA)

Für eine erfolgreiche endodontische Behandlung sollten alle Teilbereiche der Wurzelkanalbehandlung aufeinander abgestimmt sein. Dies trifft insbesondere für die Wurzelkanalaufbereitung und –füllung zu. Dieser Forderung versucht das „System AET- Anatomic Endodontic Technology“ (Ultradent Products, USA) gerecht zu werden, indem es das Aufbereitungssystem EndoEZE (Ultradent Products, USA) und das Wurzelkanalfüllmaterial EndoREZ (Ultradent Products, USA) miteinander kombiniert.

3.1.1. EndoEZE (Ultradent Products Inc., Utah, USA)

Das System EndoEZE (Ultradent Products, USA) gehört in die Gruppe der rotierend arbeitenden maschinellen Aufbereitungssysteme. Dieses Aufbereitungskonzept entspricht in leicht abgewandelter Form dem bereits 1964 vorgestellten Giromatic-System (Micro Mega, Oberursel). Mit Hilfe eines speziellen Antriebs (Winkelstück EndoEZE, Abbildung 5, S. 26) werden Stahlfeilen, sogenannte *shaping files*, winkel-begrenzt rotierend im Wurzelkanal eingesetzt, wobei sie eine alternierende Teilrotation von 30° vollführen.



Abbildung 5: Winkelstück EndoEZE (Ultradent Products, USA)

Es werden drei in ihrer Konizität unterschiedliche *shaping files* angeboten (Abbildung 6, S. 27). Im Sinne einer „crown down“-Technik werden mit ihnen zunächst das koronale und mittlere Wurzelkanaldrittel aufbereitet. Erst anschließend erfolgt mit ihnen die Aufbereitung des apikalen Kanaldrittels. Eines der Ziele dieser „crown down“-Technik ist es, zunächst das

nekrotische und infizierte Gewebe aus den koronalen und mittleren Kanalabschnitten zu entfernen und somit weniger Material über das Foramen physiologicum hinaus zu pressen. Weiterhin wird hierdurch der Zugang der nachfolgenden Feilen zum apikalen Wurzelkanalabschnitt erleichtert und das Risiko der Begradigung von gekrümmten Kanälen verringert. Während dieses maschinellen Aufbereitungsabschnitts werden die *shaping files* nacheinander mit zunehmender Taperung verwendet. Zur abschließenden Ausformung des apikalen Stops dienen daraufhin die manuell eingesetzten *apical files* (Abbildung 7, S. 27), welche in unterschiedlichen ISO-Größen angeboten werden.


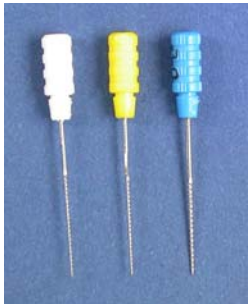
<i>Feilen</i>	<i>Farbcodierung</i>	<i>ISO-Größe</i>	<i>Konizität</i>
 <p>Abbildung 6: <i>shaping files</i></p>	Gelb	10	2,5 %
	Blau	15	4,5 %
	Grün	15	6 %
 <p>Abbildung 7: <i>apical files</i> (ISO 15/ 20/ 30)</p>	entspricht der ISO- Farbcodierung	10-25	2 %
		30-50	2,5 %

Tabelle 6: *Typen und Eigenschaften der Feilen von EndoEZE*
(Ultradent Products, USA)

Zur Unterstützung der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung empfiehlt der Hersteller die Verwendung von *File-EZE*, einem Schmiermittel mit dem Zusatz der Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA). Im Gegensatz zu den maschinellen Aufbereitungssystemen mit vollrotierend eingesetzten Nickel-Titan-Instrumenten, bei

welchen das Schmiermittel insbesondere zu einer Reduktion der Instrumentenfraktur dient, soll das *File-EZE* bei dem Aufbereitungssystem EndoEZE (Ultradent Products, USA) vor allem seine demineralisierende Wirkung als organischer Chelator entfalten. Hierdurch wird die Aufbereitung des Wurzelkanals erleichtert und der dabei entstehende *smear layer* entfernt.

3.1.2. EndoREZ (Ultradent Products Inc., Utah, USA)

Das Wurzelkanalfüllmaterial EndoREZ (Ultradent Products, USA) ist ein aus zwei Komponenten bestehendes, chemisch härtendes Komposit auf Urethandimethacrylat (UDMA)-Basis mit hydrophiler Eigenschaft. Weitere Bestandteile dieses Polymers sind Zinkoxid, Bariumsulfat, Farbstoffpigmente und Spurenelemente. EndoREZ (Ultradent Products, USA) wird in einer Doppelmischkartusche angeboten. Durch sogenannte *Ultra-Mixer* wird ein automatisches Anmischen der zwei Materialkomponenten ermöglicht (Abbildung 8, S. 28).



Abbildung 8: EndoREZ-Doppelmischkartusche mit Ultra-Mixer

Nach Herstellerangaben lässt sich EndoREZ (Ultradent Products, USA) in verschiedenen Techniken zur Wurzelkanalfüllung einsetzen. So kann dieses Komposit sowohl bei der klassischen Kalttechnik mit Guttapercha (laterale Kondensation), als auch bei den verschiedenen thermoplastischen Methoden als Sealer verwendet werden. Darüberhinaus ermöglicht eine spezielle Applikationsmethode eine Wurzelkanalfüllung in Form einer Zentralstift- oder reinen Pastentechnik. Die Applikation von EndoREZ (Ultradent Products, USA) in den Wurzelkanal erfolgt hierbei mit einer kleinen Spritze, *Skini Syringe* genannt (Abbildung 9, S. 29).



Abbildung 9: *Skini Syringe*

Die *Skini Syringe* besitzt sogenannte *Navi Tips* als Aufsätze, welche die ISO-Größe 30 besitzen und in verschiedenen Längen farbcodiert angeboten werden (Abbildung 10, S. 29 und Abbildung 11, S. 29). Durch dieses breite Angebot an verschiedenen Längen können diese Aufsätze gezielt entsprechend der Länge des Wurzelkanals eingesetzt werden.



Abbildung 10: *Navi Tips, in verschiedenen Längen*



Abbildung 11: *Skini Syringe mit Navi Tip*

Die *Skini Syringe* soll dabei direkt aus der Doppelmischkartusche mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) befüllt werden (Abbildung 12, S. 30).



Abbildung 12: Befüllung der Skini Syringe mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) mit Hilfe der Doppelmischkartusche

Sofern der Wurzelkanal apikal auf wenigstens ISO-Größe 30 aufbereitet wurde, lässt sich mit Hilfe dieser speziellen Applikationsspritze das fließfähige EndoREZ (Ultradent Products, USA) direkt im apikalen Wurzelkanalbereich applizieren. Hierfür wird die *Navi Tip* auf volle Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt. Um ein Überfüllen des Wurzelkanals zu vermeiden, ist während der Injektion des Wurzelfüllmaterials insbesondere darauf zu achten, dass die Kanülenspitze im apikalen Bereich nicht klemmt. Deshalb empfiehlt der Hersteller den Einsatz der *Navi Tip* auf Arbeitslänge minus 3 mm. Auf Grund der Geometrie und Form des durch EndoEZE (Ultradent Products, USA) aufbereiteten Kanals erscheint es jedoch auch möglich, dass die *Navi Tip* auf volle Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt wird. Der Wurzelkanal wird anschließend in Form einer Injektion von apikal nach koronal mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) gefüllt. Während dieses Vorgangs soll sich die Kanülenspitze stets im Füllmaterial befinden. Hierdurch soll ein blasenfreies Applizieren von EndoREZ (Ultradent Products, USA) ermöglicht werden (Abbildung 13, S. 31).

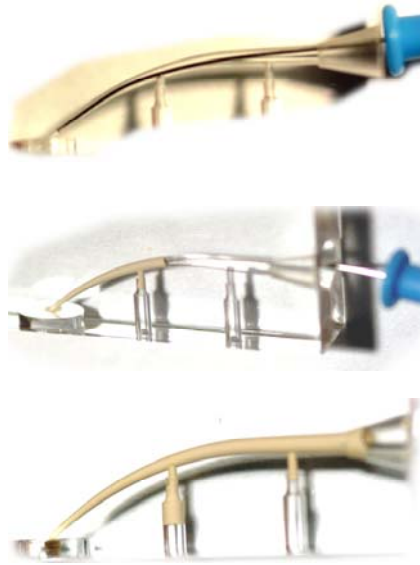


Abbildung 13: Darstellung der Wurzelkanalfüllung mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) anhand eines einen Wurzelkanal simulierenden Plexiglasmodells

Wird EndoREZ (Ultradent Products, USA) als Wurzelkanalfüllmaterial eingesetzt, so ist während der Aufbereitung des Wurzelkanals auf die Verwendung von peroxydfreien Schmier- und Spülmitteln zu achten. Der Grund hierfür ist, dass durch Peroxyd freigesetzter Sauerstoff die Abbindung von EndoREZ (Ultradent Products, USA) beeinträchtigen kann.

3.2. Eigene Untersuchungen

Da Seitens des Behandlers wenig Erfahrung mit dem in der Studie verwendeten „System AET- Anatomic Endodontic Technology“ (Ultradent Products, USA) vorlag, wurden vor Beginn der eigentlichen Untersuchungen an 30 ein- und mehrwurzeligen Zähnen das Aufbereitungssystem EndoEZE und die Wurzelkanalfüllmethode von EndoREZ (Ultradent Products, USA) mit *Skini Syringe* und *Navi Tip* erprobt und erlernt. Hierdurch sollten während der eigentlichen Untersuchung behandlerbedingte Fehler bei der Herstellung der orthograden Wurzelkanalfüllungen minimiert werden.

3.2.1. Untersuchung der Materialeigenschaften

In einer einleitenden Materialeigenschaftsprüfung durchlief ein zylindrischer Prüfkörper des Sealers einen eigenen Farbstoffpenetrationstest mit Methylenblau-Lösung. Hierdurch sollte geprüft werden, ob das Wurzelkanalfüllmaterial selbst eine Farbstoffpenetration zulässt oder zu verhindern vermag. Zur Herstellung des Prüfkörpers diente die *Skini Syringe*, welche mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) befüllt und anschließend für 7 Tage bei 100 %iger Luftfeuchtigkeit und 37 °C gelagert wurde. Der hierdurch gewonnene, zylindrische Prüfkörper wurde daraufhin nach Trocknung seiner Oberfläche mehrmals vollständig mit farblosem Nagellack (Palmer's Textil Ag, Wien-A) bestrichen. Vergleichbar mit der Vorbereitung der Zähne für den Farbstoffpenetrationstest im Rahmen der Dichtigkeitsuntersuchung wurde anschließend eine Stirnfläche des Prüfkörpers mit einer wassergekühlten Diamantsäge (LowSpeedSaw, Buehler) abgetrennt. Somit wurde eine Fläche des Prüfkörpers für eine mögliche Farbstoffpenetration freigelegt. Anschließend wurde der vorbereitete Prüfkörper für 7 Tage bei 37 °C in 2 %ige Methylenblau-Lösung eingelegt. Nach Durchlaufen dieser Penetrationsphase wurden zur Längsachse des Prüfkörpers senkrechte Querschnitte mit einer Dicke von 0,5 mm angefertigt. Die Schnittflächen dieser Querschnitte wurden unter einem Auflichtmikroskop (Zeiss Stemi SV 11) bezüglich einer Farbstoffpenetration beurteilt.

3.2.2. Probenauswahl und Gruppeneinteilung

108 frisch extrahierte einwurzelige Frontzähne und Prämolaren wurden unmittelbar nach der Extraktion von Weichgewebe gesäubert und anschließend in einer 5 %ige Natrium-Azid-Lösung aufbewahrt. Um die Wurzelkanalmorphologie der Zähne beurteilen zu können, wurden mit Hilfe der digitalen Röntgentechnik (Sirona, Deutschland) vor Versuchsbeginn zwei Röntgenaufnahmen in mesio-distaler und vestibulo-oraler Richtung angefertigt. Anhand dieser digitalen Röntgendiagnostik wurden die Zähne in zwei Versuchsgruppen eingeteilt (Tabelle 7, S. 33). Zur Dichtigkeitsuntersuchung der Wurzelkanalfüllung wurden nur einwurzelige Zähne mit einem Wurzelkanal (Typ I) und geradem Wurzelkanalverlauf herangezogen. Sämtliche Zähne, die radiologisch sichtbare Wurzelkanalkrümmungen, -obliterationen oder sonstige spezielle Wurzelkanalkonfigurationen (Typ II, Typ III, Typ IV) aufwiesen, wurden in die Gruppe zur Dokumentation von Sonderfällen eingruppiert (Tabelle 7, S. 33; Abbildung 14, S.34 und Abbildung 15, S. 34).

<i>Kanalmorphologie</i>	<i>Anzahl der Zähne</i>	<i>Versuchsgruppe</i>
1 gerader Wurzelkanal (Abbildung 14, S. 34)	90	Dichtigkeitsuntersuchung
andere Wurzelkanalkonfiguration (Abbildung 15. S. 34)	18	Dokumentation von Sonderfällen

Tabelle 7: Einteilung der Zähne vor Versuchsbeginn anhand der digitalen Röntgendiagnostik

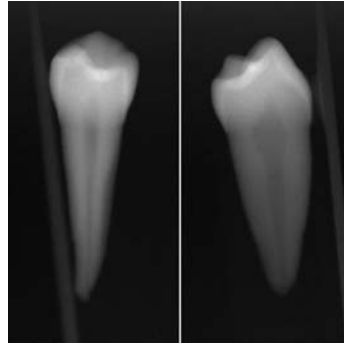


Abbildung 14: einwurzeliger Prämolare mit einem geraden Wurzelkanal
(links: vestibulo-orale Strahlengang; rechts: mesio-distale Strahlengang)

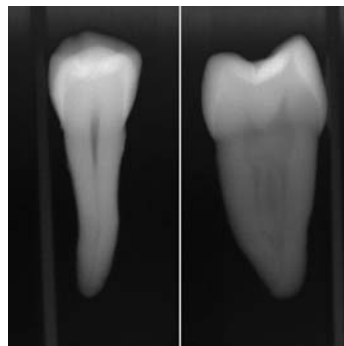


Abbildung 15: einwurzeliger Prämolare mit einer Typ II-Wurzelkanalkonfiguration
(links: vestibulo-orale Strahlengang; rechts: mesio-distale Strahlengang)

3.2.3. Dichtigkeitsuntersuchung

Ziel der Dichtigkeitsuntersuchung war es, die Versiegelungseigenschaft des kunststoffbasierten Wurzelkanalsealers EndoREZ (Ultradent Products, USA) in Abhängigkeit unterschiedlicher Wurzelkanalfülltechniken zu beurteilen. Als Vergleichsgruppe diente die laterale Kondensation von Guttapercha mit AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) als Sealer. Die Dichtigkeit der orthograden Wurzelkanalfüllungen wurde durch einen Farbstoffpenetrationstest mit Methylenblau untersucht.

3.2.3.1. Einteilung der untersuchten Gruppen

90 frisch extrahierte, einwurzelige Zähne mit nur einem Wurzelkanal und geradem Kanalverlauf gingen in die Dichtigkeitsuntersuchung ein. Sie wurden gemäß dem

Zufallsprinzip auf insgesamt 8 Gruppen aufgeteilt (Tabelle 8, S. 35). Die Gruppen 7 und 8 dienten im Sinne einer Positiv- und Negativkontrolle zur Überprüfung des Versuchsaufbaus.

<i>Füllmaterial</i>	<i>Gruppenbezeichnung</i>	<i>Fülltechnik</i>	<i>Anzahl der Zähne</i>
AHPlus	Gruppe 1	Laterale Kondensation	10
EndoREZ	Gruppe 2	isolierte Pastentechnik	14
	Gruppe 3	Laterale Kondensation	12
	Gruppe 4	Zentralstifttechnik	17
	Gruppe 5	Zentralstifttechnik	13
	Gruppe 6	Zentralstifttechnik	14
---	Gruppe 7	„PositivGruppe“	5
---	Gruppe 8	„NegativGruppe“	5

Tabelle 8: Übersicht über die Versuchsgruppen (vgl. Tabelle 9, S. 36 und Tabelle 10, S. 37)

3.2.3.2. Wurzelkanalaufbereitung

Bei sämtlichen Zähnen wurden mit Hilfe eines zylindrischen Diamanten und einer Turbine Trepanationsöffnungen präpariert. Nach Darstellung des Wurzelkanals und Erweiterung des Kanaleingangs wurde eine K-Feile der ISO-Größe 10 in den Wurzelkanal vorgeschoben, bis die Instrumentenspitze am anatomischen Apex der Zahnwurzel sichtbar war. Hierdurch konnte neben der Prüfung der Kanalgängigkeit auch die Arbeitslänge der Zahnwurzel ermittelt werden. Die Arbeitslänge wurde demzufolge durch Kürzung der Feilenlänge um 1 mm festgelegt.

Zur Aufbereitung der Wurzelkanäle wurde bei allen Zähnen einheitlich das Aufbereitungssystem EndoEZE (Ultradent Products, USA) entsprechend den Herstellerangaben eingesetzt. Mit Ausnahme der Gruppe 4 wurden alle Zähne apikal bis zur ISO-Größe 30 aufbereitet. Die Zähne der Gruppe 4 wurden dagegen auf die ISO-Größe 35 erweitert. Als Spüllösungen kamen bei jedem Instrumentenwechsel NaOCl (2,5 %ig, Hausapotheke, LMU München) und EDTA (9 %ig, Hausapotheke, LMU München) zur

Anwendung. Zum Abschluss der Wurzelkanalaufbereitung wurden die Kanäle mit 2,0 ml einer 0,1 %igen CHX-Lösung (GlaxoSmithKline, Bühl) gespült. Dies wird vom Hersteller empfohlen, um mögliche Peroxyde aus dem Kanal zu beseitigen, welche die Abbindung von EndoREZ (Ultradent Products, USA) beeinträchtigen können. Vor der Wurzelkanalfüllung wurden die Wurzelkanäle mit Papierspitzen der ISO-Größe 30 (Roecko, Langenau) getrocknet.

3.2.3.3. Wurzelkanalfüllung

Nach abgeschlossener Aufbereitung wurden die Wurzelkanäle der Zähne entsprechend ihrer Gruppeneinteilung gefüllt (Tabelle 8, S. 35). Folgende in Tabelle 9 (S. 36) aufgeführten Materialien wurden zur Wurzelfüllung eingesetzt.

<i>Materialien</i>		<i>Hersteller</i>	<i>Chargen-Nr.</i>	<i>Verwendung in den Gruppen</i>
Sealer	AHPlus	DeTrey Dentsply, Konstanz	040 2000 527	1
	EndoREZ	Ultradent Products, USA	5NLP	2, 3, 4, 5, 6
			5P6X	
Guttapercha-Stifte	GP1	Ultradent Products, USA	---	4
	GP2	Ultradent Products, USA	---	5
	GP3	Roecko, Langenau	---	1, 3, 6, 7, 8

Tabelle 9: Verwendete Wurzelkanalfüllmaterialien (bzgl. der Guttapercha-Stifte, vgl. Tabelle 10, S. 37)

Im Rahmen der Untersuchung wurden drei verschiedene Typen von Guttapercha-Stiften verwendet. Sie unterscheiden sich bezüglich der ISO-Größe und der Konizität. Die Guttapercha-Stifte GP1 und GP2 besitzen eine kunststoffmodifizierte Oberfläche. Genauere Angaben darüber konnten vom Hersteller bislang nicht gegeben werden. Zusammenfassend werden ihre Unterschiede in der Tabelle 10 (S. 37) dargestellt.


<i>Guttapercha-Stifte</i>		<i>ISO-Größe</i>	<i>Konizität</i>	<i>Oberflächen- modifikation</i>
 <p>Abbildung 16: GP1, GP2, GP3 (v.l.n.r.)</p>	GP1	35	2 %	ja
	GP2	25	6 %	ja
	GP3	15-35	2 %	nein

Tabelle 10: Verwendete Guttapercha-Stifte und ihre Eigenschaften

- Laterale Kondensationstechnik: Gruppe 1, 3, 7 und 8

Die Wurzelkanalfüllungen der Zähne dieser Gruppen wurden im Sinne einer lateralen Kondensation von Guttapercha angefertigt. Als Kernmaterial der Wurzelfüllung kamen herkömmliche Guttapercha-Stifte, GP3 (Roeko, Langenau), zum Einsatz. AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) diente als Sealer der Gruppe 1. Seine zwei Materialkomponenten (Paste A und Paste B) wurden mit einem Metallspatel gemäß den Herstellerangaben im Verhältnis 1:1 auf einer Glasplatte angemischt. In Gruppe 3 kam als erhärtende Wurzelkanalfüllpaste EndoREZ (Ultradent Products, USA) zur Anwendung. Demgegenüber wurde in den Gruppen 7 und 8 kein Sealer verwendet (Tabelle 9, S. 36).

- Zentralstifttechnik: Gruppe 4, 5 und 6

Sämtliche Wurzelkanäle der Zähne dieser Gruppen wurden entsprechend einer Zentralstifttechnik gefüllt. Als erhärtende Wurzelkanalfüllpaste wurde EndoREZ (Ultradent Products, USA) verwendet, welches mit Hilfe der *Skini Syringe* in den Wurzelkanal appliziert wurde. Daraufhin erfolgte das Einbringen eines gruppenspezifischen Guttapercha-Stiftes in den bereits mit Sealer gefüllten Wurzelkanal. In der Gruppe 4 wurde ein GP1 der ISO-Größe 35, in Gruppe 5 ein GP2 der ISO-Größe 25 und in Gruppe 6 ein GP3 der ISO-Größe 30 verwendet (Tabelle 9, S. 36).

- reine Pastentechnik: Gruppe 2

Zur Füllung der Wurzelkanäle dieser Zahngruppe wurde nur EndoREZ (Ultradent Products, USA) verwendet. Die Wurzelkanalfüllung erfolgte entsprechend einer reinen Pastentechnik, wobei der Sealer wiederum mittels *Skini Syringe* in den Kanal appliziert wurde (Tabelle 9, S. 36).

Im Anschluss an die Wurzelkanalfüllung wurden von allen Zähnen entsprechend dem klinischen Vorgehen digitale Röntgenkontrollaufnahmen angefertigt. Dazu dienten wie auch schon bei der Röntgendiagnostik zur Probenauswahl und Gruppeneinteilung je eine Aufnahme in mesio-distaler und vestibulo-oraler Richtung.

Anschließend wurde die Trepanationsöffnung sämtlicher Zähne unter Berücksichtigung der Säure-Ätz-Technik mit einem Komposit verschlossen. Als Füllmaterial diente neben dem Haftvermittler *Syntac classic* (Ivoclar Vivadent, Ellwangen) das Hybrid-Komposit *Tetric ceram* (Ivoclar Vivadent, Ellwangen).

Anschließend wurden die Zähne für 7 Tage bei 100 %iger Luftfeuchtigkeit und 37 °C aufbewahrt. Dies sollte ein vollständiges Abbinden der Füllmaterialien in einer dem intraoralen Milieu möglichst ähnlichen Umgebung gewährleisten und gleichzeitig ein Austrocknen der Zähne vermeiden.

3.2.3.4. Farbstoffpenetrationstest

Zur Vorbereitung für den Farbstoffpenetrationstest wurden die Zähne nach Trocknung der Oberfläche mehrmals vollständig in farblosen Nagellack (Palmer's Textil Ag, Wien-A) eingetaucht. Hierdurch sollten die Zähne gegen ungewollten Farbstoffzutritt während der Farbstoffpenetration geschützt werden. Nachdem die Nagellack-Schicht ausgehärtet war, wurden innerhalb der Gruppen 1 bis 7 mittels einer wassergekühlten Diamantsäge (LowSpeedSaw, Buehler) die Wurzelspitzen bis zum apikalen Beginn der Wurzelkanalfüllung senkrecht zur Zahnängsachse abgetrennt. Hierdurch sollte der apikale Bereich der Zähne einer möglichen Farbstoffpenetration zugänglich gemacht werden. Demgegenüber wurden die Wurzelspitzen der Zähne aus Gruppe 8 nicht abgetrennt. Diese Zähne blieben vollständig von Nagellack beschichtet und sollten im Sinne einer Negativkontrolle die Isolierfähigkeit des Nagellacks gegenüber einer Farbstoffpenetration nachweisen.

Die Abbildung 17 (S. 39) zeigt zwei für den Farbstoffpenetrationstest vorbereitete Zähne, wobei hier abweichend zum eigentlichen Versuchsaufbau aus Darstellungsgründen ein farbiger Nagellack Verwendung fand.



Abbildung 17: Darstellung der für den Farbstoffpenetrationstest vorbereiteten Zähne; die Wurzelspitzen sind abgetrennt

Als Marker für den nachfolgenden Farbstoffpenetrationstest diente eine 2%ige Methylenblau-Lösung (pH 7,0) (Schubert-Apotheke, Pullach). Die zu untersuchenden Zähne wurden separat in einen mit dieser Farbstofflösung gefüllten, 7 ml großen, länglichen Kunststoffbehälter eingelegt. Dabei wurden die Zähne mit ihrer Krone zum Behälterboden ausgerichtet. Besonders wurde darauf geachtet, dass die Zähne vollständig von Farbstofflösung bedeckt waren. Anschließend wurden die Behälter im stehenden Zustand für 7 Tage bei 37 °C gelagert. Nach Ablauf dieser 7 tägigen Farbstoffpenetrationsphase wurden die Zähne aus den Behältern entnommen und unter fließendem Wasser vollständig von Farbstoffresten gereinigt. Um das Ausmaß der Farbstoffpenetration einer Auswertung zugänglich zu machen, wurden anschließend mit einer wassergekühlten Diamantsäge (LowSpeedSaw, Buehler) von apikal nach koronal Querschnitte der Zahnwurzeln angefertigt. Hierfür wurden die Zähne mit einer Kompositosmasse (Impression Compound red, Kerr Salerno, I) auf der Haltevorrichtung der Säge fixiert, wobei die Zahnlongsachse senkrecht und die durch das Abtrennen der Wurzelspitzen entstandenen apikalen „Zahnflächen“ parallel zum Diamantsägeblatt ausgerichtet wurden. Von jedem Zahn wurden 10 Wurzelquerschnitte mit einer einheitlichen Dicke von 0,5 mm angefertigt. Die Dicke des Sägeblatts betrug 0,3 mm. Durch diese Angaben konnte in der Auswertung jeder Querschnittsfläche ein definierter linearer Abstand zur apikalen „Zahnfläche“ zugeordnet werden. Abschließend wurden die Wurzelquerschnitte sämtlicher Zähne mit ihrer koronalen Schnittfläche nach oben auf einem Glasobjektträger fixiert (Abbildung 18, S. 40). Zur Fixierung diente ein Cyanacrylat (Renfert GmbH, Hilzingen).

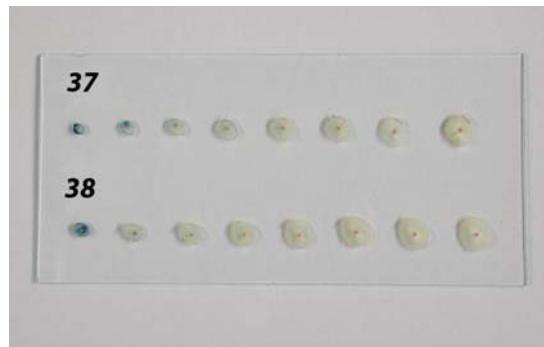


Abbildung 18: Auf einem Glasobjektträger fixierte serielle Wurzelquerschnitte zweier Zähne

3.2.3.5. Auswertung

Die Auswertung der Dichtigkeitsuntersuchung gliederte sich in zwei Teile. Zunächst wurden die nach abgeschlossener Wurzelkanalfüllung angefertigten Röntgenbilder ausgewertet. Anschließend erfolgte die Dokumentation und Beurteilung der Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests im Lichtmikroskop.

3.2.3.5.1. Röntgenbilder

Die digitalen Röntgenkontrollaufnahmen der Zähne aus den Gruppen 1 bis 6 wurden nach Abschluss des Farbstoffpenetrationstests bezüglich der auch im klinischen Alltag verwendeten röntgenologischen Beurteilungskriterien einer Wurzelkanalfüllung ausgewertet. Folgende Kriterien wurden zur Auswertung der Röntgenbilder dokumentiert:

- Homogenität der Wurzelkanalfüllung
- apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung

Beide Variablen wurden entsprechend der vestibulo-oralen bzw. mesio-distalen Strahlenrichtung der Röntgenbilder beurteilt und auf einem Dokumentationsbogen vermerkt. Als homogen wurden nur blasenfreie und wandständige Wurzelkanalfüllungen angesehen. Das Kriterium der apikalen Ausdehnung war erfüllt, wenn die Wurzelfüllung nach apikal die Arbeitslänge des aufbereiteten Wurzelkanals erreichte. Die im Rahmen dieser Bewertungskriterien getroffenen „ja / nein“-Entscheidungen wurden in einen binären Zahlencode mit den Ziffern 1 und 0 überführt („ja“ = 1; „nein“ = 0). Anhand zweier Beispiele wird die Datenerhebung zur Röntgenbilderauswertung nochmals dargestellt (Tabelle 11, S. 41).

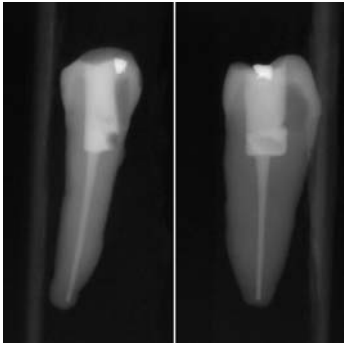
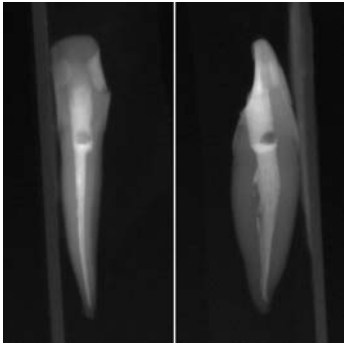
<i>Beispiele</i>	<i>Kriterien</i>	<i>Strahlenrichtung v-o</i>	<i>Strahlenrichtung m-d</i>
 <i>Abbildung 19</i>	homogene WF	1	1
	Arbeitslänge	1	1
 <i>Abbildung 20</i>	homogene WF	1	0
	Arbeitslänge	1	1

Tabelle 11: Darstellung der Datenerhebung zur Auswertung der Röntgenbilder

Abschließend wurden die erhobenen Daten gruppenspezifisch miteinander verglichen. Das Ziel war es, die unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken hinsichtlich ihrer Fähigkeit, den Wurzelkanal vollständig im Sinne einer dreidimensionalen Obturation auszufüllen, zu bewerten. Die Daten der vestibulo-oralen und mesio-distalen Strahlenrichtung gingen in einem ersten Teil der Auswertung zunächst separat ein. Daraufhin wurden in einem zweiten Auswertungsteil die aufgezeichneten Ergebnisse beider Strahlenrichtungen aneinander gekoppelt, um aus den eigentlich zweidimensionalen Röntgenbildern eine dreidimensionale Beurteilung der Wurzelfüllungen zu ermöglichen. Hierzu wurden im Gegensatz zum ersten Auswertungsteil, bei welchem alle Zähne zum Auswertungskollektiv gehörten, nur die in mesio-distaler Strahlenrichtung erhobenen Daten der Zähne ausgewertet, welche in vestibulo-oraler Richtung bereits als homogen bewertet wurden.

3.2.3.5.2. Farbstoffpenetrationstest

Zur Erfassung der Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests wurden die Wurzelquerschnitte unter einem Auflichtmikroskop (Zeiss Stemi SV 11) bei 40 facher Vergrößerung betrachtet. Dabei wurden nur die koronalen Schnittflächen der auf den Glasobjektträgern fixierten Querschnitte ausgewertet. Die erhobenen Daten wurden wie bei der Auswertung der Röntgenbilder wiederum auf einem Dokumentationsbogen festgehalten. Zur Auswertung des Farbstoffpenetrationstests wurden folgende Kriterien dokumentiert, welche anschließend näher beleuchtet werden:

- Farbstoffpenetrationstiefe
- Lokalisation der Farbstoffpenetration
- Ausmaß der Farbstoffpenetration

Farbstoffpenetrationstiefe

Zunächst wurden die Sequenzen der Wurzelquerschnitte der Gruppen 1 bis 8 bezüglich einer vorliegenden Farbstoffpenetration in Form einer reinen „ja/nein“-Entscheidung beurteilt. Wie bereits weiter oben erwähnt, kann zu jeder Schnittfläche ein definierter linearer Abstand zum Ausgangspunkt der Farbstoffpenetration, nämlich der apikalen „Zahnfläche“, angegeben werden. Anhand der letzten mit Farbstoff penetrierten Querschnittsnummer konnte dadurch die Farbstoffpenetrationstiefe ermittelt werden (Tabelle 12, S. 42).

	<i>Querschnittsnummer (von apikal nach koronal)</i>									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Farbstoff- penetrationstiefe [mm]	0,5	1,3	2,1	2,9	3,7	4,5	5,3	6,1	6,9	7,7

Tabelle 12: Farbstoffpenetrationstiefen, ermittelt anhand der Querschnittsnummer

Lokalisation der Farbstoffpenetration

Zusätzlich zur Tiefe der Farbstoffpenetration wurde in den Gruppen 1 bis 6 die Lokalisation des Farbstoffs dokumentiert. Dabei wurde zwischen drei möglichen Farbstoffpenetrationen differenziert, welche wiederum in Form einer „ja/nein“-Entscheidung auf dem Dokumentationsbogen festgehalten wurden. Neben einer Penetration des Farbstoffs zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin (PenTyp I) wurde darüberhinaus eine Markerpenetration durch das Dentin (PenTyp II) bzw. durch die Wurzelkanalfüllung (PenTyp III) voneinander unterschieden (Abbildung 21, S. 43).

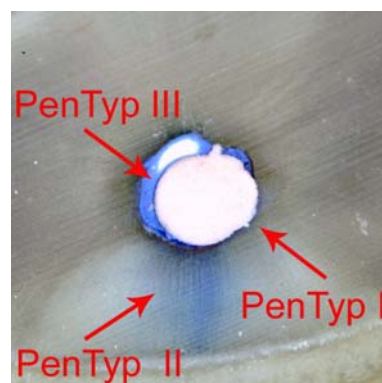


Abbildung 21: Darstellung der Lokalisation der Farbstoffpenetration (Bezeichnungen entsprechen der Textformulierungen)

Ausmaß der Farbstoffpenetration

Als letztes Beurteilungskriterium wurde für die Gruppen 1 bis 8 abschließend das Ausmaß der Farbstoffpenetration innerhalb der penetrierten Wurzelquerschnitte ermittelt. Hierfür wurde jeder Querschnitt in Quadranten unterteilt, welche dann einzeln bezüglich einer vorliegenden Markerpenetration beurteilt wurden. Dabei wurde bei der Quadranteneinteilung darauf geachtet, dass möglichst wenige Quadranten des Querschnitts penetriert waren. Die Ergebnisse wurden entsprechend der Anzahl an penetrierten Quadranten mit den Ziffern 0 bis 4 im Dokumentationsbogen festgehalten (Abbildung 22, S. 44).

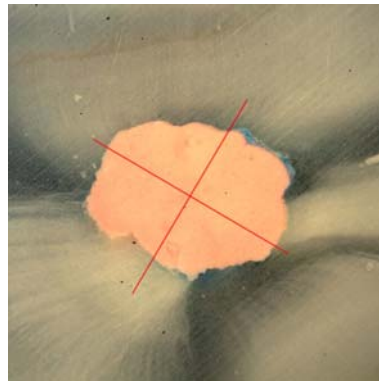


Abbildung 22: *Darstellung der Bewertung des Ausmaßes der Farbstoffpenetration; in diesem Fall wurden zwei Quadranten als penetriert beurteilt*

Die Beurteilungskriterien des Farbstoffpenetrationstests wurden dann gruppenspezifisch miteinander verglichen. Die Auswertung wurde in Abhängigkeit der Ergebnisse der Röntgenbilderauswertung in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Teil wurden nur die Zähne zur Auswertung herangezogen, welche in der vestibulo-oralen Strahlenrichtung röntgenologisch als homogen beurteilt wurden. Im abschließenden Auswertungsteil wurden demgegenüber nur die Zähne verwendet, deren röntgenologisches Homogenitätskriterium sowohl in vestibulo-oraler als auch in mesio-distaler Richtung positiv bewertet wurde.

3.2.3.6. Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung der Ergebnisse der Dichtigkeitsuntersuchung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 12.01.

Zunächst wurden die einzelnen Gruppen bezüglich ihrer Testvoraussetzungen überprüft. Hierzu wurden die Daten der untersuchten Variablen mittels eines Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests ($p = 0,05$) hinsichtlich einer Gauss'schen Normalverteilung untersucht. Daneben diente der Barlett-Test ($p = 0,05$) zur Prüfung der Varianz-Homogenität innerhalb der einzelnen Gruppen. Wenn beide Testvoraussetzungen erfüllt waren, so kam zur Sicherung der Unterschiede zwischen mehreren Gruppen die Einweg-Varianzanalyse (ANOVA) zum Einsatz. Stattdessen wurde im Falle der Verletzung einer der Testvoraussetzungen ein nicht-parametrischer Test nach Kruskal-Wallis angewendet.

Entsprechend dem orientierenden Charakter der Untersuchung wurde das Signifikanz-Niveau auf $\alpha = 0,05$ festgesetzt. Neben den Ergebnissen der Varianz-Analyse ($p(\text{AOV})$) wurden die Gruppen durch einen LSD-Test (Post-Hoc-Test auf Kontraste) in bestimmte Gruppen-Klassen (Cluster) eingeteilt. Zur Clusterbezeichnung dienten Großbuchstaben. Die Mitglieder einer

Gruppen-Klasse lassen sich bezüglich des 5 %igen Signifikanz-Niveaus nicht voneinander unterscheiden. Demgegenüber bilden jedoch die einzelnen Cluster zueinander einen Kontrast auf diesem Signifikanz-Niveau.

3.2.4. Dokumentation von Sonderfällen

Neben der Dichtigkeitsuntersuchung zur Beurteilung der Versiegelungseigenschaft des kunststoffbasierten Sealers EndoREZ (Ultradent Products, USA) sollten im Rahmen eines zweiten Untersuchungsteils die Möglichkeiten seiner intrakanalären Applikationsmethode mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* bewertet werden. Hierzu wurden die Wurzelkanäle der zu Versuchsbeginn in die Gruppe zur Dokumentation von Sonderfällen eingeteilten Zähne nach erfolgter Aufbereitung mit EndoEZE (Ultradent Products, USA) in Form einer reinen Pasten- bzw. Zentralstifttechnik gefüllt. Zur Dokumentation der Füllung dieser besonderen Wurzelkanalkonfigurationen wurden Röntgenaufnahmen in vestibulo-oraler und mesio-distaler Strahlenrichtung angefertigt und beurteilt.

4. ERGEBNISSE

4.1. Untersuchung der Materialeigenschaften

Im Rahmen dieses Untersuchungsabschnitts wurde das Wurzelkanalfüllmaterial EndoREZ (Ultradent Products, USA) einem eigenen Farbstoffpenetrationstest mit Methylenblau unterzogen (vgl. 3.2.1. Untersuchung der Materialeigenschaften, S. 32). Bei der lichtmikroskopischen Betrachtung der Querschnitte des EndoREZ-Prüfkörpers wurden keine farbstoffpenetrierten Bereiche innerhalb des Wurzelkanalfüllmaterials festgestellt. Auffällig war jedoch, dass sich das abgebundene Füllmaterial als farblich inhomogen darstellte (Abbildung 23, S. 46).



Abbildung 23: *Querschnitt des zur Untersuchung der Materialeigenschaften verwendeten Prüfkörpers von EndoREZ (Ultradent Products, USA)*

4.2. Dichtigkeitsuntersuchung

Die im Rahmen der Dichtigkeitsuntersuchung anhand der Röntgenbilder und des Farbstoffpenetrationstests erhobenen Daten werden im Anhang in tabellarischer Form zusammengefasst (vgl. 8.4. Ermittelte Daten, S. 117). In diesem Abschnitt befinden sich zudem die Legenden zur Erläuterung der nachfolgenden, zur graphischen Darstellung der statistischen Ergebnisse verwendeten Diagramme (vgl. 8.5. Legenden zu den Diagrammen, S. 135). Innerhalb der in diesem Abschnitt dargestellten Diagramme werden die verschiedenen Gruppen einheitlich mit der Bezeichnung „Gr“ und der entsprechenden Gruppennummer abgekürzt (Tabelle 8, S. 35 und Tabelle 9, S. 36).

4.2.1. Röntgenbilder

Im Folgenden werden die statistisch erhobenen Daten zur Auswertung der Röntgenbilder graphisch dargestellt (Tabelle 13, S. 47). Die Diagramme 1 (S. 48) und 2 (S. 49) beschreiben die Ergebnisse der separaten Auswertung der digitalen Röntgenkontrollaufnahmen in vestibulo-oraler („Röntgen_vo“) und mesio-distaler Strahlenrichtung („Röntgen_md“). Das Diagramm 3 (S. 50) („Röntgen_kombi“) zeigt die in mesio-distaler Strahlenrichtung ermittelten Ergebnisse der Zähne, die bereits in vestibulo-oraler Richtung als röntgenologisch homogen beurteilt wurden. Dies stellt in gewisser Weise eine „Aneinanderkopplung“ der Röntgenbilder beider Strahlenrichtungen dar.

<i>Diagramm</i>	<i>Diagrammname</i>	<i>Untersuchungskriterium</i>	<i>Auswertungsvoraussetzung</i>
1	Röntgen_vo	„Homogenität“ und „Arbeitslänge“	keine
2	Röntgen_md	„Homogenität“ und „Arbeitslänge“	keine
3	Röntgen_kombi	„Homogenität“	„vestibulo-orale Homogenität“

Tabelle 13: Übersicht der Diagramme zur Darstellung der Auswertung der Röntgenbilder (vgl. 3.2.3.5.1. Röntgenbilder, S. 40)

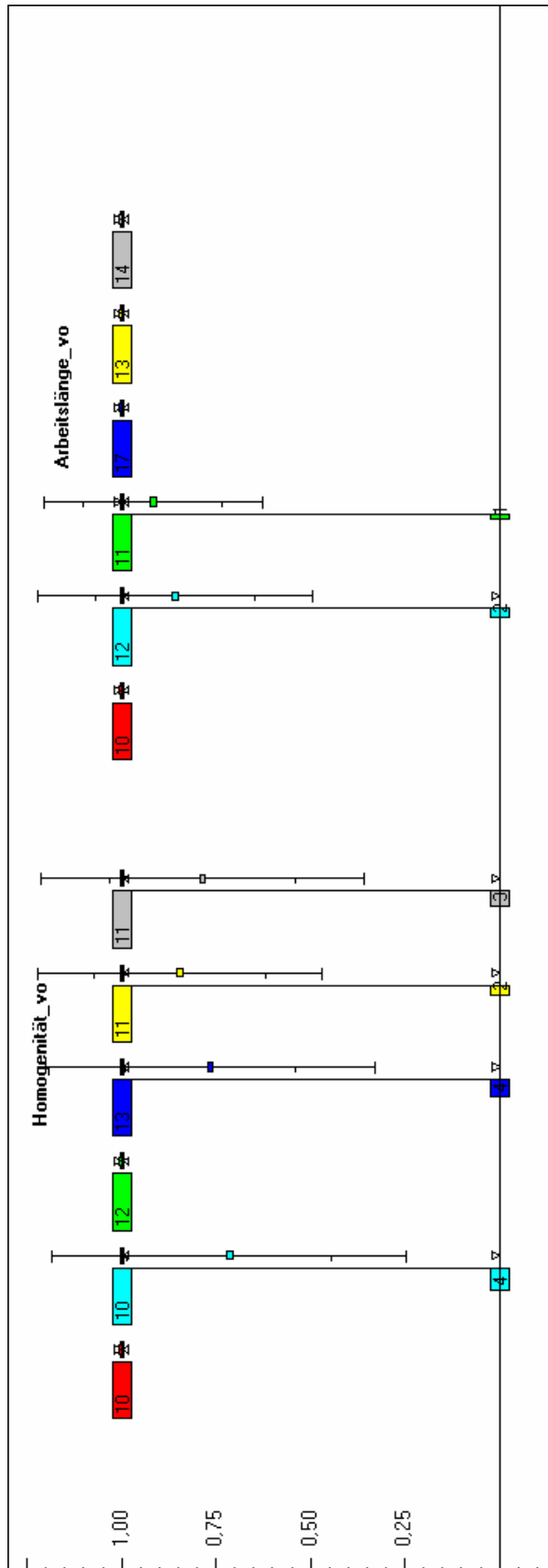


Diagramm 1: Röntgen_vo

X-Variable	Methode					
	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6
N	10	14	12	17	13	14
Mean	1,00	0,71	1,00	0,76	0,85	0,79
StdDev	0,00	0,47	0,00	0,44	0,38	0,43
Median	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Gauss (=1)	0	0	0	0	0	0
LSD-Class	[A	A	A	A	A	A]
p(ADV)	0,246 n.s.					
	0,219 n.s.					

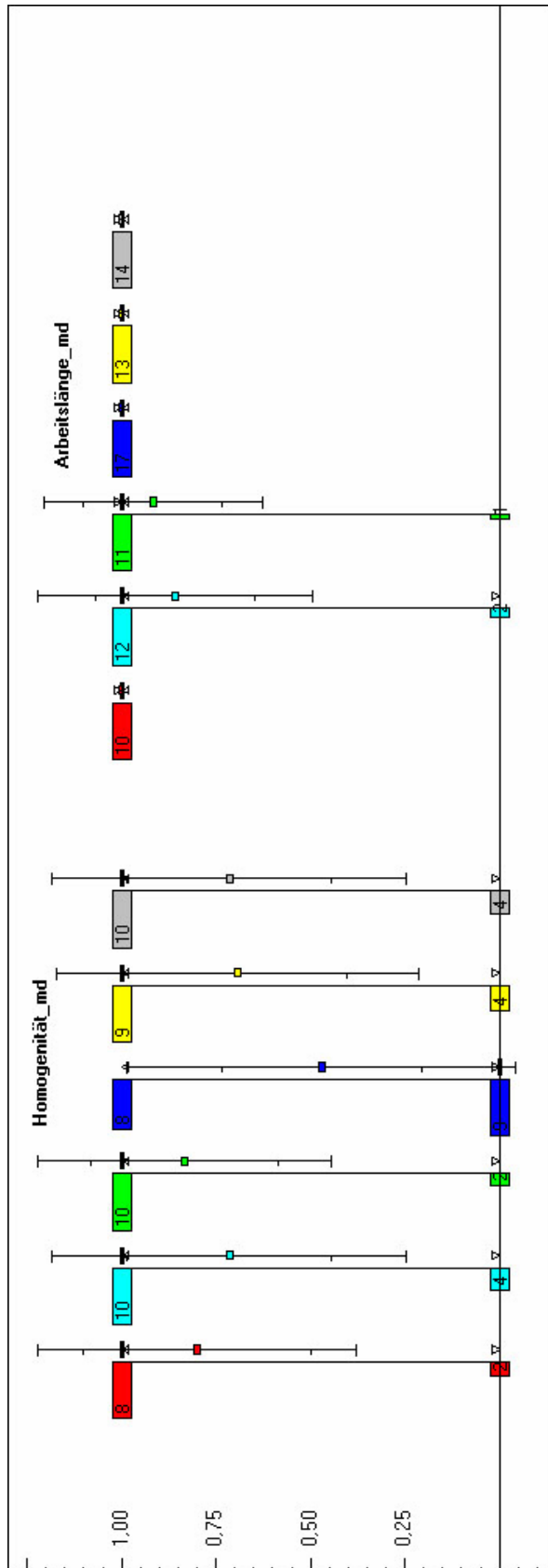


Diagramm 2: Röntgen_md

X-Variable	Methode					
	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6
N	10	14	12	17	13	14
Mean	0,80	0,71	0,83	0,47	0,69	0,71
StdDev	0,42	0,47	0,39	0,51	0,48	0,47
Median	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00
Gauss (=1)	0	0	0	0	0	0
LSD-Class	[A	A	A	A	A	A]
p(AOV)	0,361 n.s.					
	0,219 n.s.					

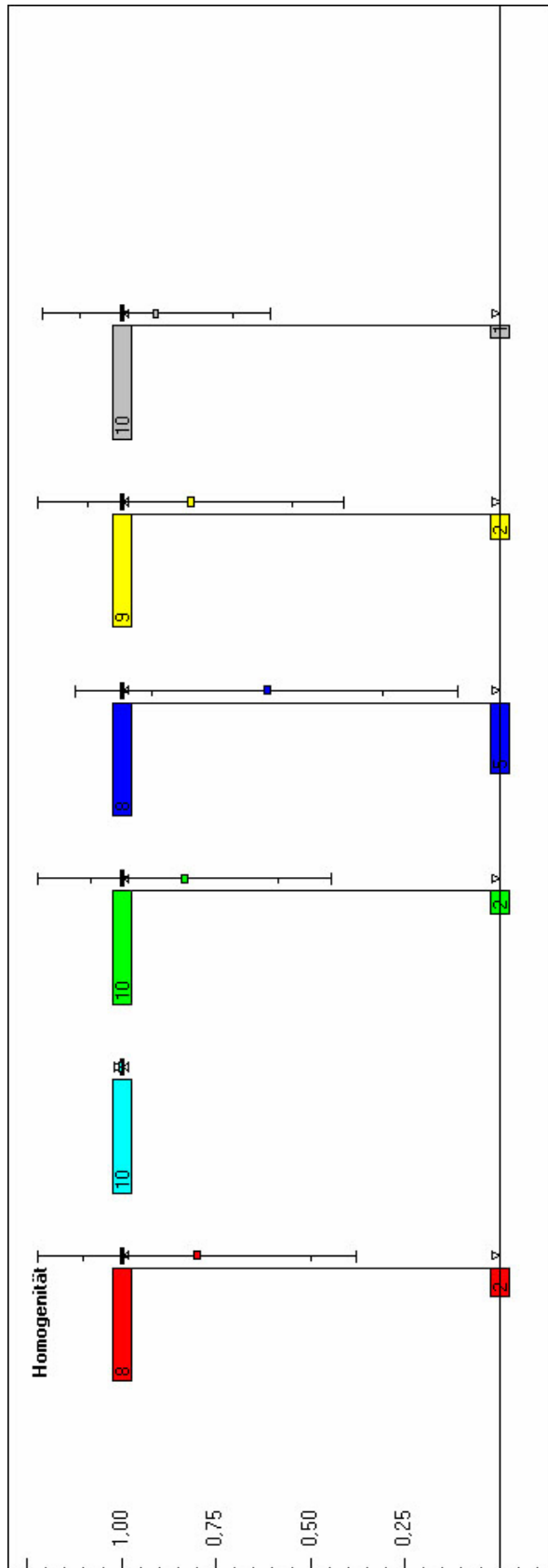


Diagramm 3: Röntgen_kombi

X-Variable		Methode					
Group		Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6
N		10	10	12	13	11	11
Mean		0.80 (0.498 - 1.102)	1.00 (1.000 - 1.000)	0.83 (0.586 - 1.081)	0.62 (0.309 - 0.921)	0.82 (0.546 - 1.090)	0.91 (0.706 - 1.112)
StdDev		0.42	0.00	0.39	0.51	0.40	0.30
Median		1.00 (0.000 - 1.000)	1.00 (1.000 - 1.000)	1.00 (0.000 - 1.000)	1.00 (0.000 - 1.000)	1.00 (0.000 - 1.000)	1.00 (0.000 - 1.000)
Gauss (=1)		0	0	0	0	0	0
LSD-Class		[AB	B	AB	A	AB	AB]
p(ADV)		0.268 n.s.					

Ergebnisse der vestibulo-oralen Röntgenbilder (Diagramm 1, S. 48)

Bei der statistischen Auswertung der in vestibulo-oraler Strahlenrichtung aufgenommenen Röntgenbilder konnte für beide Untersuchungskriterien „Homogenität“ und „Arbeitslänge“ kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Untersuchungsgruppen festgestellt werden.

Bezüglich des Kriteriums „Homogenität“ zeigten die nach lateraler Kondensationstechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen der Gruppe 1 und 3 die besten Ergebnisse. Sie wurden in 100 % der Fälle als homogen eingestuft (Abbildung 24, S. 52). Den geringsten Mittelwert mit $0,71 \pm 0,47$ lieferte hierbei die Gruppe 2. Diese nach reiner Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) angefertigten Wurzelkanalfüllungen wurden in 4 von 14 Fällen als inhomogen bewertet (Abbildung 25, S. 52). Eine Zwischenstellung nahmen die Gruppen 4, 5 und 6 ein, bei welchen als Fülltechnik die Zentralstifttechnik angewendet wurde.

Die Auswertungen des Untersuchungskriteriums „Arbeitslänge“ zeigten, dass innerhalb der Gruppen der lateralen Kondensationstechnik und der Zentralstifttechnik nahezu 100 % der Zähne bezüglich des Parameters „Arbeitslänge“ als positiv bewertet wurden. Lediglich die Gruppe 3 ($0,92 \pm 0,29$), bei welcher die apikale Ausdehnung einer von insgesamt 12 untersuchten Wurzelkanalfüllungen als ungenügend bewertet wurde, wich davon etwas ab. Die Gruppen 1, 3, 4, 5 und 6 schnitten somit hinsichtlich der „Arbeitslänge“ besser ab, als die Gruppe 2 ($0,86 \pm 0,36$) (Abbildung 24, S. 52 und Abbildung 25, S. 52).

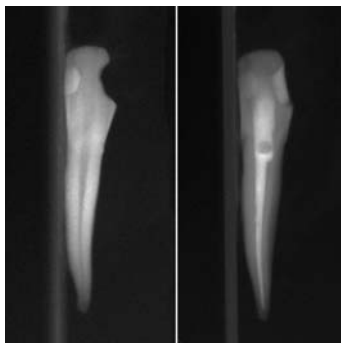


Abbildung 24: Röntgenbilder in vestibulo-oraler Strahlenrichtung eines Zahnes aus Gruppe 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA))
links: vor Wurzelkanalfüllung; rechts: nach Wurzelkanalfüllung

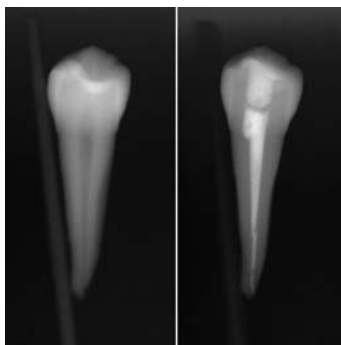


Abbildung 25: Röntgenbilder in vestibulo-oraler Strahlenrichtung eines Zahnes aus Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA))
links: vor Wurzelkanalfüllung; rechts: nach Wurzelkanalfüllung

Ergebnisse der mesio-distalen Röntgenbilder (Diagramm 2, S.49)

Auch bei dieser statistischen Auswertung zeigte sich zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied. Die Ergebnisse bezüglich des Untersuchungskriteriums „Arbeitslänge“ glichen denen der vestibulo-oralen Röntgenbilder. Demgegenüber konnte eine Veränderung bei der Untersuchungsvariablen „Homogenität“ festgestellt werden. Die Gruppen 1 ($0,80 \pm 0,42$) und 3 ($0,82 \pm 0,39$) zeigten zwar immer noch die besten Ergebnisse, sie wurden jedoch nicht mehr zu 100 % als homogen bewertet (Abbildung 26, S. 53). Das Ergebnis für die Gruppe 2 entsprach dem zuvor ermittelten Wert ($0,71 \pm 0,47$) und war dem der Gruppen der Zentralstifttechnik vergleichbar. Die schlechtesten Ergebnisse wurden für die Gruppe 4 ermittelt ($0,47 \pm 0,51$).

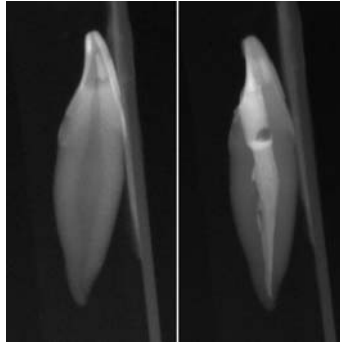


Abbildung 26: Röntgenbilder in mesio-distaler Strahlenrichtung des Zahnes aus Abbildung 24 (S. 52)
links: vor Wurzelkanalfüllung; rechts: nach Wurzelkanalfüllung

Ergebnisse der „Aneinanderkoppelung“ beider Röntgenbilder (Diagramm 3, S. 50)

Bei dieser statistischen Auswertung konnten erstmals signifikante Unterschiede bezüglich der Beurteilungsvariablen „Homogenität“ ermittelt werden. Die besten Ergebnisse innerhalb dieses Untersuchungsabschnitts lieferte die Gruppe 2 ($1,00 \pm 0,00$), bei welcher eine reine Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) Verwendung fand (Abbildung 27, S. 53). Die Wurzelkanalfüllungen der Zähne innerhalb dieser Gruppe wurden zu 100 % als röntgenologisch homogen bewertet. Wie schon in der separaten Auswertung der mesio-distalen Röntgenkontrollaufnahmen, schnitt die Gruppe 4 ($0,62 \pm 0,51$) wiederum am schlechtesten ab. Zwischen den Ergebnissen der Gruppen 2 und 4 konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dagegen zeigten diese zwei Gruppen gegenüber den restlichen Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied.

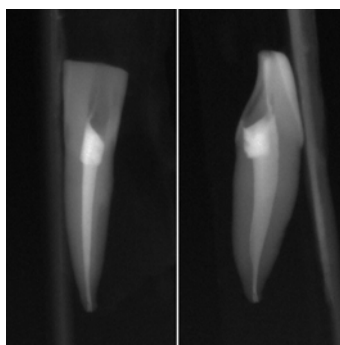


Abbildung 27: Röntgenbilder eines Zahnes aus Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung
links: vestibulo-orale Strahlenrichtung; rechts: mesio-distale Strahlenrichtung

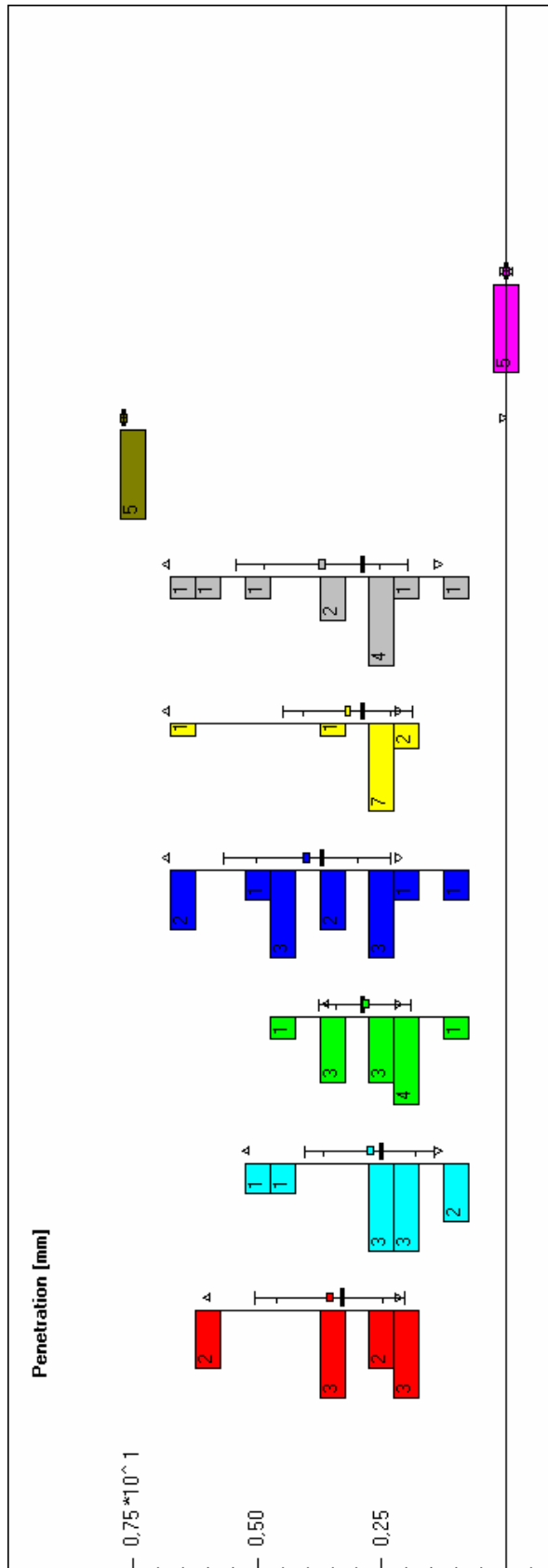
4.2.2. Farbstoffpenetrationstest

In den folgenden Diagrammen werden die statistisch erhobenen Ergebnisse der zur Auswertung des Farbstoffpenetrationstests herangezogenen Beurteilungskriterien „Farbstoffpenetrationstiefe“, „Lokalisation der Farbstoffpenetration“ und „Ausmaß der Farbstoffpenetration“ dargestellt (Tabelle 14, S. 54).

<i>Diagramm</i>	<i>Diagrammname (entsprechend des Untersuchungskriteriums)</i>	<i>Röntgenologische Bewertung als Auswertungsvoraussetzung</i>
4	Farbstoffpenetrationstiefe I	„vestibulo-orale Homogenität“
6	Lokalisation der Farbstoffpenetration I	
8	Ausmaß der Farbstoffpenetration Ia	
9	Ausmaß der Farbstoffpenetration Ib	
5	Farbstoffpenetrationstiefe II	„vestibulo-orale und mesio-distale Homogenität“
7	Lokalisation der Farbstoffpenetration II	
10	Ausmaß der Farbstoffpenetration IIa	
11	Ausmaß der Farbstoffpenetration IIb	

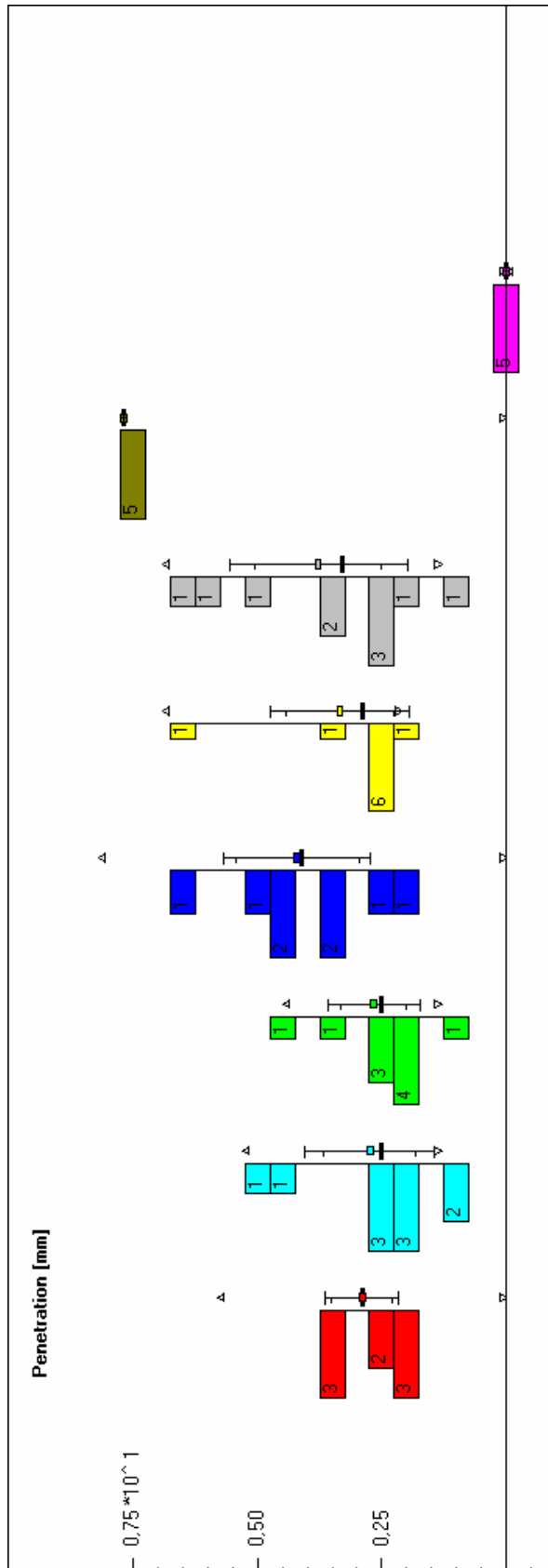
Tabelle 14: Übersicht der Diagramme zur Darstellung der Auswertung des Farbstoffpenetrationstests (vgl. 3.2.3.5.2 Farbstoffpenetrationstest, S. 42)

Farbstoffpenetrationstiefe



X-Variable		Methode							
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8	
N	10	10	12	13	11	11	5	5	
Mean	3,5 (2,468 - 4,612)	2,7 (1,813 - 3,667)	2,8 (2,241 - 3,425)	4,0 (2,991 - 5,025)	3,2 (2,315 - 4,067)	3,7 (2,547 - 4,853)	7,7 (7,697 - 7,703)	0,0 (0,000 - 0,000)	
StdDev	1,5	1,3	0,9	1,7	1,3	1,7	0,0	0,0	
Median	(2,100 - 6,100)	(1,300 - 5,300)	(2,100 - 3,700)	(2,100 - 6,900)	(2,100 - 6,900)	(1,300 - 6,900)	(0,000 - 15,400)	(0,000 - 0,000)	
Gauss (=1)	1	1	1	1	0	1	1	0	
LSD-Class	[B	B	B	B	B	B	C	A]	
p(AOV)	0,000 ***								

Diagramm 4: Farbstoffpenetrationstiefe I



X-Variable	Methode							
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8
N	8	10	10	8	9	10	5	5
Mean	2,90 (2,281 - 3,519)	2,74 (1,813 - 3,667)	2,66 (1,996 - 3,324)	4,20 (2,965 - 5,436)	3,34 (2,274 - 4,414)	3,78 (2,502 - 5,058)	7,70 (7,697 - 7,703)	0,00 (0,000 - 0,000)
StdDev	0,74	1,30	0,93	1,48	1,39	1,79	0,00	0,00
Median	2,90 (0,000 - 5,800)	2,50 (1,300 - 5,300)	2,50 (1,300 - 4,500)	4,10 (0,000 - 8,200)	2,90 (2,100 - 6,900)	3,30 (1,300 - 6,900)	7,70 (0,000 - 15,400)	0,00 (0,000 - 0,000)
Gauss (=1)	1	1	1	1	1	1	1	0
LSD-Class	[B	B	B	C	BC	BC	D	A]
p(AOV)	0,000 ***							

Diagramm 5: Farbstoffpenetrationstiefe II

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Farbstoffpenetrationstiefe sind den Diagrammen 4 (S. 55) und 5 (S. 56) zu entnehmen.

Für die Gruppen 7 und 8, die innerhalb dieser Untersuchung als Kontrollgruppen dienten, konnten statistisch höchst signifikante Unterschiede festgestellt werden. Während alle Zähne der Gruppe 7 (Positivgruppe) eine Farbstoffpenetration bis zum zehnten Wurzelquerschnitt ($7,70 \pm 0,00$ mm) zeigten, ließ sich für die Zähne der Gruppe 8 (Negativgruppe) in keinem der Wurzelquerschnitte eine Markerpenetration nachweisen ($0,00 \pm 0,00$ mm).

Der Vergleich der Gruppen 1 bis 6 ergab zunächst keine statistisch signifikanten Unterschiede (Diagramm 4, S. 55 und Tabelle 15, S. 58), sofern nur die Zähne Bestandteil der Auswertung waren, deren Wurzelkanalfüllung zuvor im Rahmen der Röntgenbildbeurteilung in vestibulo-oraler Strahlenrichtung als röntgenologisch homogen bewertet wurde. Die geringsten Penetrationstiefen lieferten die Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) ($2,74 \pm 1,30$ mm) und 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) ($2,83 \pm 0,93$ mm).

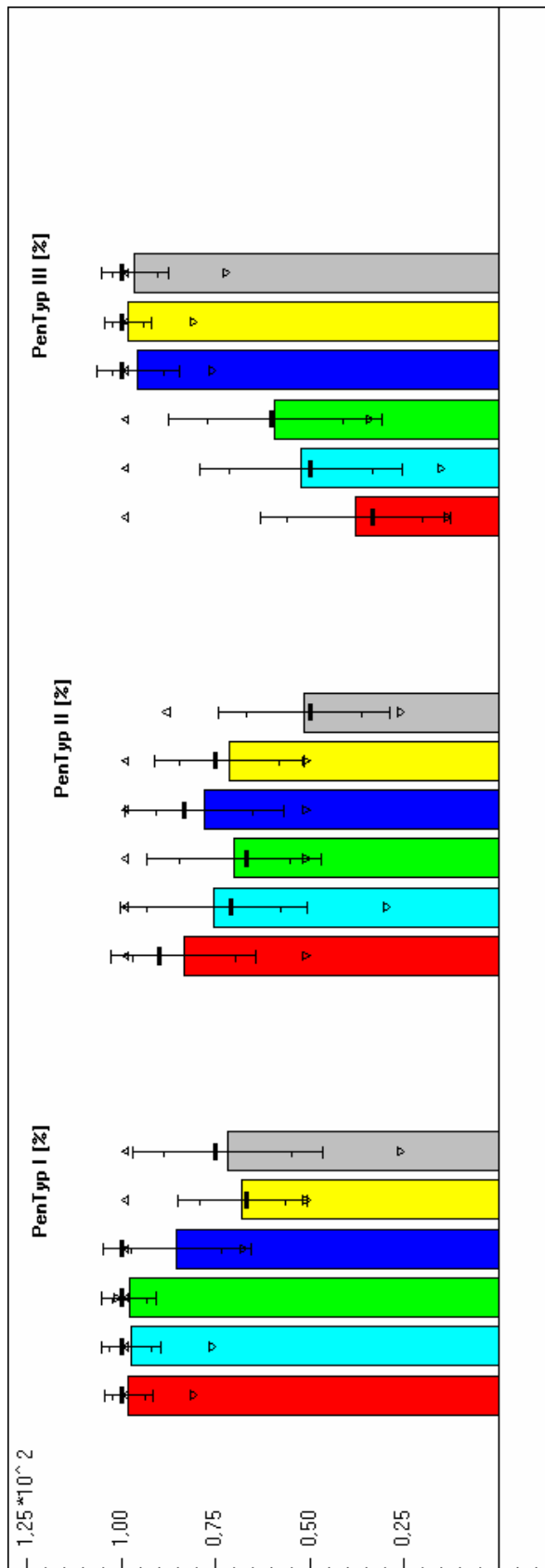
Im Gegensatz zu diesem ersten Auswertungsteil konnte zwischen den Gruppen 1 bis 6 ein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden, wenn nur die Zähne in die Auswertung eingingen, die sowohl in vestibulo-oraler als auch in mesio-distaler Strahlenrichtung radiologisch homogene Wurzelkanalfüllungen aufwiesen (Diagramm 5, S. 56 und Tabelle 15, S. 58). Hierbei unterschied sich die Gruppe 4 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttapercha-Stifte GP1) mit dem für diesen Untersuchungsteil schlechtesten Ergebnis ($4,20 \pm 1,48$ mm) gegenüber den Gruppen 1, 2 und 3 auf einem 5 %igen Signifikanzniveau. Gleichzeitig konnte für die Gruppen 1 und 3 eine Reduzierung der Farbstoffpenetrationstiefe festgestellt werden, wogegen die nach der Zentralstifttechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen der Gruppen 4, 5 und 6 diese positive Veränderung der Penetrationstiefe nicht zeigten. Die geringsten Penetrationstiefen lieferten nun die Gruppen 3 ($2,66 \pm 0,93$ mm), 2 ($2,74 \pm 1,30$ mm) und 1 ($2,90 \pm 0,74$ mm).

Zur besseren Übersicht der im Rahmen des Farbstoffpenetrationstests ermittelten Ergebnisse bezüglich der Farbstoffpenetrationstiefe, werden diese nochmals in tabellarischer Form dargestellt (Tabelle 15, S. 58).

Gruppe	Fülltechnik	Penetrationstiefe I [mm]	Penetrationstiefe II [mm]
Gruppe 1	Laterale Kondensation, AHPlus	3,54 ± 1,50	2,90 ± 0,74
Gruppe 2	Isolierte Pastentechnik, EndoREZ	2,74 ± 1,30	2,74 ± 1,30
Gruppe 3	Laterale Kondensation, EndoREZ	2,83 ± 0,93	2,66 ± 0,93
Gruppe 4	Zentralstifttechnik, EndoREZ/ GP1	4,00 ± 1,68	4,20 ± 1,48
Gruppe 5	Zentralstifttechnik, EndoREZ/ GP2	3,19 ± 1,30	3,34 ± 1,39
Gruppe 6	Zentralstifttechnik, EndoREZ/ GP3	3,70 ± 1,72	3,78 ± 1,79

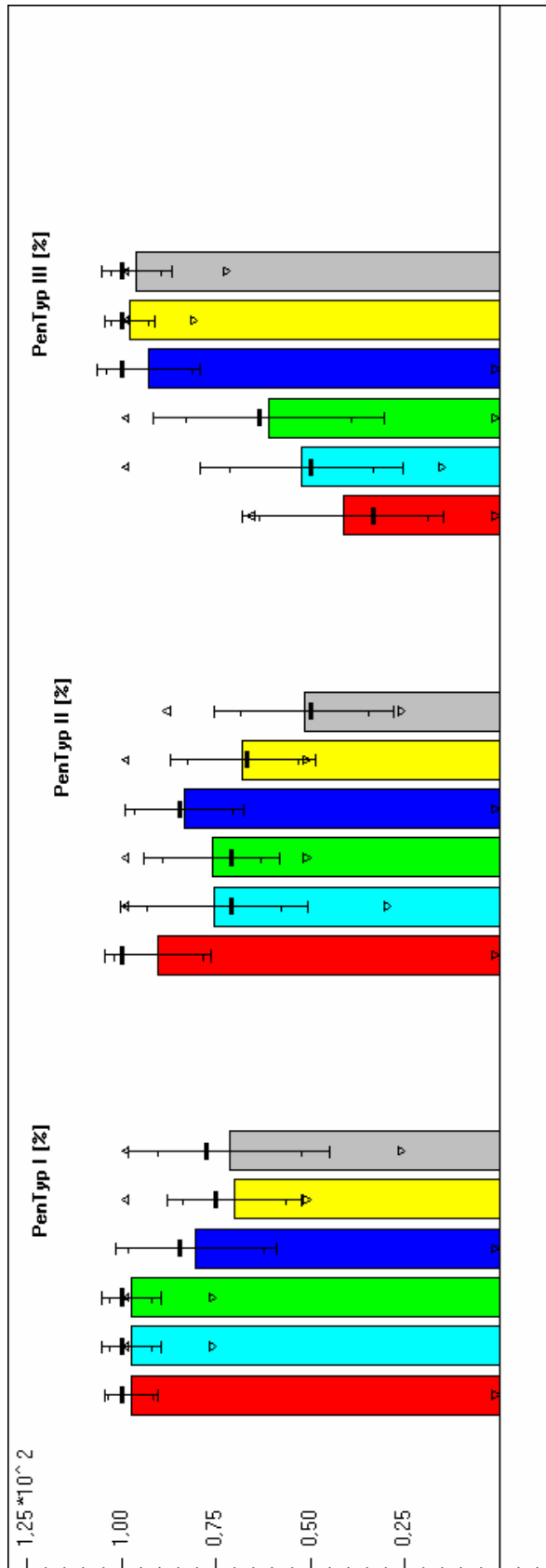
*Tabelle 15: Ergebnisse der ermittelten Farbstoffpenetrationstiefen [mm] (Mittelwert und Standardabweichung)
 „Penetrationstiefe I“: Ergebnisse der Zähne mit röntgenologischer Homogenität der Wurzelfüllung in vestibulo-oraler Strahlenrichtung;
 „Penetrationstiefe II“: Ergebnisse der Zähne mit röntgenologischer Homogenität der Wurzelfüllung in vestibulo-oraler und mesio-distaler Strahlenrichtung;*

Lokalisation der Farbstoffpenetration



X-Variable	Methode							
	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8
N	10	10	12	13	11	11	0	0
Mean	98,0	97,5	97,9	85,3	67,9	71,7	83,4	70,0
StdDev	6,3	7,2	19,6	17,1	25,3	19,1	23,1	21,1
Median	100,0	100,0	100,0	66,7	75,0	83,3	50,0	100,0
Gauss (=1)	0	0	1	1	0	1	1	0
LSD-Class	[D	D	C	B	[C	C	C	B
p(AOV)	0,000 ***							
	0,026 *							
	0,000 ***							

Diagramm 6: Lokalisation der Farbstoffpenetration I



X-Variable	Methode							
	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8
Group	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Gr 4	Gr 5	Gr 6	Gr 7	Gr 8
N	8	10	8	8	9	10	0	0
Mean	97,50	97,50	80,30	70,07	71,42	75,37	76,01	67,84
StdDev	7,91	7,91	21,37	17,83	26,66	24,68	18,02	19,21
Median	100,00	100,00	84,50	75,00	77,50	70,85	70,85	66,70
Gauss (=1)	0	0	1	1	0	1	1	0
LSD-Class	[C	C	B	B	[D	CD	CD	BC
p(ADV)	0,000 ***							
	0,003 **							
	0,000 ***							

Diagramm 7: Lokalisation der Farbstoffpenetration II

In den Diagrammen 6 (S. 59) und 7 (S. 60) sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Lokalisation der Farbstoffpenetration dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden hierbei die unterschiedlichen Penetrationstypen innerhalb der Gruppen 1 bis 6 in Form prozentualer Anteile von der Gesamtzahl der penetrierten Wurzelquerschnitte angegeben (vgl. 8.4.2. Daten „Farbstoffpenetrationstest“, S. 120). Die in den Diagrammen verwendeten Bezeichnungen „PenTyp I“, „PenTyp II“ und „PenTyp III“ entsprechen der bereits im Abschnitt „3.2.3.5.2. Farbstoffpenetrationstest“ (S. 42) beschriebenen Einteilung der unterschiedlichen Farbstoffpenetrationstypen.

In dem Auswertungsteil, in welchen nur Zähne mit einer in vestibulo-oraler Strahlenrichtung röntgenologisch homogenen Wurzelkanalfüllung eingingen, konnte hinsichtlich der Lokalisation der Farbstoffpenetration ein charakteristisches, gruppentypisches Verteilungsmuster der unterschiedlichen Penetrationstypen festgestellt werden (Diagramm 6, S. 59). Die Gruppen 1, 2 und 3 wiesen verglichen mit den Gruppen 4, 5 und 6 signifikant mehr Farbstoffpenetration zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin (PenTyp I) auf. Die geringste Farbstoffpenetration konnte dabei für die Gruppe 5 ($67,93 \pm 17,10$ %) ermittelt werden. Gleichzeitig unterschied sich diese gemeinsam mit der Gruppe 6 bezüglich des 5 %igen Signifikanzniveaus von der Gruppe 4 ($85,32 \pm 19,59$ %).

Im Vergleich zum PenTyp I konnte stattdessen bei der Farbstoffpenetration durch die Wurzelkanalfüllung (PenTyp III) ein gegensätzliches Verteilungsmuster innerhalb der untersuchten Gruppen nachgewiesen werden. Die Gruppen 1, 2 und 3 besaßen hierbei ein signifikant geringeres Ausmaß an Penetration als die Gruppen 4, 5 und 6. Dabei ließ sich zusätzlich für die Gruppe 1, die für diesen Penetrationstyp die geringste Markerpenetration aufwies ($38,00 \pm 25,18$ %), ein statistisch signifikanter Unterschied zur Gruppe 3 ($59,17 \pm 28,18$ %) feststellen.

Bezüglich einer Farbstoffpenetration durch Dentin (PenTyp II) zeigte die Gruppe 6 ($51,44 \pm 22,59$ %) signifikant weniger Markerpenetration als die restlichen Gruppen. Innerhalb jener konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, wobei die Gruppe 1 unter ihnen mit $83,42 \pm 19,12$ % den größten Mittelwert aufwies.

In der Auswertung der Zähne, die sowohl in vestibulo-oraler als auch in mesio-distaler Strahlenrichtung röntgenologisch homogene Wurzelkanalfüllungen besaßen, wurden zum oben beschriebenen ersten Auswertungsteil vergleichbare Ergebnisse ermittelt (Diagramm 7, S. 60). Abweichend davon konnte jedoch in Bezug auf eine Farbstoffpenetration zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin (PenTyp I) ein Signifikanzunterschied

zwischen den Gruppen 4, 5 und 6 nicht mehr nachgewiesen werden. Desweiteren konnte nun für die Gruppe 1 hinsichtlich einer Farbstoffpenetration durch Dentin (PenTyp II) zu dem mit $90,21 \pm 13,98 \%$ weiterhin größten Mittelwert ein signifikanter Unterschied gegenüber den Gruppen 5 und 6 festgestellt werden.

Nachfolgend werden nochmals die verschiedenen Gruppen mit ihren typischen Verteilungsmustern der Penetrationstypen anhand lichtmikroskopischer Bilder dargestellt (Abbildung 28 bis Abbildung 33).

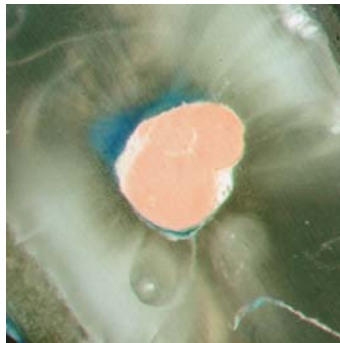


Abbildung 28: Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 1 (laterale Kondensation; AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)) typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp I und PenTyp II

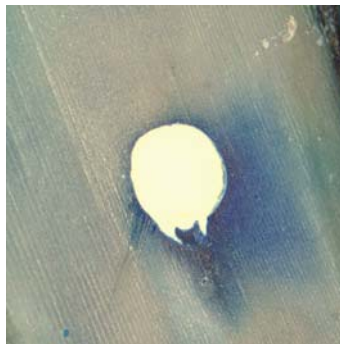


Abbildung 29: Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp I und PenTyp II



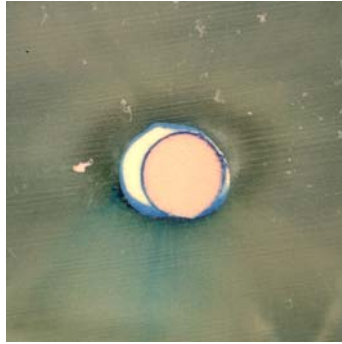
Abbildung 30: *Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp I*



Abbildung 31: *Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 4 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttaperchastift GP1) typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp III*

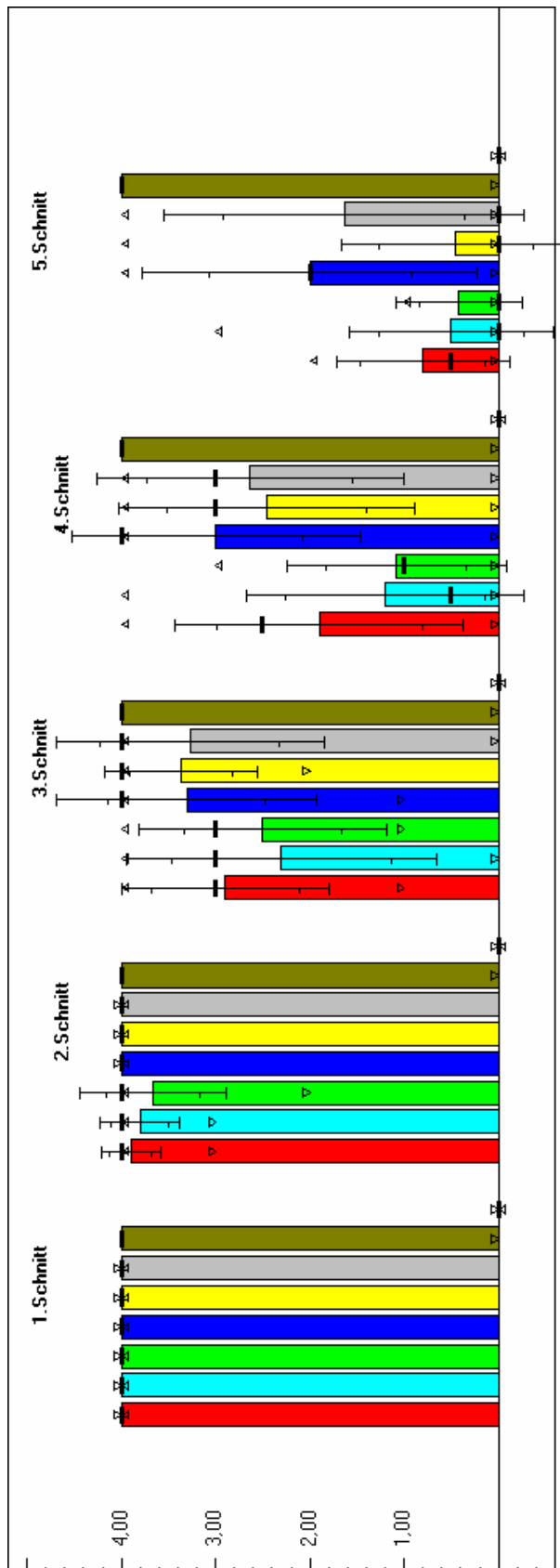


Abbildung 32: *Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 5 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttaperchastift GP2) typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp III*



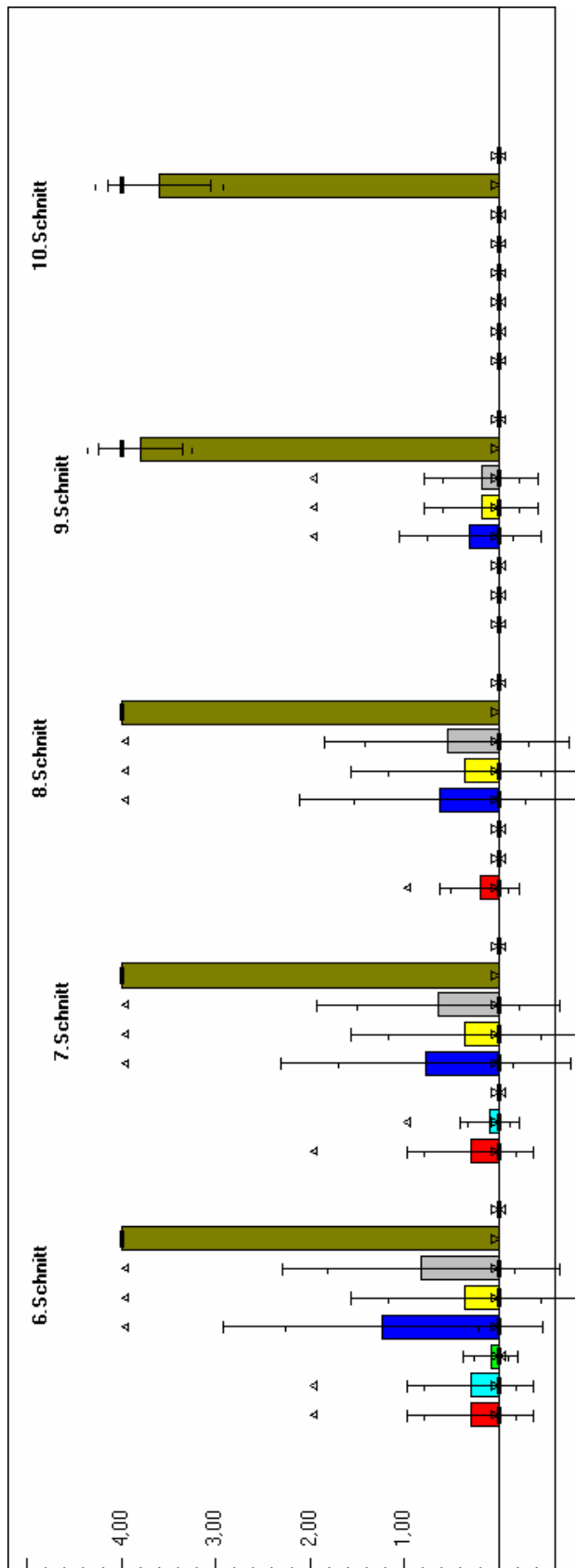
*Abbildung 33: Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 6
(Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)
und Guttaperchastift GP3)
typische Farbstoffpenetration in Form von PenTyp III*

Ausmaß der Farbstoffpenetration



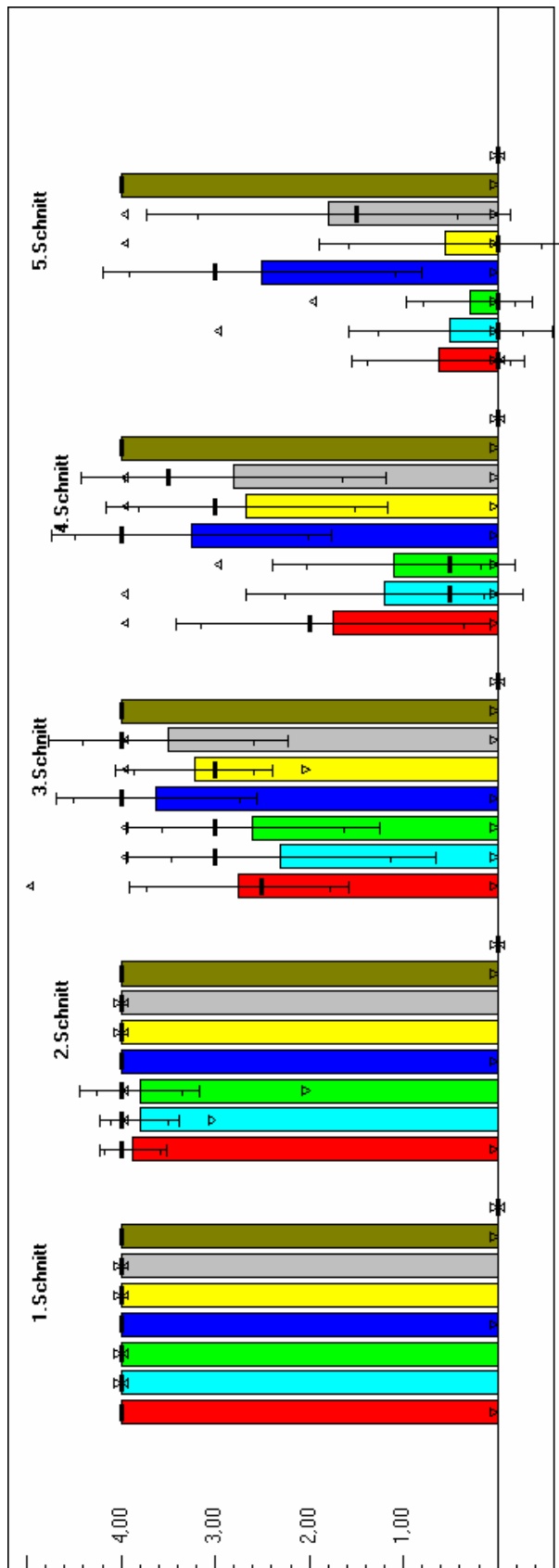
X-Variable	Methode															
Group	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7
	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8
N	10	12	11	5	10	13	11	5	10	12	11	5	10	12	11	5
Mean	4,00	4,00	4,00	4,00	3,90	3,67	4,00	4,00	2,90	2,50	3,36	4,00	1,90	1,08	2,45	4,00
	4,00	4,00	4,00	0,00	3,80	4,00	4,00	0,00	2,30	3,31	3,27	0,00	1,20	3,00	2,64	0,00
StdDev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,78	0,00	0,00	1,10	1,31	0,81	0,00	1,52	1,16	1,57	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	1,64	1,38	1,42	0,00	1,48	1,53	1,63	0,00
Median	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	4,00	2,50	1,00	3,00	4,00
	4,00	4,00	4,00	0,00	4,00	4,00	4,00	0,00	3,00	4,00	4,00	0,00	0,50	4,00	3,00	0,00
Gauss (=1)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
LSD-Class	[B	B	B	B	[B	B	B	B	[BC	B	BC	C	[BCD	AB	CD	E
	B	B	B	B	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]	A]
p(AOV)	1,000 n.s.				0,000 ***				0,000 ***				0,000 ***			

Diagramm 8: Ausmaß der Farbstoffpenetration Ia; 1.-5. Wurzelquerschnitt



X-Variable	Methode											
Group	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7
	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8
N	10	12	11	5	10	12	11	5	10	12	11	5
Mean	0,30	0,08	0,36	4,00	0,30	0,00	0,36	4,00	0,00	0,00	0,18	3,80
	0,30	1,23	0,82	0,00	0,10	0,77	0,64	0,00	0,00	0,82	0,55	0,00
StdDev	0,67	0,29	1,21	0,00	0,67	0,00	1,21	0,00	0,42	0,00	1,21	0,00
	1,69	1,47	0,00	0,32	1,54	1,29	0,00	0,00	1,50	1,29	0,00	0,00
Median	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	4,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gauss (=1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LSD-Class	[AB	A	AB	C	[A	A	A	B	[A	A	A	B
	AB	B	AB	A]	A	A	A	A]	A	A	A	A]
p(AOV)	0,000 ***				0,000 ***				0,000 ***			

Diagramm 9: Ausmaß der Farbstoffpenetration Ib; 6. - 10. Wurzelquerschnitt



X-Variable	Methode															
Group	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7	Gr 1	Gr 3	Gr 5	Gr 7
	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8	Gr 2	Gr 4	Gr 6	Gr 8
N	8	10	8	5	8	10	8	5	8	10	8	5	8	10	8	5
Mean	4,00	4,00	4,00	4,00	3,88	3,80	4,00	4,00	2,75	2,60	3,22	4,00	1,75	1,10	2,67	4,00
	4,00	4,00	4,00	0,00	3,80	4,00	4,00	0,00	2,30	3,63	3,50	0,00	1,20	3,25	2,80	0,00
StdDev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,63	0,00	0,00	1,16	1,35	0,83	0,00	1,67	1,29	1,50	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	1,64	1,06	1,27	0,00	1,48	1,49	1,62	0,00
Median	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,50	3,00	3,00	4,00	2,00	0,50	3,00	4,00
	4,00	4,00	4,00	0,00	4,00	4,00	4,00	0,00	3,00	4,00	4,00	0,00	0,50	4,00	3,50	0,00
Gauss (=1)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
LSD-Class	[B	B	B	B	[B	B	B	B	[BC	BC	BCD	D	[BC	AB	CD	D
	B	B	B	B	A]	B	B	A]	B	CD	BCD	A]	AB	D	CD	A]
p(AOV)	1,000 n.s.				0,000 ***				0,000 ***				0,000 ***			

Diagramm 10: Ausmaß der Farbstoffpenetration Ia; 1.-5. Wurzelquerschnitt

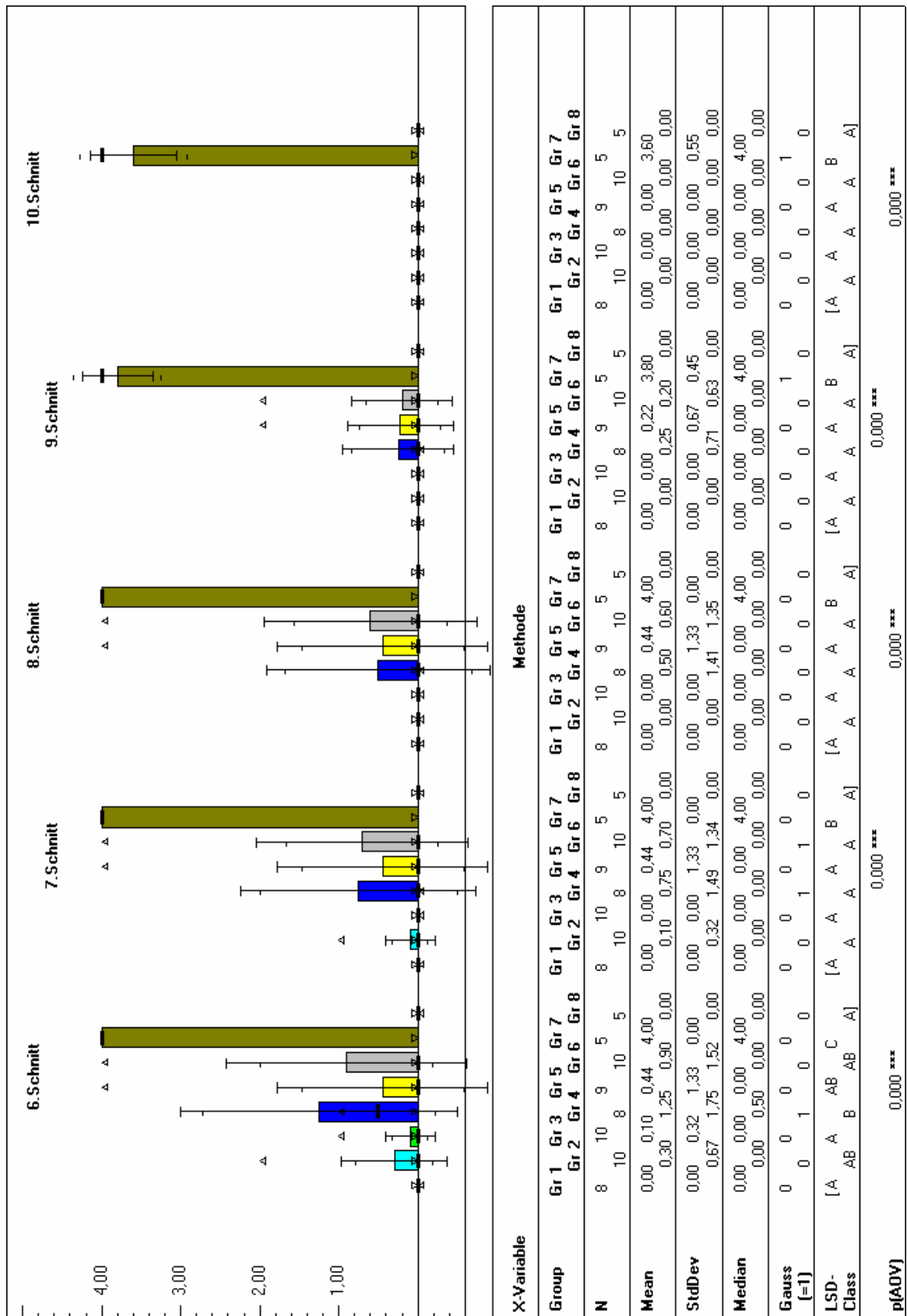


Diagramm 11: Ausmaß der Farbstoffpenetration IIb; 6.-10. Wurzelquerschnitt

In den Diagrammen 8 (S. 65) bis 11 (S. 68) sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung des Ausmaßes der Farbstoffpenetration graphisch dargestellt.

Entsprechend der Ergebnisse der Auswertung der Farbstoffpenetrationstiefe war in diesem Untersuchungsabschnitt ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kontrollgruppen festzustellen. Während die Zähne der Gruppe 8 (Negativgruppe) in keinem der untersuchten Wurzelquerschnitte einen farbstoffpenetrierten Quadranten aufwiesen, waren demgegenüber in der Gruppe 7 (Positivgruppe) bis zum 8. Wurzelquerschnitt alle Quadranten mit Marker penetriert. Erst im 9. und 10. Querschnitt konnten einige wenige Quadranten bezüglich einer Farbstoffpenetration als negativ bewertet werden. Für den 10. Wurzelquerschnitt wurde für die Gruppe 7 ein Mittelwert von $3,60 \pm 0,55$ ermittelt.

Der Vergleich der Gruppen 1 bis 6 hinsichtlich des Ausmaßes der Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzelquerschnitte lieferte in beiden Auswertungsteilen vergleichbare Ergebnisse. Verglichen zum ersten Auswertungsteil ließen die Gruppen 1 (laterale Kondensation; AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)) und 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) im zweiten Auswertungsteil eine geringere Anzahl an penetrierten Quadranten erkennen. Demgegenüber war im zweiten Auswertungsteil eine solche Besserung der Ergebnisse für die Zentralstifttechnik-Gruppen 4, 5 und 6 nicht festzustellen. Diese Veränderung der Ergebnisse innerhalb der beiden Auswertungsteile korreliert mit den bereits bei der Auswertung der Farbstoffpenetrationstiefe ermittelten Daten.

Die Ergebnisse für den 1. Wurzelquerschnitt zeigten, dass unabhängig von den verwendeten Wurzelkanalfülltechniken und -materialien eine Farbstoffpenetration aller vier Quadranten nicht zu vermeiden war. Für alle untersuchten Gruppen wurde für diese Querschnittsnummer ein einheitlicher Mittelwert von $4,00 \pm 0,00$ ermittelt. Ab dem 2. Querschnitt konnte eine Reduktion der Anzahl der penetrierten Quadranten für die Gruppen 1, 2 und 3 festgestellt werden. Die Gruppen 4, 5 und 6 zeigten diese Reduktion dagegen erst ab dem 3. Wurzelquerschnitt. Sie blieben mit Ausnahme der Gruppe 5 im weiteren Verlauf der Beurteilung der nächsten Querschnitte mit ihrem Mittelwert stets über dem der Gruppen 1, 2 und 3. Die besten Ergebnisse bezüglich des Ausmaßes der Farbstoffpenetration konnten für die Gruppe 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) ermittelt werden. Sie ließ bereits ab dem 7. Wurzelquerschnitt keine farbstoffpenetrierten Quadranten mehr erkennen. Gefolgt wurde sie in abnehmender Reihenfolge von den Gruppen 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) und 1 (laterale Kondensation; AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)). Die Gruppen 4, 5 und 6, bei welchen als Fülltechnik

eine Zentralstifttechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) angewendet wurde, besaßen erst ab dem 10. Querschnitt vollkommen penetrationsfreie Quadranten.

Wie bereits weiter oben erwähnt, konnten für die Gruppen 1 und 3 im zweiten Auswertungsteil weniger penetrierte Quadranten innerhalb der Wurzelquerschnitte festgestellt werden. Im Rahmen dieser Auswertung, in welche nur Zähne mit einer sowohl in vestibulo-oraler als auch in mesio-distaler Strahlenrichtung röntgenologisch homogenen Wurzelkanalfüllung eingingen, ließen die Gruppen 1 und 3, gefolgt von der Gruppe 2, die besten Ergebnisse bezüglich des Ausmaßes der Farbstoffpenetration erkennen.

4.3. Dokumentation von Sonderfällen

Nachfolgend werden anhand zweier Beispiele die Möglichkeiten der intrakanalären Applikationsmethode von EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* dargestellt.

Die Abbildung 34 (S. 71) gibt die in vestibulo-oraler und mesio-distaler Richtung angefertigten Röntgenbilder eines Unterkiefer-Frontzahnes vor der Wurzelkanalbehandlung wieder. Die vestibulo-orale Röntgendiagnostik zeigt eine Wurzel mit einem Wurzelkanal. Dagegen lässt die Zahnwurzel in mesio-distaler Strahlenrichtung zwei Wurzelkanäle vermuten, welche sich im apikalen Wurzeldrittel vereinigen und in einem gemeinsamen Foramen apicale enden. Diese spezielle Wurzelkanalform entspricht einer Typ II-Wurzelkanalkonfiguration [141]. Die Wurzelkanalfüllung erfolgte nach abgeschlossener Wurzelkanalaufbereitung mit EndoEZE. Dabei kam eine reine Pastentechnik zur Verwendung, wobei sich die *Navi Tip* während der intrakanalären Injektion von EndoREZ (Ultradent Products, USA) nur im vestibulären Wurzelkanal befand. Die Abbildung 35 (S. 71) zeigt die zwei in zueinander senkrechten Strahlenrichtungen angefertigten Röntgenkontrollaufnahmen. Bei der Betrachtung dieser Röntgenbilder ist hervorzuheben, dass bei dieser Art der Wurzelkanalfüllung neben dem vestibulären auch der orale Wurzelkanal röntgenologisch homogen abgefüllt werden konnte.

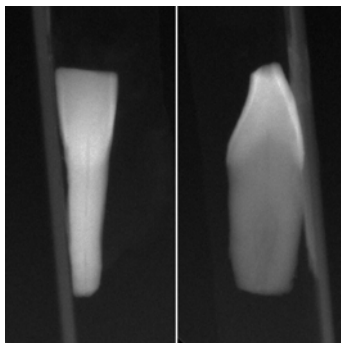


Abbildung 34: Zahn mit spezieller Wurzelkanalkonfiguration in Form eines Typ II-Kanals

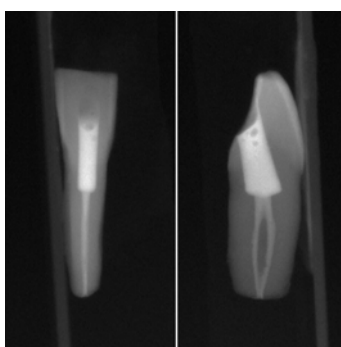
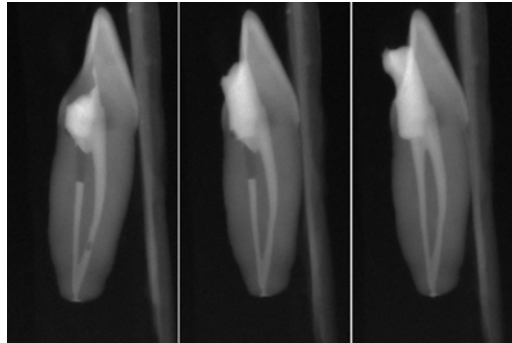


Abbildung 35: Zahn aus Abbildung 34 (S.71) nach abgeschlossener Wurzelkanalfüllung durch reine Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA)

In der folgenden Abbildung 36 (S. 72) sind die mesio-distalen Röntgenkontrollaufnahmen eines Zahnes dargestellt, der in der Röntgenvoruntersuchung ebenfalls als ein Zahn mit einer Typ II-Wurzelkanalkonfiguration identifiziert wurde. Seine Wurzelkanäle wurden nach abgeschlossener Wurzelkanalaufbereitung entsprechend des Zahnes aus Abbildung 34 (S. 71) und Abbildung 35 (S. 71) in Form einer reinen Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) gefüllt. In der ersten Röntgenkontrollaufnahme war zu beobachten, dass die Wurzelkanäle nicht vollständig bzw. nicht homogen gefüllt waren (Abbildung 36, S. 72; links). Deshalb kam es nachfolgend über den vestibulären Wurzelkanal des Zahnes zu einer weiteren Applikation von EndoREZ (Ultradent Products, USA) in die bereits vorhandene, noch nicht abgebunden Wurzelkanalfüllung. Die zweite Röntgenkontrollaufnahme (Abbildung 36, S. 72; Mitte) ließ bereits homogen gefüllte Wurzelkanäle erkennen, wobei der orale Wurzelkanal immer noch nicht in seiner vollständigen Länge gefüllt war. Nach der abschließenden dritten Applikation von EndoREZ (Ultradent Products, USA), bei welcher wiederum die Injektion des Wurzelkanalfüllmaterials mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* über den vestibulären Wurzelkanal erfolgte, war schlussendlich ein röntgenologisch

homogen und vollständig gefülltes Wurzelkanalsystem zu erkennen (Abbildung 36, S. 72; rechts).



*Abbildung 36: mesio-distale Röntgenkontrollaufnahmen eines Zahnes mit Typ II-Wurzelkanalkonfiguration
Verlaufsdokumentation einer Wurzelkanalfüllung durch reine Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA)*

5. DISKUSSION

5.1. Material und Methode

Die Aufgabe einer die Wurzelkanalbehandlung abschließenden Wurzelkanalfüllung ist ein dauerhaft hermetischer und bakteriendichter Verschluss des gesamten endodontischen Kanalsystems. Der nach beendeter Wurzelkanalaufbereitung geschaffene Zustand der größtmöglichen Keimarmut soll hierdurch konserviert und gleichzeitig eine Reinfektion des Wurzelkanals verhindert werden [45, 51, 144]. Es erscheint logisch, dass diese allgemeingültigen Anforderungen an eine Wurzelkanalfüllung nur dann erfüllt werden können, wenn einerseits die Wurzelkanalfüllung den Wurzelkanal im Sinne einer dreidimensionalen Obturation vollständig zu verschließen vermag und gleichzeitig die zur Wurzelfüllung verwendeten Materialien gegenüber Bakterien und Toxinen dicht sind. Um die Eignung des kunststoffbasierten Wurzelkanalsealers EndoREZ (Ultradent Products, USA) bei orthograder Wurzelkanalfüllung bewerten zu können, sollte diese in vitro-Untersuchung deshalb zunächst eine Aussage über seine Versiegelungseigenschaften bei unterschiedlichen orthograden Wurzelkanalfülltechniken liefern. Darüberhinaus sollten die Möglichkeiten der intrakanalären Injektion von EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* hinsichtlich der Fähigkeit, eine dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals zu erzielen, untersucht werden.

Das Ziel einer jeden in vitro-Untersuchung ist es, aussagekräftige und klinisch relevante Ergebnisse zu erhalten. Um dieses Ziel erfüllen zu können, ist eine Standardisierung der Untersuchungsmethodik notwendig. Aus diesem Grund wurden in einigen in vitro-Studien zur qualitativen Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen künstliche Wurzelkanäle verwendet [73, 147, 148]. Da hierbei jedoch die Wechselwirkungen zwischen natürlichem Zahn und Wurzelkanalfüllmaterial unberücksichtigt bleiben, ist die klinische Aussagekraft solcher Studien eher als gering einzustufen. Deshalb wird die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen in den meisten Fällen anhand natürlicher, extrahierter Zähne untersucht und bewertet. Trotz der bei natürlichen Zähnen vorkommenden Variabilität ihrer Wurzelkanalsysteme kann durch eine Vorauswahl der in die Untersuchung eingehenden Zähne eine Standardisierung des Untersuchungsgutes erzielt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden deshalb nur einwurzelige Zähne verwendet, die zudem mit Hilfe der digitalen Röntgentechnik bezüglich ihrer Wurzelkanalmorphologie voruntersucht wurden. Dieser Untersuchungsteil entsprach der

auch im klinischen Ablauf zu Beginn einer Wurzelkanalbehandlung durchgeführten Röntgendiagnostik. Neben den in der Praxis zugänglichen Röntgenbildern mit vestibuloraler Strahlenrichtung wurden sämtliche Zähne zusätzlich in mesio-distaler Richtung geröntgt. Hierdurch konnten spezielle Wurzelkanalkonfigurationen, wie beispielsweise Typ II-Konfigurationen, erkannt werden. Mit Hilfe dieser Röntgenvoruntersuchung wurden 90 einwurzelige Zähne mit einem Wurzelkanal (Typ I) und geradem Kanalverlauf identifiziert. Diese Zähne wurden daraufhin für die Dichtigkeitsuntersuchung der Wurzelkanalfüllung herangezogen und sollten eine größtmögliche Standardisierung des Untersuchungsgutes sicherstellen. Die restlichen 18 Zähne, die insbesondere Typ II-Wurzelkanalkonfigurationen aufwiesen, wurden als Gruppe zur Dokumentation von Sonderfällen eingruppiert. Sie sollten im Rahmen eines zweiten Untersuchungsteils eine Bewertung und Beurteilung der Einsatzmöglichkeit des speziellen Applikationssystems von EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* bei der Wurzelkanalfüllung von Zähnen mit spezieller Kanalanatomie ermöglichen.

Bei der Betrachtung der in der Literatur veröffentlichten Studien über die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen fallen trotz der annähernd gleichen Untersuchungsmethoden zum Teil große Schwankungen und Unterschiede bezüglich der ermittelten Ergebnisse auf [153]. Dies kann zum Teil dadurch erklärt werden, dass die Qualität der zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen sicherlich auch von der Erfahrung und dem Geschick des jeweiligen Behandlers abhängt. Deshalb wurde das in der Untersuchung zur Wurzelkanalbehandlung eingesetzte „System AET“ (Ultradent Products, USA) noch vor Versuchbeginn an 30 extrahierten Zähnen angewendet und erlernt. Hierdurch sollte der behandlerbedingte Fehler bei der Aufbereitung und Füllung der Wurzelkanäle möglichst gering gehalten werden.

Selbst bei Dichtigkeitsuntersuchungen, die von ein und derselben Person angefertigt wurden, konnte eine nur geringe Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse festgestellt werden [153]. Folglich wird die Aussagekraft solcher Untersuchungen von einigen Autoren als fraglich angesehen. Allerdings stellt sich hier die Frage, ob die Ursache für diese fragliche Aussagefähigkeit nicht eher in der Methodik dieser Studien zu suchen ist, da die zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen vor der eigentlichen Dichtigkeitsuntersuchung keiner Qualitätskontrolle unterlagen. Im Rahmen der klinischen Vorgehensweise wird die Qualität einer Wurzelkanalfüllung anhand von Röntgenkontrollaufnahmen nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung beurteilt. Die Kriterien, die bei dieser röntgenologischen Qualitätskontrolle herangezogen werden, sind insbesondere die apikale Ausdehnung der

Wurzelkanalfüllung und ihre Homogenität, beziehungsweise das Vorhandensein von Porositäten und Lunkern. Es erscheint sinnvoll, nur Wurzelkanalfüllungen einer Dichtigkeitsuntersuchung beikommen zu lassen, die auch einer klinischen, röntgenologischen Gütekontrolle standhalten. Aus diesem Grund wurde bei dieser Studie vor der eigentlichen Untersuchung zur Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen eine dem klinischen Alltag entsprechende, röntgenologische Qualitätskontrolle in vestibulo-oraler Strahlenrichtung durchgeführt. An der anschließenden Dichtigkeitsuntersuchung mittels Farbstoffpenetrationstest mit Methylenblau nahmen nur die Zähne teil, welche hinsichtlich des Kriteriums der röntgenologischen Homogenität als positiv bewertet wurden. Hierdurch war eine weitere Standardisierung des Untersuchungsgutes möglich. Da die Wurzelspitzen der Zähne zur Vorbereitung des Farbstoffpenetrationstests bis zum apikalen Beginn der Wurzelkanalfüllung abgetrennt wurden, war demgegenüber das Kriterium der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung keine Voraussetzung zur Teilnahme an der Dichtigkeitsuntersuchung.

Die Eignung einer in vestibulo-oraler Richtung angefertigten Röntgenkontrollaufnahme zur Qualitätskontrolle einer Wurzelkanalfüllung wird jedoch in einigen in der Vergangenheit veröffentlichten Publikationen kritisch hinterfragt [156, 127]. Bei der röntgenologischen Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen in mesio-distaler Richtung konnten gegenüber den vestibulo-oralen Röntgenkontrollaufnahmen insbesondere Porositäten und Lunker innerhalb der untersuchten Wurzelkanalfüllung signifikant häufiger nachgewiesen werden [127]. Deshalb wurden bei der vorliegenden Untersuchung neben der klinisch verfügbaren Röntgenkontrolle in vestibulo-oraler Strahlenrichtung zusätzlich mesio-distale Röntgenkontrollaufnahmen der wurzelgefüllten Zähne angefertigt. Hierdurch war eine verbesserte Qualitätskontrolle der in die Untersuchung eingehenden Wurzelkanalfüllungen möglich, da durch eine Aneinanderkopplung der Ergebnisse der eigentlich zweidimensionalen Röntgenbilder beider Strahlenrichtungen eine dreidimensionale Beurteilung der Wurzelkanalfüllungen möglich wurde. In einem zweiten Auswertungsteil des Farbstoffpenetrationstests wurden deshalb nur die Zähne verwendet, deren röntgenologisches Homogenitätskriterium in beiden Strahlenrichtungen positiv bewertet wurde. Somit konnte das Untersuchungsgut nochmals differenziert und standardisiert werden.

Neben der Aufgabe, die Dichtigkeitsuntersuchung zu standardisieren und somit möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollten durch eine separate Auswertung der Röntgenkontrollaufnahmen die in dieser Untersuchung eingesetzten Wurzelkanal-

fülltechniken (laterale Kondensation, Zentralstifttechnik, isolierte Pastentechnik) hinsichtlich der Fähigkeit zur dreidimensionalen Obturation des Wurzelkanals beurteilt werden.

Zur Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen sind eine Vielzahl von in vitro-Methoden beschrieben worden. Die in der vorliegenden Untersuchung angewandte semi-quantitative Methode mittels eines Farbstoffpenetrationstests mit Methyleneblau stellt eine der am häufigsten eingesetzten Testverfahren dar. Das Prinzip sämtlicher semi-quantitativer Verfahren beruht auf der Tatsache, dass entlang bzw. durch die Wurzelkanalfüllung penetrierende Bakterien und Toxine eine endodontale Reinfektion auslösen und somit die Ursache für einen endodontischen Misserfolg darstellen können [21]. Mit Hilfe von Farbstoffen, wie zum Beispiel der in dieser Studie verwendeten 2%igen Methyleneblau-Lösung (pH 7,0), soll eine mögliche Penetration von Bakterien und Toxinen durch die zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen imitiert werden. Anhand der stattgefundenen Markerpenetration kann anschließend auf das Ausmaß der Undichtigkeit der Wurzelfüllung geschlossen werden. Bei der Wahl des verwendeten Farbstoffs ist zu beachten, dass seine Molekül- bzw. Teilchengröße, sein pH-Wert und seine chemische Reaktionsfähigkeit das Ausmaß der Penetration und somit das Ergebnis des Farbstoffpenetrationstests mitbestimmen [153]. Je größer die Molekül- bzw. Teilchengröße des verwendeten Markers, desto geringer wird das Ausmaß der Penetration ausfallen. Diese Annahme konnte in der Vergangenheit durch eine in vitro-Untersuchung von AHLBERG bestätigt werden [5]. Auf Grund der kleinen Molekülgröße von Methyleneblau, welche der molekularen Größe von Bakterien und ihrer Toxine vergleichbar ist, wird Methyleneblau als ein geeigneter Indikator für die klinisch relevante Undichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen angesehen [74]. Neben der Teilchengröße wird die Penetration durch den pH-Wert der verwendeten Farbstofflösung beeinflusst. So wird vermutet, dass insbesondere saure Farbstofflösungen durch eine Demineralisation des Dentins zu einer stärkeren Penetration des Farbstoffs führen [153]. Auf Grund dieser in der Literatur beschriebenen Tatsachen wurde in der vorliegenden Studie eine wässrige Methyleneblau-Lösung mit pH 7,0 als Marker für die Dichtigkeitsuntersuchung verwendet. Hinsichtlich der Konzentration der eingesetzten Farbstofflösung und der Penetrationsdauer, der die zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen ausgesetzt werden, herrscht in den Publikationen große Variabilität [153]. Die Konzentrationen einer wässrigen Methyleneblau-Lösung bei Farbstoffpenetrationstests bewegen sich in einem Bereich zwischen 0,2 % - 5 %. Ebenso schwankt die Penetrationsdauer innerhalb der veröffentlichten Studien zwischen 24 Stunden und 2 Wochen. Beim Vergleich dieser Studien kann keine eindeutige Proportionalität dieser beiden Parameter zu den ermittelten Ergebnissen erkannt werden. Dies bedeutet, dass

eine größere Konzentration der verwendeten Markerlösung oder eine längere Penetrationsdauer nicht automatisch zu einem größeren Penetrationsausmaß führen. Folglich ist anzunehmen, dass darüberhinaus weitere Faktoren das Ergebnis solcher Farbstoffpenetrationstests beeinflussen, welche noch nicht vollkommen geklärt sind. Als einer dieser Faktoren kann zum Beispiel eine mögliche Entfärbung der zur Dichtigkeitsuntersuchung verwendeten Farbstofflösung durch dentale Füllstoffe angesehen werden [151]. In der jüngsten Vergangenheit wird deshalb insbesondere die Methodik solcher Dichtigkeitsuntersuchungen kritisch überprüft und eine Standardisierung dieser Tests angestrebt. So lange darüber keine Klarheit herrscht, lassen sich die Ergebnisse der einzelnen Studien nicht ohne weiteres miteinander vergleichen. Vielmehr müssen sie eigenständig bewertet werden und benötigen in ihrem Versuchsaufbau stets den Vergleich mit dem in vitro wie auch in vivo als Goldstandard geltenden Verfahren. Deshalb wurden in der vorliegenden Untersuchung die hinsichtlich ihrer Dichtigkeit zu überprüfenden Wurzelkanalfüllungen mit der als Goldstandard angesehenen lateralen Kondensation von Guttapercha und AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) als Sealer verglichen.

Auch hinsichtlich der Methode zur Darstellung der stattgefundenen Farbstoffpenetration sind in der Literatur verschiedene Möglichkeiten beschrieben worden. Zum einen können nach Ablauf der Penetrationsphase Längsbrüche der Zahnwurzeln angefertigt werden, anhand welcher anschließend die Tiefe der Farbstoffpenetration linear abgemessen werden kann. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die hierdurch zur Beurteilung freigelegten Dentin- und Wurzelkanaloberflächen das maximale Ausmaß der Farbstoffpenetration zeigen. Bei einem weiteren von TAGGER beschriebenen Verfahren gelingt es durch eine spezielle Vorbehandlung der Zähne mit chemischen Lösungen die Zahnwurzeln transparent werden zu lassen [134]. Hierdurch wird eine direkte Sicht auf die vollständige Oberfläche der Wurzelkanalfüllung ermöglicht. Beiden Verfahren gemein ist jedoch, dass sie nur eine beschränkte Information hinsichtlich der Farbstoffpenetration liefern. Mit ihnen lässt sich nur die Eindringtiefe des Farbstoffs entlang der Wurzelkanalfüllung und somit die Penetrationstiefe ermitteln. In wie fern sich der Farbstoff innerhalb der Wurzelkanalfüllung ausbreitet, bleibt der Beurteilung dagegen verwehrt. Auf Grund dieser Tatsache wurde in der vorliegenden Studie dem dritten in der Literatur beschriebenen Verfahren der Vorzug gegeben. Hierbei werden nach abgeschlossener Penetrationsphase serielle Querschnitte der Zahnwurzeln angefertigt. Neben der Farbstoffpenetrationstiefe, die anhand der bekannten Dicke der Querschnitte und des durch den Sägeprozess hervorgerufenen Materialverlustes berechnet werden kann, ermöglicht diese Methode darüberhinaus die Ermittlung weiterer

Informationen bezüglich der stattgefundenen Penetration. So kann der eigentliche Penetrationsgrad wesentlich realitätsnäher und quantifizierter wiedergegeben werden, wenn zusätzlich zur Penetrationstiefe des Farbstoffs seine flächige Ausdehnung innerhalb der Querschnitte bestimmt wird. Hierfür wurden die zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen in Quadranten unterteilt und bezüglich einer vorliegenden Farbstoffpenetration beurteilt. Sicherlich kann mittels dieser Methode das reale Ausmaß der Markerpenetration nur annäherungsweise ermittelt werden. Genauere Aussagen diesbezüglich könnte man erhalten, wenn die Anzahl der zu beurteilenden Wurzelkanalsegmente möglichst groß gewählt würde. Da sich aber im Laufe der Untersuchung bei der lichtmikroskopischen Betrachtung der Wurzelquerschnitte die Beurteilbarkeit insbesondere kleinerer Farbstoffpenetrationsbereiche als schwierig erwies, wurde nach Abwägung der Vor- und Nachteile eine Einteilung der Wurzelkanalfüllungen in vier Segmente zur Ermittlung dieses Untersuchungsparameters als ausreichend angesehen. Ein weiterer Vorteil der in dieser Untersuchung angewandten Methodik besteht darin, dass die Querschnitte der Zahnwurzeln zudem eine Beurteilung des Penetrationstyps zulassen. Es wurden dabei drei verschiedene Typen voneinander unterschieden. Zum einen die Penetration des Farbstoffs durch das Dentin bzw. durch die Wurzelkanalfüllung, und zum anderen die Farbstoffpenetration zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin. Mittels dieser Daten können die Schwachstellen der jeweiligen Wurzelkanalfüllung hinsichtlich einer stattgefundenen Farbstoffpenetration dargestellt werden. Diese Informationen könnten zudem insbesondere für den Hersteller wichtige Daten liefern, mit welchen eine sinnvolle Weiterentwicklung und Verbesserung der zur Wurzelkanalfüllung angewandten Technik und Materialien erzielt werden könnte. Trotz des Nachteils der Methodik der seriellen Wurzelquerschnitte, dass auf Grund der durch den Sägeprozess bedingten Substanzverluste die maximale Penetrationstiefe in einigen Fällen nicht exakt bestimmt werden kann, liefert dieses Verfahren zur Darstellung der stattgefundenen Farbstoffpenetration doch den größten Informationsgehalt.

5.2. Versuchsergebnisse

5.2.1. Röntgenbilder

Durch den Vergleich der Ergebnisse der in vestibulo-oraler und mesio-distaler Strahlenrichtung angefertigten Röntgenkontrollaufnahmen konnte zunächst die Aussagefähigkeit solcher zur Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen verwendeten Methoden bewertet werden. Insbesondere die Tauglichkeit der im klinischen Alltag zur Verfügung stehenden Röntgenbilder in vestibulo-oraler Richtung muss auf Grund der in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse kritisch hinterfragt werden. In vestibulo-oraler Strahlenrichtung wurden 83,75 % der untersuchten Wurzelkanalfüllungen (67 von 80) als röntgenologisch homogen bewertet. Dagegen konnten bei mesio-distaler Strahlenrichtung nur noch 68,75 % aller Wurzelkanalfüllungen (55 von 80) eine positive Bewertung bezüglich des Kriteriums der röntgenologischen Homogenität erhalten. Hinsichtlich des Kriteriums der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung wurden für beide Strahlenrichtungen gleiche Ergebnisse ermittelt. In beiden Fällen waren 96,25 % der untersuchten Wurzelkanäle (77 von 80) apikal vollständig bis zur bei der Aufbereitung verwendeten Arbeitslänge gefüllt. Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so wird klar, dass sich die klinisch zugängliche Röntgenkontrollaufnahme in vestibulo-oraler Strahlenrichtung lediglich zur Bestimmung und Beurteilung der apikalen Länge und Ausdehnung einer Wurzelkanalfüllung eignet. Mängel in der Obturation der Wurzelkanäle, welche sich auf Grund von Porositäten und Lunkern als röntgenologische Inhomogenität darstellen, können bei diesen vestibulo-oralen Kontrollaufnahmen dagegen häufig übersehen werden. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse korrelieren mit den Aussagen von bereits publizierten Studien [156, 127]. Möglicherweise lassen sich hierdurch klinische Fälle erklären, welche trotz einer als gut bewerteten Wurzelkanalbehandlung zu einem endodontischen Misserfolg führten [25].

Die drei in dieser Arbeit eingesetzten Wurzelkanalfülltechniken (laterale Kondensation, Zentralstifttechnik, isolierte Pastentechnik) konnten mit Hilfe der Auswertung der Röntgenkontrollaufnahmen bezüglich ihrer Fähigkeit zur dreidimensionalen Obturation des Wurzelkanals bewertet werden. Für das Erreichen der vollständigen Arbeitslänge konnte zwischen den einzelnen Gruppen zwar kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden, jedoch zeigte sich eine von der Wurzelkanalfülltechnik abhängige Tendenz. So fern Guttapercha-Stifte als volumenstabiles Kernmaterial zur Verwendung kamen, konnte bei 98,48 % der untersuchten Wurzelkanalfüllungen das Beurteilungskriterium „Arbeitslänge“ als

positiv bewertet werden. Von den insgesamt 66 nach der lateralen Kondensation und Zentralstifttechnik abgefüllten Wurzelkanälen wurde nur in einem Fall die apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung als ungenügend beurteilt. Dagegen wurde von den insgesamt 14 Wurzelkanälen, die nach einer isolierten Pastentechnik mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* abgefüllt wurden, nur in 85,71 % der Fälle (12 von 14) die Arbeitslänge vollständig erreicht. Es ist somit anzunehmen, dass gegenüber der alleinigen Injektion von EndoREZ (Ultradent Products, USA) (isolierte Pastentechnik) durch den zusätzlichen Einsatz von Guttapercha-Stiften (Zentralstifttechnik, laterale Kondensation) eine höhere Längensicherheit der Wurzelkanalfüllung erzielt werden kann.

Bei alleiniger Betrachtung der Ergebnisse zur röntgenologischen Homogenität in vestibulo-oraler Strahlenrichtung konnten zwischen den untersuchten Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede erkannt werden. Jedoch konnte der Vergleich der drei verschiedenen Obturationstechniken (laterale Kondensation, Zentralstifttechnik, isolierte Pastentechnik) eine gewisse Tendenz aufzeigen. Die besten Ergebnisse erzielte die laterale Kondensationstechnik, bei welcher die Wurzelkanäle zu 100 % (22 von 22) als röntgenologisch homogen bewertet wurden. Dagegen konnten mittels der Zentralstifttechnik nur 79,55 % der Wurzelkanäle (35 von 44) homogen abgefüllt werden. Die nach der isolierten Pastentechnik abgefüllten Wurzelkanäle zeigten innerhalb dieses Vergleichs die schlechtesten Ergebnisse. Von insgesamt 14 untersuchten Wurzelkanälen waren nur 71,43 % (10 von 14) röntgenologisch homogen gefüllt. Diese Ergebnisse scheinen die bisher allgemeingültige Ansicht, die laterale Kondensationstechnik sei der Zentralstift- und Pastentechnik bezüglich der Fähigkeit zur homogenen Obturation des Wurzelkanals überlegen [52, 77], zunächst zu bestätigen. Wie bereits weiter oben erwähnt, muss die Aussagekraft dieser zur Qualitätskontrolle einer Wurzelkanalfüllung angefertigten vestibulo-oralen Röntgenkontrolle jedoch kritisch hinterfragt werden. Ihr Problem ist sicherlich die nur zweidimensionale Darstellung der an sich dreidimensionalen Struktur der Wurzelkanalfüllung. Um eine Annäherung an die Dreidimensionalität der Wurzelkanalfüllung zu ermöglichen, wurden deshalb die Ergebnisse der mesio-distalen Homogenität in Abhängigkeit der vestibulo-oralen Homogenität beurteilt. Dabei fiel auf, dass die insgesamt 10 nach isolierter Pastentechnik mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* angefertigten Wurzelkanalfüllungen, die bereits in vestibulo-oraler Strahlenrichtung als homogen bewertet wurden, zu 100 % eine mesio-distale Homogenität der Wurzelfüllung (10 von 10) aufwiesen. Demgegenüber zeigten die nach der lateralen Kondensation und der Zentralstifttechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen trotz einer zuvor festgestellten vestibulo-oralen Homogenität zum Teil Inhomogenitäten in mesio-

distaler Strahlenrichtung. Demnach wurden nun für die laterale Kondensationstechnik 4 von 22 Wurzelkanalfüllungen (18,18 %) in mesio-distaler Richtung als inhomogen bewertet. Für die Zentralstifttechnik waren es 8 von 35 Wurzelkanalfüllungen (22,86 %). Bei der Diskussion dieser Ergebnisse fällt zunächst bezüglich der lateralen Kondensationstechnik auf, dass die 4 in mesio-distaler Strahlenrichtung als inhomogen bewerteten Wurzelkanalfüllungen ausschließlich bei Zähnen mit ovalem Wurzelkanalquerschnitt erzielt wurden. Diese Tatsache offenbart die Schwierigkeiten der zur Wurzelkanalfüllung angewandten lateralen Kondensation von Guttapercha. Mit dieser Wurzelkanalfülltechnik sind insbesondere Wurzelkanäle mit ovalem Querschnitt und schmalen Isthmus nur schwer vollständig im Sinne einer dreidimensionalen Obturation zu füllen (Abbildung 24, S. 52, und Abbildung 27, S. 53) [150]. Hinsichtlich der isolierten Pastentechnik ließen die ermittelten Ergebnisse interessante Schlussfolgerungen zu. Bislang galt die isolierte Pastentechnik als eine inakzeptable Obturationstechnik. Einer der Gründe war sicherlich die Applikation der Wurzelkanalfüllpaste mittels Lentulo, womit nur inhomogene Wurzelkanalfüllungen mit Lufteinschlüssen zu erzielen waren. Im Rahmen dieser Untersuchung stellte sich jedoch die isolierte Pastentechnik mittels des speziellen Applikationssystems durch *Skini Syringe* und *Navi Tip* als eine Wurzelkanalfüllmethode heraus, mit der eine akzeptable dreidimensionale Obturation auch ovaler Wurzelkanalquerschnitte möglich erscheint (Abbildung 27, S. 53). Hervorzuheben ist zudem die Tatsache, dass alle nach isolierter Pastentechnik mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* angefertigten Wurzelkanalfüllungen, die in vestibulo-oraler Strahlenrichtung röntgenologisch homogen waren, auch in mesio-distaler Strahlenrichtung eine röntgenologische Homogenität aufwiesen. Dies könnte im klinischen Alltag eine Bedeutung haben, da dem Behandler zur Qualitätskontrolle der Wurzelkanalfüllung nur Röntgenbilder in vestibulo-oraler Strahlenrichtung zur Verfügung stehen. Neben diesen positiven Erkenntnissen hinsichtlich der Möglichkeiten, die diese spezielle Applikationsmethode bietet, kann jedoch eine Problematik ihrer Anwendung nicht geleugnet werden. So stellt sich das blasenfreie Applizieren des Sealers im Wurzelkanal zum Teil als schwierig dar und erfordert sicherlich seitens des dieses System anwendenden Behandlers eine Lern- und Übungsphase. Gleichzeitig lassen sich aber röntgenologisch inhomogen gefüllte Wurzelkanäle durch eine wiederholte Applikation von EndoREZ (Ultradent Products, USA) unmittelbar nach Anfertigung der Röntgenkontrollaufnahme leicht vollständig abfüllen (Abbildung 36, S. 72). Für die nach der Zentralstifttechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen, bei denen neben der Applikation des Sealers mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* zusätzlich ein Guttapercha-Stift als volumenstabiles Kernmaterial zum Einsatz kam, hätte

man zumindest mit der isolierten Pastentechnik vergleichbare Ergebnisse erwartet. Tatsächlich stehen jedoch die Ergebnisse der Zentralstifttechnik zunächst in einem Widerspruch zu den positiven Resultaten der isolierten Pastentechnik. Dieser lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass inhomogen abgefüllte Wurzelkanalbereiche bei der Zentralstifttechnik auf Grund der Röntgenopazität der zusätzlich verwendeten Guttapercha-Stifte in vestibulo-oraler Strahlenrichtung unerkannt blieben, während sie bei alleiniger Pastentechnik erkannt wurden.

Bedingt durch die besondere Anatomie des Wurzelkanalsystems ergeben sich teilweise Situationen, die eine dreidimensionale Obturation des Kanalsystems nur schwer oder sogar unmöglich machen. Hierzu zählen spezielle Wurzelkanalmorphologien, wie zum Beispiel Typ II-Kanalmorphologien, oder auch interne Resorptionslakunen. Die Dokumentation der Wurzelkanalfüllung solcher Sonderfälle mittels des Einsatzes des speziellen Applikationssystems von EndoREZ (Ultradent Products, USA) konnte zeigen, dass auch solche Kanalanatomien mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* dreidimensional röntgenologisch homogen abgefüllt werden können (Abbildung 35, S. 71, und Abbildung 36, S. 72).

5.2.2. Farbstoffpenetrationstest

Der Versuchsaufbau des Farbstoffpenetrationstests konnte zunächst durch die Ergebnisse der Positiv- und Negativkontrollgruppe (Gruppe 7 und 8) überprüft und seine Funktionstüchtigkeit dadurch bestätigt werden. So konnte zum einen bei keinem der fünf Zähne, die vollständig im Sinne einer Negativkontrolle (Gruppe 8) mit Nagellack versiegelt wurden, eine Farbstoffpenetration erkannt bzw. nachgewiesen werden. Hiermit konnte die Funktion des Nagellacks, der einen ungewollten Zutritt von Farbstofflösung verhindern und diesen gleichzeitig für die Gruppen 1 bis 7 nur von apikal her ermöglichen sollte, nachgewiesen werden. Demgegenüber dienten die fünf Zähne der Positivkontrollgruppe (Gruppe 7), deren Wurzelkanäle nach der lateralen Kondensation von Guttapercha ohne zusätzliche Verwendung eines Sealers abgefüllt wurden, zur Kontrolle, ob durch Entfernung der Wurzelspitze und somit Freilegung des apikalen Bereichs der Wurzelkanalfüllung eine Farbstoffpenetration entlang dieser ermöglicht wird. Die hinsichtlich der Farbstoffpenetrationstiefe und des Ausmaßes der Farbstoffpenetration für die Gruppe 7 ermittelten Ergebnisse konnten diese Frage bejahen. Ergebnisse bereits in der Vergangenheit veröffentlichter Untersuchungen konnten dadurch ebenfalls bestätigt werden, wonach die

laterale Kondensation von Guttapercha ohne Verwendung eines Sealers zu einer nur ungenügend dichten Obturation des Wurzelkanals führt [83, 133].

Die Ergebnisse der Farbstoffpenetrationstiefe und des Ausmaßes der Farbstoffpenetration ermöglichten eine Aussage bezüglich der Versiegelungseigenschaften der untersuchten Wurzelkanalfüllungen. Im ersten Auswertungsteil, in welchem nur Zähne mit einer in vestibulo-oraler Strahlenrichtung als röntgenologisch homogen bewerteten Wurzelkanalfüllung ausgewertet wurden, konnten für die Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) und 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) die besten Ergebnisse erzielt werden. Durch Differenzierung des Auswertungskollektivs, wonach nur Zähne mit sowohl in vestibulo-oraler als auch in mesio-distaler Strahlenrichtung röntgenologisch homogener Wurzelkanalfüllung ausgewertet wurden, war im zweiten Auswertungsteil für alle untersuchten Gruppen mit Ausnahme der Gruppe 2, deren Auswertungskollektiv in beiden Auswertungsteilen identisch war, eine Verbesserung der Versiegelungseigenschaften zu erwarten. Diese konnte jedoch nur für die Gruppen 1 (laterale Kondensation; AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)) und 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) festgestellt werden. Im Gegensatz dazu war die erwartete Verbesserung der Ergebnisse für die nach der Zentralstifttechnik abgefüllten Wurzelkanäle der Gruppen 4 bis 6 nicht zu erkennen. Es zeigte sich, dass für diese Gruppen keine Korrelation zwischen der röntgenologischen Homogenität und der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen bestand. Letztendlich waren die Gruppen 4 bis 6 hinsichtlich ihrer Versiegelungseigenschaft den Gruppen 1 bis 3, die im Rahmen dieser Dichtigkeitsuntersuchung miteinander vergleichbare Ergebnisse erzielten, unterlegen. In der Vergangenheit veröffentlichte Dichtigkeitsuntersuchungen konnten bereits zeigen, dass mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) als Sealer bei einer Guttapercha-Wurzelkanalfüllung im Vergleich zu AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) ähnliche Dichtigkeiten der Wurzelkanalfüllungen zu erzielen sind [69]. Diese Ergebnisse korrelieren mit der in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Versiegelungseigenschaft von EndoREZ (Ultradent Products, USA) als Sealer bei lateraler Kondensation von Guttapercha. Die im Rahmen der Dichtigkeitsuntersuchung ermittelten Ergebnisse der Gruppe 3 fielen in dieser in vitro-Untersuchung gegenüber der Gruppe 1 sogar geringfügig besser aus, wenngleich zwischen beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte. Entgegen der bislang allgemein anerkannten Meinung, dass mittels einer isolierten Pastentechnik keine ausreichend dichte Obturation des Wurzelkanals zu erzielen sei, waren die Ergebnisse der Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) den Dichtigkeiten der nach lateraler

Kondensation von Guttapercha mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) bzw. AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) als Sealer absolut vergleichbar. In der Literatur wurden bisher keine Untersuchungen über eine isolierte Pastentechnik von EndoREZ (Ultradent Products, USA) beschrieben, die einen Vergleich mit den in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnissen ermöglichen. Die Tatsache, dass bei isolierter Pastentechnik mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* eine homogene Obturation des Wurzelkanals mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) erzielt werden kann und dieses Wurzelkanalfüllmaterial gleichzeitig, wie die Untersuchung der Materialeigenschaften zuvor zeigte, selbst keine Farbstoffpenetration zulässt, erklärt die überraschenden Ergebnisse der Gruppe 2. Mit Hilfe der Ergebnisse bezüglich der Lokalisation der Farbstoffpenetration konnte der Nachteil einer mittels isolierter Pastentechnik angefertigten Wurzelkanalfüllung dargestellt werden. So zeigten 97,50 % der farbstoffpenetrierten Wurzelquerschnitte der Gruppe 2 eine Farbstoffpenetration zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin (Abbildung 29, S. 62). Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in einer durch die Abbindekontraktion von EndoREZ (Ultradent Products, USA) verursachten Spaltbildung zwischen Dentin und Wurzelkanalfüllmaterial. Für die Gruppen 1 und 3, bei welchen auf Grund der lateralen Kondensationstechnik eine gegenüber der Gruppe 2 geringere Farbstoffpenetration zwischen Wurzelkanalfüllung und Dentin zu erwarten war, konnte ebenfalls in nahezu 100 % der penetrierten Querschnitte ein solcher Penetrationstyp festgestellt werden (Abbildung 28, S. 62, und Abbildung 30, S. 63). Dies lässt sich dahingehend interpretieren, dass der Vorteil der lateralen Kondensationstechnik, die gegenüber der Pastentechnik durch die akzessorische Verwendung eines volumenstabilen Kernmaterials die Abbindekontraktion des Sealers weitestgehend minimieren soll, lediglich in der Theorie besteht. Vielmehr ist in der Praxis auf Grund der schwierigen Technik der lateralen Kondensation damit zu rechnen, dass Bereiche im Wurzelkanal verbleiben, die nicht mit einem Sealer versiegelt sind und somit eine Undichtigkeit der Wurzelkanalfüllung darstellen [152]. Wie bereits weiter oben erwähnt, waren die nach der Zentralstifttechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen der Gruppen 4 bis 6 hinsichtlich ihrer Versiegelungseigenschaft den Gruppen 1 bis 3 unterlegen. Bereits in einer von KARDON veröffentlichten Dichtigkeitsuntersuchung schnitt die Zentralstifttechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) gegenüber den Vergleichsgruppen signifikant schlechter ab [68]. Als mögliche Ursache hierfür wurde die sich in SEM-Bildern darstellende Porosität des abgebundenen Sealers EndoREZ (Ultradent Products, USA) diskutiert. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Ergebnisse der Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) widersprechen jedoch dieser Ursachentheorie. Zudem

stellt sich die Frage, ob in der Untersuchung von KARDON nicht eventuell das zur Wurzelkanalspülung verwendete Natriumhypochlorid einen Einfluss auf die Aushärtung von EndoREZ (Ultradent Products, USA) hatte, da entgegen der Herstellerempfehlung nach Abschluss der Wurzelkanalaufbereitung keine abschließende CHX-Spülung durchgeführt wurde. Vielmehr ist auf Grund der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Ergebnisse bezüglich der Lokalisation der Farbstoffpenetration an eine andere Ursache zu denken. Hierbei konnte für die drei Gruppen der Zentralstifttechnik (Gruppe 4 bis 6) gegenüber den Gruppen 1 bis 3 eine Farbstoffpenetration durch das Wurzelkanalfüllmaterial signifikant häufiger beobachtet werden (Abbildung 31, S. 63, bis Abbildung 33, S. 64). Dies lässt vermuten, dass der an sich dichte Sealer EndoREZ (Ultradent Products, USA) durch die Anwesenheit von Guttapercha in einer noch unbekanntem Art und Weise verändert wird und somit gegenüber einer Farbstoffpenetration undicht wird. Bei der Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kondensation von Guttapercha scheint diese Veränderung von EndoREZ (Ultradent Products, USA) in einem deutlich geringeren Ausmaß zu geschehen. Möglicherweise ist gegenüber der Zentralstifttechnik das wesentlich geringere Sealer-Kernmaterial-Verhältnis hierfür verantwortlich.

In einer von ZMENER veröffentlichten klinischen Studie, bei welcher die mittels EndoREZ (Ultradent Products, USA) und lateraler Kondensation von Guttapercha angefertigten Wurzelkanalfüllungen von insgesamt 180 Patienten nach 14-24 Monaten nachuntersucht wurden, konnten erste positive Ergebnisse bezüglich der klinischen Verwendung von EndoREZ als Sealer festgestellt werden [162]. Hinsichtlich der isolierten Pastentechnik und der Zentralstifttechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) liegen bislang keine klinischen Untersuchungen vor. Weitere klinische Untersuchungen sind nötig, um den langfristigen Erfolg dieses als biokompatibel bewerteten Sealers [14, 160] abschätzen zu können.

5.3. Schlussfolgerung

Auf Grund der in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse muss für den klinischen Alltag zunächst die Methodik, mit welcher Wurzelkanalfüllungen hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt werden, kritisch hinterfragt werden. Die dem endodontisch tätigen Zahnarzt zur Verfügung stehende vestibulo-orale Röntgentechnik scheint dazu alleine nicht in der Lage zu sein. So bleiben in dieser Projektionsrichtung, anscheinend abhängig von der Wurzelkanalfülltechnik, oftmals Obturationsfehler unentdeckt. Diese können dagegen mit Hilfe der in vitro zugänglichen Röntgendiagnostik in mesio-distaler Strahlenrichtung deutlich häufiger erkannt werden. Für den Praktiker empfiehlt sich deshalb, insbesondere bei Zähnen mit einem ovalen Wurzelkanalquerschnitt, zur Röntgenkontrolle nach erfolgter Wurzelkanalfüllung eine mesial- bzw. distal-exzentrische Aufnahme anzufertigen.

Durch die intrakanaläre Applikation des Wurzelkanalfüllmaterials EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* scheint eine dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals in Form einer isolierten Pastentechnik möglich zu sein. Selbst bisher schwierig zu füllende Wurzelkanalmorphologien können hiermit zeitsparend und sicher abgefüllt werden. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Dichtigkeiten solcher Wurzelkanalfüllungen sind denen der zurzeit als Goldstandard geltenden lateralen Kondensation von Guttapercha in Verbindung mit einem Epoxidharz als Sealer ebenbürtig. Als nachteilig erscheint jedoch, dass zur blasenfreien Applikation dieses kunststoffbasierten Sealers eine gewisse Routine des Behandlers notwendig ist. Deshalb sollte dieses System vor Gebrauch im klinischen Alltag an extrahierten Zähnen erprobt und erlernt werden. Verglichen zu einer Guttapercha-Sealer-Wurzelkanalfüllung besitzt diese Methode zudem eine reduzierte Längensicherheit. Diese kann durch den akzessorischen Gebrauch von Guttapercha-Stiften im Sinne einer Zentralstifttechnik deutlich erhöht werden. Desweiteren ist anzunehmen, dass eine solche nach Zentralstifttechnik angefertigte Wurzelkanalfüllung im Falle einer notwendigen Revision oder einer Stiftbohrung wieder leichter aus dem Wurzelkanal entfernt werden kann. Allerdings kann auf Grund der vergleichsweise schlechten Dichtigkeitsergebnisse die Zentralstifttechnik in Verbindung mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) als Sealer derzeit nicht empfohlen werden. Es sind zuvor weitere Untersuchungen bezüglich der möglicherweise vorliegenden Materialprobleme notwendig.

Dem praktizierenden Endodontologen eröffnet die spezielle Applikationsmethode von EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* neue Möglichkeiten

zur Wurzelkanalfüllung. Jedoch zeigten die Untersuchungen, dass bei der Verwendung dieses kunststoffbasierten Sealers die Kombination mit der lateralen Kondensation von Guttapercha als sicherste Methode zur Obturation des Wurzelkanals angesehen werden muss. Bevor dem Praktiker das zeitsparende neuartige Applikationssystem von EndoREZ (Ultradent Products, USA) zur Anwendung empfohlen werden kann, müssen erst die oben genannten Nachteile der isolierten Pasten- bzw. Zentralstifttechnik überwunden werden.

Die in dieser in vitro-Studie ermittelten Dichtigkeitsergebnisse von EndoREZ (Ultradent Products, USA) bei der klassischen Kalttechnik mit Guttapercha sind mit denen von AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) absolut vergleichbar. Erste klinische Nachuntersuchungen bestätigen diese positiven in vitro-Ergebnisse. Damit EndoREZ als Alternative zu den als Goldstandard geltenden Epoxidharz-basierten Sealern Einzug in die klinische Wurzelkanalbehandlung finden kann, müssen Langzeituntersuchungen folgen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Ein dauerhaft hermetischer und bakteriendichter Verschluss des Wurzelkanals nach erfolgreicher Wurzelkanalaufbereitung stellt einen wichtigen Faktor zur Vermeidung endodontaler Misserfolge dar. Im Rahmen dieser in vitro-Untersuchung sollte die Versiegelungseigenschaft des Wurzelkanalfüllmaterials EndoREZ (Ultradent Products, USA) bei seiner Anwendung mit drei verschiedenen Wurzelkanalfülltechniken bewertet werden. Neben der klassischen Kaltmethode, der lateralen Kondensation von Guttapercha, kamen desweiteren die Zentralstifttechnik und die isolierte Pastentechnik zum Einsatz. Als Vergleichsgruppe diente die derzeit in der Fachliteratur als Goldstandard geltende laterale Kondensation von Guttapercha mit dem Epoxidharz-Sealer AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz). Weiteres Interesse galt neben der Beurteilung der Versiegelungseigenschaften dieses neuen kunststoffbasierten Sealers insbesondere seiner speziellen intrakanalären Applikationsmethode mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip*. Die vorliegende Untersuchung sollte zeigen, ob damit akzeptable Obturationen des Wurzelkanals mittels isolierter Pasten- bzw. Zentralstifttechnik ermöglicht werden.

Zunächst wurden von den insgesamt 108 in die Untersuchung eingehenden extrahierten einwurzeligen Zähnen mittels digitaler Röntgendiagnostik, welche eine Standardisierung des zur Dichtigkeitsuntersuchung verwendeten Untersuchungsgutes gewährleisten sollte, 90 Zähne mit einem Wurzelkanal und geradem Wurzelkanalverlauf identifiziert. Diese wurden auf die Untersuchungsgruppen randomisiert verteilt. Zur Wurzelkanalaufbereitung kam das maschinelle Aufbereitungssystem EndoEZE (Ultradent Products, USA) einheitlich zur Anwendung. Die anschließend entsprechend der Untersuchungsgruppe angefertigten orthograden Wurzelkanalfüllungen durchliefen einen Farbstoffpenetrationstest mit einer 2%igen wässrigen Methylenblau-Lösung und siebentägiger Penetrationsdauer. Zur Beurteilung der dabei stattgefundenen Penetration wurden daraufhin senkrecht zur Längsachse Querschnitte der Zahnwurzeln angefertigt, welche unter einem Auflichtmikroskop ausgewertet wurden. Dabei wurden zusätzlich zur Farbstoffpenetrationstiefe die Lokalisation und die flächige Ausdehnung der Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzelquerschnitte dokumentiert. Die Auswertung dieser drei Kriterien erfolgte in Abhängigkeit einer direkt nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung angefertigten digitalen Röntgenkontrolle in vestibulo-oraler und mesio-distaler Strahlenrichtung. Die bezüglich des Farbstoffpenetrationstests ermittelten Daten wurden dabei nur für die Zähne ausgewertet, die eine röntgenologisch homogene Wurzelkanalfüllung aufwiesen. Mit Hilfe der

Röntgenkontrollaufnahmen konnten die angefertigten Wurzelkanalfüllungen zudem bezüglich ihrer röntgenologischen Homogenität und apikalen Ausdehnung beurteilt werden. Die Auswertung dieser röntgenologischen Beurteilungskriterien sollte eine Aussage ermöglichen, in wie fern die verschiedenen zum Einsatz gekommenen Wurzelkanalfülltechniken zur dreidimensionalen Obturation des Wurzelkanals im Stande sind.

Auf Grund der zu Untersuchungsbeginn angefertigten Röntgendiagnostik wurden 18 einwurzelige Zähne, die spezielle Wurzelkanalmorphologien, wie beispielsweise Typ II-Kanäle, besaßen, von der Dichtigkeitsuntersuchung mittels Farbstoffpenetrationstest ausgeschlossen. Die Wurzelkanäle dieser Zähne wurden nach maschineller Aufbereitung mittels EndoEZE (Ultradent Products, USA) im Sinne einer isolierten Pasten- bzw. Zentralstifttechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) gefüllt. Durch die röntgenologische Dokumentation dieser Wurzelkanalfüllungen sollten die Möglichkeiten der intrakanalären Applikation mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* bei speziellen Wurzelkanalmorphologien dargestellt werden.

Die Versiegelungseigenschaft von EndoREZ (Ultradent Products, USA) bei lateraler Kondensation ist der von AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz) bei gleicher Wurzelkanalfülltechnik vergleichbar. Bezüglich des Farbstoffpenetrationstests konnte die isolierte Pastentechnik von EndoREZ (Ultradent Products, USA) gemeinsam mit diesen beiden Untersuchungsgruppen die besten Ergebnisse erzielen. Demgegenüber waren die Dichtigkeitsergebnisse der nach der Zentralstifttechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen schlechter.

Die Applikationsmethode des Wurzelkanalfüllmaterials EndoREZ (Ultradent Products, USA) mittels *Skini Syringe* und *Navi Tip* ermöglicht eine homogene dreidimensionale Obturation selbst bislang schwer zu füllender Wurzelkanäle. Nachteilig bei der isolierten Pastentechnik ist jedoch die gegenüber der Guttapercha-Sealer-Wurzelkanalfülltechnik reduzierte Längensicherheit.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. ABARCA A. M., BUSTOS A., NAVIA M.
A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation techniques.
J Endodont 21, 670 (2001)
2. ABOU-RASS M., FRANK A. L., GLICK D. H.
The anticurvatare filing method to prepare the curved root canal.
J Am Dent Assoc 110, 792 (1980)
3. ABOU-RASS M., PICCININO M. V.
The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.
Oral Surg Oral Med Oral Path 54, 323-328 (1982)
4. ADENUBI J. O., RULE D. C.
Success rate for root fillings in young patients.
Brit Dent J 141, 237 (1976)
5. AHLBERG K. M., ASSAVANOP P., TAY W. M.
A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylen blue and India ink in root-filled teeth.
Int Endod J 28, 30-34 (1995)
6. AL-DEWANI N., HAYES S. J., DUMMER P. M. H.
Comparison of laterally condensed and low-temperature thermoplasticized gutta-percha root fillings.
J Endodont 26, 733 (2000)
7. AL-KHATAR N., KUNZELMANN K.-H., HICKEL R.
Dichtigkeit und Wandständigkeit verschiedener endodontischer Sealer in schmierschichtfreien Wurzelkanälen.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 479 (1999)
8. BAKER N. A., ELEAZER P. D., AUERBACH R. E., SELTZER S.
Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions.
J Endodont 1, 127 (1975)

9. BARTHEL C. R., GRUBER S., ROULET J.-F.
Aufbereitung von Wurzelkanälen mit drei verschiedenen Aufbereitungssystemen in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 474 (1999)
10. BARTHEL C. R., NOACK M. J., ROULET J.-F.
Die Dichtigkeit von KetacEndo und AH26 in Abhängigkeit der Wurzelfülltechnik in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 285 (1994)
11. BAUMANN M. A.
Grundlagen der Zahnerhaltungskunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Köln
Hundt Druck GmbH, Köln (1997)
12. BAUMGARTNER J. C., CUENIN P. R.
Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation.
J Endodont 18, 605 (1992)
13. BEATTY G., BAKER P. S., HADDIX J., HART F.
The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration.
JADA, Vol. 119 (November 1989)
14. BECCE C., PAMEIJER C. H.
Biocompatibility of a new endodontic sealer.
J Dent Res 82 (special issue B), 321 (2003)
15. BRÄNNSTRÖM M.
Smear layer: pathological consideration.
Oper Dent 9, Suppl. 3, 35-42 (1984)
16. BRISENO B. M., WIRTH R., HAMM G., STANDHARTINGER W.
Efficacy of different irrigation methods and concentrations of root canal irrigation solutions on
bacteria in the root canal.
Endod Dent Traumatol 8, 6 (1992)
17. CHEUNG G. S., STOCK C. R.
In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics.
Int Endod J 26, 334 (1993)

18. CHOHA YEB A. A.
Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators.
J Endodont 18, 10 (1992)
19. CLARK-KOLKE D., DRAKE D. R., WALTON R., RIVERA E. M., GUTHMILLER J. M.
Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer.
J Dent Res 31, 275-281 (2003)
20. CLEM W. H.
Endodontics: the adolescent patient.
Dent Clin North Am 13, 483 (1969)
21. COHEN S., BURNS R. C.
Pathway of the pulp
Mosby: St.Louis, Baltimore, Boston, 6. Aufl. (1994)
22. D'ARCANGELO C., VARVARA G., DE FAZIO P.
An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic and microaerophilic bacteria.
J Endodont 25, 351 (1999)
23. DAVIS S. R., BRAYTON S. M., GOLDMAN M.
Morphology of the prepared root canal. A study utilizing injectable silicon.
Oral Surg Oral Med Oral Path 34, 642-48 (1972)
24. DE ALMEIDA W. A., LEONARDO M. R., TANOMARU FILHO M., SILVA S. A.
Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers.
Int Endod J 33, 25 (2000)
25. DE CLEEN M. J. H., SCHUURS A. H. B., WESSELINK P. R., WU M. K.
Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population.
Int Endod J 26, 112 (1993)
26. DE GEE A. J., WU M. K., WESSELINK P. R.
Sealing properties of Ketac Endo glass ionomer cement and AH 26 root canal sealer.
Int Endod J 27, 239 (1994)

27. DELANY G. M., PATTERSON S. S., MILLER C. H., NEWTON C. W.
The effect of chlorhexidine gluconate irrigation on the root canal of freshly extracted necrotic teeth.
Oral Surg Oral Med Oral Path 53, 518 (1982)
28. DE MOOR R. J., DE BRUYNE M. A.
The long-term sealing ability of AH26 and AHplus used with three gutta-percha obturation techniques.
Quintessence Int 35, 326 (2004)
29. DOUGLAS W. H., ZAKARIASEN K. L.
Volumetric assesment of apical leakage utilizing a spectrophotometric, dye recovery method (Abstract 512).
J Dent Res 60 (special issue A), 438 (1981)
30. DRAKE D. R., WIEMANN A. H., RIVERA E. M., WALTON R. E.
Bacterial retention in canal walls in vitro: Effect of smear layer.
J Endodont 20, 78-82 (1994)
31. EIFINGER F. F.
Klinische und experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung des Wurzelkanals.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 93, 100 (1983)
32. EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY (ESE)
Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen.
Endodontie 3, 263 (1994)
33. FACER S. R., WALTON R. E.
Intracanal distribution patterns of sealers after lateral condensation.
J Endodont 29, 832 (2003)
34. FRIEDMANN M., SANDRIK J. L., HEUER M. A., RAPP G. P.
Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points.
J Dent Res 54, 921 (1975)
35. GATOT A., PEIST M., MOZES M.
Endodontic overextension produced by injected thermoplasticized Gutta-percha.
J Endodont 15, 273 (1989)

36. GENCOGLU N., GARIP Y., BAS M., SAMANI S.
Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B and lateral condensation.
Oral Surg Oral Med Oral Path 93, 333 (2002)
37. GETTLEMAN B. H., MESSER H. H., ELDEEB M. E.
Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer.
J Endodont 17, 15-20 (1991)
38. GEURTSSEN W.
Die Wurzelkanalaufbereitung. Methoden im Überblick: Mechanische, chemische und schall-/ultraschallaktivierte Verfahren.
Philip J 7, 23 (1990)
39. GOERIG A. C., MICHELICH R. J., SCHULTZ H. H.
Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique.
J Endodont 8, 550 (1982)
40. GOODMAN A., SCHILDER H., ALDRICH W.
The thermomechanical properties of gutta-percha.
Oral Surg Oral Med Oral Path 37, 954 (1974)
41. GRIESINGER H. R., HANNIG M., ALBERS H.-K.
Erfolgreiche Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle - Die korono-apikale Technik.
Zahnärztl Welt 102, 842 (1993)
42. GROSSMAN L. I.
Root canal therapy
Lea & Felbiger, Philadelphia, p 189 (1940)
43. GULDENER P. H. A.
Endodontie - Eine Literaturübersicht.
Schweiz Mschr Zahnheilk 88, 417-444 (1978)
44. GULDENER P. H. A.
Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und -füllung. Überholte, bewährte und neuere endodontische Methoden.
Schweiz Mschr Zahnmed 99, 1019 (1989)

45. GULDENER P. H. A., LANGELAND K.
Endodontologie.
Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York (1993)
46. GUTIÉRREZ J. H., GARCIA J.
Microscopic and macroscopic investigation on results of mechanical preparation of root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Path 25, 108 (1968)
47. GUTIÉRREZ J. H., JOFRE A., VILLENA F.
Scanning electron microscopic study on the action of endodontic irrigants on bacteria invading the dentinal tubules.
Oral Surg Oral Med Oral Path 69, 491 (1990)
48. GUTIÉRREZ J. H., VILLENA F., GIGOUX C., MUJICA F.
Microscope and scanning electron microscope examination of silver points corrosion caused by endodontic materials.
J Endodont 8, 301 (1982)
49. HAIKEL Y., ALLEMANN C.
Effectiveness of four methods for preparing root canals: a scanning electron microscopic evaluation.
J Endodont 14, 340 (1988)
50. HATTON J. F., FERRILLO P. J., WAGNER G., STEWART G. P.
The effect of condensation pressure on the apical seal.
J Endodont 14, 305 (1988)
51. HEIDEMANN D.
Die Wurzelfüllung - manuell- maschinell.
Dtsch Zahnärztl Z 44, 414 (1989)
52. HEIDEMANN D.
Endodontie - Praxis der Zahnheilkunde, 4. Auflage
Urban & Fischer, München Jena (2001)
53. HELING I., CHANDLER N. P.
Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules.
Int Endod J 31, 8-14 (1998)

54. HOLCOMB J. Q., PITTS D. L., NICHOLLS J. I.
Further investigation of spreader loads required to cause vertical root canal fractures during lateral condensation.
J Endodont 13, 277 (1987)
55. HOPPE W., SCHÄFER E., TEPEL J.
Instrumentarium und Konzept für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung.
Zahnärztl Welt 102, 764 (1993)
56. HÜLSMANN M.
Die Wurzelkanalfüllung: Materialien und Techniken.
Zahnärztl Mitt 81, 872 (1991)
57. HÜLSMANN M.
Guttapercha - Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung.
Endodontie 2, 115 (1993)
58. HÜLSMANN M.
Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften.
Endodontie 4, 49 (1995)
59. HÜLSMANN M.
Die Wurzelkanalspülung - Ziele, Mittel, Techniken.
Endodontie 1, 47-62 (1997)
60. HÜLSMANN M., BERTZBACH F.
Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit Handinstrumenten und maschineller Aufbereitungshilfen.
Dtsch Zahnärztl Z 44, 448 (1989)
61. HÜLSMANN M., RÜMMELIN C., SCHÄFERS F.
Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments. A comparative SEM investigation.
J Endodont 23, 301 (1997)
62. HÜLSMANN M., VERSÜMER J.
Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten - eine Übersicht der aktuellen Literatur.
Dtsch Zahnärztekalendar, Hanser, München, 165-167 (1998)

63. ISHLEY D. J., ELDEEB M. E.
An in vitro assesement of the quality of apical seal of thermomechanically obturated canals with and without sealer.
J Endodont 9, 242 (1983)
64. JACOBSON S. M., VON FRAUENHOFER J. A.
The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical technique.
Oral Surg Oral Med Oral Path 42, 242 (1976)
65. JARRETT I. S., MARX D., COVERY D., KARMAZIN M., LAVIN M., GOUND T.
Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques.
Int Endod J 37, 392 (2004)
66. JEANSONNE M. J., WHITE R. R.
A comparison of 2,0 % chlorhexidine gluconate and 5,25 % sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants.
J Endodont 20, 276 (1994)
67. JOHNSON W.
A new gutta-percha technique.
J Endodont 4, 184 (1978)
68. KARDON B. P., KUTTLER S., HARDIGAN P., DORN S. O.
An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system.
J Endodont 29, 658 (2003)
69. KAZEMI R. B., SAFAVI K. E., PAMEIJER C. H.
Sealing properties of a new injectable root canal filling material.
J Dent Res 82 (special issue B), 309 (2003)
70. KEANE K. M., HARRINGTON G.W.
The use of chloroform softened Gutta-percha master cone and its effect on the apical seal.
J Endodont 10, 57 (1984)
71. KELLER D.
Untersuchungen zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses nach dem Aufhellungsverfahren.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 38, 635 (1928)

72. KENNEDY W. A., WALKER W. A., GOUGH R. W.
Smear layer removal effects on apical leakage.
J Endodont 12, 21-27 (1986)
73. KERSTEN H. M.
Evaluation of three thermoplasticized gutta-percha filling techniques using a leakage model in vitro.
Int Endod J 21, 353 (1988)
74. KERSTEN H. W., MOORER W. R.
Particles and molecules in endodontic leakage.
Int Endod J 22, 118-124 (1989)
75. KIDD E. A. M.
Microleakage: a review.
J Dent Res 4, 199 (1976)
76. KOÇKAPAN C.
Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung - Eine Übersicht.
Endodontie 4, 33-48 (1995)
77. KOÇKAPAN C.
Endodontie. 2. Aufl.
Lehmanns Fachbuchhandlung, Gießen (1998)
78. KOULAOUZIDOU E. A., PAPZISIS K. T., BELTES P., GEROMICHALOS G. D., KORTSARIS A. H.
Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation.
Endod Dent Traumatol 14, 182 (1998)
79. KOUVAS V., LIOLIOS E., VASSILIADIS L., PARISSIS-MESSIMERIS S., BOUTSIUKIS A.
Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study.
Endod Dent Traumatol 14, 191 (1998)
80. KRÖNCKE A.
Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials.
Dtsch Zahnärztl Z 36, 201 (1981)

81. KUTTLER Y.
Analysis and comparison of root canal filling techniques.
Oral Surg Oral Med Oral Path 48, 153 (1979)
82. LACOMBE J. S., CAMPBELL A. D., HICKS M. L., PELLEU G. B.
A comparison of the apical seal produced by two thermoplasticized injectable gutta-percha techniques.
J Endodont 14, 445 (1988)
83. LIMKANGWALMONGKOL S., ABBOTT P. V., SANDLER A. B.
Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning.
J Endodont 18, 535 (1992)
84. LIMKANGWALMONGKOL S., BURTSCHER P., ABBOTT P. V., SANDLER A. B., BISHOP B. M.
A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally-condensed gutta-percha.
J Endodont 17, 495 (1991)
85. LOVE R. M., CHANDLER N. P., JENKINSON H. F.
Penetration of smeared or nonsmeared dentine by *Streptococcus gordonii*.
Int Endod J 29, 2-12 (1996)
86. LÖST C., WESSELINK P. R., WINKLER R.
Grundlagen und Prinzipien moderner Endodontie.
Endodontie 1, 7 (1992)
87. MADER C. L., BAUMGARTNER J. C., PETERS D. D.
Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.
J Endodont 10, 477-483 (1984)
88. MADISON S., SWANSON K., CHILES S. A.
An evaluation of coronal microleakage in endodontically treated teeth, part II: sealer types.
J Endodont 13, 109 (1987)

89. MATSUMOTO T., NAGAI T., KAZUHIKO I., MASATO I., KAWAI Y., HORIBA N., SATO R., NAKAMURA H.
Factors affecting succesfull prognosis of root canal treatment.
J Endod 13, 239-241 (1987)
90. MC COMB D., SMITH D. C.
A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures.
J Endodont 1, 238-242 (1975)
91. MC SPADDEN J. T.
Self study course for the thermal condensation of gutta-percha.
Form no. 337, 10/80 (1980)
92. MEYER W.
Die Anatomie der Wurzelkanäle.
Dtsch Zahnärztl Prax 40, 290 (1959)
93. MICHANOWICZ A., CZONSTKOWSKY M.
Sealing properties of an injection-thermoplasticized lowtemperature (70°) gutta-percha: a preliminary study.
J Endodont 10, 563 (1984)
94. MILAS V. B.
History. In: Pathways of the pulp
Hrsg. v. Cohen S., Burns R. C., 4. Aufl., C. V. Mosby, St. Louis, 619-634 (1987)
95. MILETIĆ I., PRPIĆ-MEHIČIĆ G., MARŠAN T., TAMBIĆ-ANDRAŠEVIĆ A., PLEŠKO S., KARLOVIĆ & ANIĆ I.
Bacterial and fungal microleakage of AH26 and AHPlus root canal sealers.
Int Endod J, 35, 428-432 (2002)
96. MOLVEN O., HALSE A.
Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-φ root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10-17 years.
Int Endod J 21, 243 (1988)

97. MORGAN L. F., MONTGOMERY S.
An evaluation of the crown-down pressureless technique.
J Endodont 10, 491 (1984)
98. MÖLLER A. J. R., FABRICIUS L., DAHLEN G., ÖHMAN A. E., HEYDEN G.
Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys.
Scand J Dent Res 89, 475 (1981)
99. NAIR P. N. R., SJÖGREN U., KREY G., KAHNBERG K. E., SUNDQUIST G.
Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study.
J Endodont 16, 580 (1990)
100. O'CONNELL M. S., MORGAN L. A., BEELER W. J., BAUMGARTNER J. C.
A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA.
J Endodont 26, 739-743 (2000)
101. OHARA P. K., TORABINEJAD M., KETTERING J. D.
Antibacterial effects of various endodontic irrigants on selected anaerobic bacteria.
Endod Dent Traumatol 9, 95-100 (1993)
102. ORSTAVIK D.
Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water.
Scand J Dent Res 91, 316 (1983)
103. PALLARÉS A., FAUS V.
A comparative study of the sealing ability of two root canal obturation techniques.
J Endodont 21, 449 (1995)
104. PASCON E. A., SPANGBERG L. S. W.
In vitro cytotoxicity of root canal filling material. 1. Gutta-percha.
J Endodont 16, 429 (1990)
105. PATTERSON S. S.
In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetraacetat on human dentine and its endodontic implications.
Oral Surg Oral Med Oral Path 18, 83 (1963)

106. PETSCHOLT A., OBERSCHACHTSIEK H.
Über die Schmierschicht ("Smear-Layer") nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung).
Dtsch Zahnärztl Z 40, 845-849 (1985)
107. PETSCHOLT A., OBERSCHACHTSIEK H.
Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung).
Dtsch Zahnärztl Z 40, 308 (1985)
108. PETSCHOLT A., STUMPF B., RAAB W.
Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht („Smear layer“).
Dtsch Zahnärztl Z 42, 743-746 (1987)
109. ROANE J. B., SABALA C. L., DUNCASON M. G.
The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals.
J Endodont 11, 203 (1985)
110. RUSSIN T. P., ZARDIACHAS L. D., READER A., MENKE R. A.
Apical seals obtained with laterally condensed, chloroform-softened Guttapercha and laterally condensed Guttapercha and Grossmann's sealer.
J Endodont 6, 678 (1980)
111. SACHS W.
Bericht über die Abteilung für Zahnfüllung des zahnärztlichen Instituts der Königl. Universität
Breslau
Dtsch Monatsschr Zahnheilk 11, 271-281 (1893)
112. SCHÄFER E.
Root canal instruments for manual use: a review.
Endod Dent Traumatol 13, 51 (1997)
113. SCHÄFER E.
Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung
gekrümmter Kanalabschnitte.
Quintessenz, Berlin (1998)

114. SCHÄFER E., BÖSSMANN K.
Antimikrobielle Wirksamkeit von Chlorxylenol und Chlorhexidin zur Behandlung von infizierten Wurzelkanälen.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 671-679 (2000)
115. SCHÄFER E., ZAPKE K.
Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchung manuell und maschinell aufbereiteter Wurzelkanäle.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 551 (1999)
116. SCHILDER H.
Filing root canals in three dimensions.
Dent Clin North Am 11, 723 (1967)
117. SCHILDER H.
Cleaning and shaping the root canal.
Dent Clin North Am 18, 269 (1974)
118. SCHILDER H., GOODMAN A., ALDRICH W.
The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation.
Oral Surg Oral Med Oral Path 59, 285 (1985)
119. SCHRÖDER A.
Mitteilungen über die Abschlussdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und erster Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 64, 921 (1954)
120. SELTZER S.
Endodontology, Biologic Consideration in Endodontic Procedures, 2nd ed.
Lea & Febiger, Philadelphia, p 365 (1988)
121. SEN B. H., WESSELINK P. R., TÜRKÜN M.
The smear layer: a phenomenon in root canal therapy.
Int Endod J 28, 141-148 (1995)

122. SHIPPER G., ORSTAVIK D., TEIXEIRA F. B., TROPE M.
An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilion).
J Endodont 30, 342-347 (2004)
123. SIQUEIRA J. F.
Aetiology of root canal failure: Why well treated teeth can fail.
Int Endod J 34, 1 (2001)
124. SJÖGREN U., FIGDOR D., PERSSON S., SUNDQUIST G.
Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis.
Int Endod J 30, 297 (1997)
125. SJÖGREN U., SUNDQUIST G.
Bacteriological evaluation of ultrasonic root canal instrumentation.
Oral Surg Oral Med Oral Path 63, 366 (1987)
126. SKINNER R. L., HIMEL V. T.
The sealing ability of injection molded thermoplasticized gutta-percha with and without sealer.
J Endodont 13, 315 (1987)
127. SLAUS G., VANDEWIJNGAERT S., BOTTENBERG P.
Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen. Eine in vitro-Studie.
Dtsch Zahnärztl Z 56, 177 (2001)
128. SPANGBERG L. S. W., BARBOSA S. V., LAVIGNE G. D.
AH26 releases formaldehyde.
J Endodont 19, 596 (1993)
129. STELLUNGNAHME DER DGZMK/DGZ
Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 9 (2000)
130. STELLUNGNAHME DER KZBV
131. SUTER B., LUSSI A., HOTZ P.
Die Wurzelkanalaufbereitung mit Hilfe von schnellschwingenden Instrumenten.
Schweiz Mschr Zahnmed 96, 919 (1986)

132. SWANSON K., MADISON S.
An evaluation of coronal microleakage in endodontically treated teeth, part I: time periods.
J Endodont 13, 56 (1987)
133. TAGGER M., KATZ A., TAMSE A.
Apical seal using the GPII method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer.
Oral Surg Oral Med Oral Path 78, 225 (1994)
134. TAGGER M., TAMSE A., KATZ A.
An improved method of three dimensional study of apical leakage.
Quint Int 10, 981 (1983)
135. TANZILLI J. P., NEVINS A., BORDEN B. G.
The reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants filled with Hydron or gutta percha.
Oral Surg Oral Med Oral Path 55, 507 (1983)
136. TEPEL J.
Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.
Dtsch Zahnärztl Z 53, 101 (1998)
137. THODEN VAN VELZEN S. K., DUIVENVOORDEN H. J., SCHUURS A. H. B.
Probabilities of success and failure in endodontic treatment: a Bayesian approach.
Oral Surg Oral Med Oral Path 52, 85 (1981)
138. THODEN VAN VELZEN S. K., GENET J. M., KERSTEN H. W., MOORER W. R.,
WESSELINK P. R.
Endodontie
Deutscher Ärzte Verlag, Köln (1988)
139. UNVERDORM D., PETSCHT A., HICKEL R.
Dichte von Wurzelkanalfüllungen - Vergleich bewährter und neuer Techniken.
Dtsch Zahnärztl Z 47, 486 (1992)
140. VALLE FRÓES J. A., PARREIRA HORTA H. G., SILVEIRA A.
Smear layer influence on the apical seal of four different obturation techniques.
J Endodont 26, 351-354 (2000)

141. WEINE F. S.
Endodontic therapy
Mosby: St.Louis, Baltimore, Boston, 5. Aufl. (1995)
142. WENNBERG A., ORSTAVIK A.
Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha.
Int Endod J 23, 13 (1990)
143. WESSELINK P. R.
Conventional root canal therapy, III: root filling.
Endodontics in clinical practice (ed: Harty F. J.) Wright, Sevenoaks (1990)
144. WESSELINK P. R.
Die Wurzelkanalfüllung (I).
Endodontie 4, 181 (1995)
145. WHITE R. R., GOLDMAN M., LIN P. S.
The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials.
J Endodont 10, 558-562 (1984)
146. WHITE R. R., GOLDMAN M., LIN P. S.
The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II.
J Endodont 13, 369-374 (1987)
147. WONG M., PETERS D. D., LORTON L.
Comparison of guttapercha filling techniques, compaction (mechanical), vertical (warm) and lateral condensation techniques. Part 1.
J Endodont 7, 551 (1981)
148. WONG M., PETERS D. D., LORTON L., BERNIER W. E.
Comparison of guttapercha filling techniques: three chloroform-guttapercha filling techniques. Part 2.
J Endodont 8, 4 (1982)
149. WU M. K., DE GEE A. J., WESSELINK P. R.
Leakage of four root canal sealers at different thickness.
Int Endod J 27, 304 (1994)

150. WU M. K., KASTAKOVA A., WESSELINK P. R.
Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars.
Int Endod J 34, 485 (2001)
151. WU M. K., KONTAKIOTIS E. G., WESSELINK P. R.
Decoloration of 1 % methylene blue solution in contact with dental filling materials.
J Dent Res 26, 585-589 (1998)
152. WU M. K., OZOK A. R., WESSELINK P. R.
Sealer distribution in root canals obturated by three techniques.
Int Endod J 33, 340 (2000)
153. WU M. K., WESSELINK P. R.
Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance.
Int Endod J 26, 37 (1993)
154. YEE F., MARLIN J., KRAKOW A., GRON P.
Three dimensional obturation of the root canal using injection-molded, thermoplasticised
dental guttapercha.
J. Endodont 3, 168 (1977)
155. YESILSOY C., WHITAKER E., CLEVELAND D., PHILLIPS E., TROPE M.
Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants.
J Endodont 21, 513 (1995)
156. YOUNGSON C. C., NATTRESS B. R., MANOGUE M., SPEIRS A. F.
In vitro radiographic representation of the extent of voids within obturated root canals.
Int Endod J 28, 77 (1995)
157. YOUNIS O., HEMBREE J. H.
Leakage of different root canal sealants.
Oral Surg Oral Med Oral Path 41, 777 (1976)
158. ZAKARIASEN K., STADEM P.
Microleakage associated with modified eucapercha and chloropercha root canal filling
techniques.
Int Endod J 15, 67 (1982)

159. ZIDAN O., ALKHATIB Z., GOMEZ-MARIN O.
Obturation of root canals using the single cone guttapercha technique and dentinal bonding agents.
Int Endod J 20, 128 (1987)
160. ZMENER O.
Tissue response to a new methacrylate-based root canal sealer: preliminary observations in the subcutaneous connective tissue of rats.
J Endodont 30, 348 (2004)
161. ZMENER O., DOMINEQUEZ F. V.
Silver accumulations in periapical granulomas: report of five cases using the scanning electron microscope, the electron microprobe and other complementary methods.
Oral Surg Oral Med Oral Path 65, 94 (1988)
162. ZMENER O., PAMEIJER C. H.
Clinical and radiographic evaluation of a resin-based root canal sealer.
Am J Dent 17, 19 (2004)

8. ANHANG

8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Beispiele für die Komplexität des Wurzelkanalsystems..... 5 <i>Quelle:</i> BAUMANN M. A. Grundlagen der Zahnerhaltungskunde Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Köln Hundt Druck GmbH, Köln (1997)
Abbildung 2	Verschiedene Handinstrumente mit Querschnitt 7 <i>Quelle:</i> MERTE K. Die Wurzelkanalaufbereitung- handinstrumentell oder maschinell Teil I - Edelmetallinstrumente Internetbeitrag der ZMK
Abbildung 3	Arbeitsspitze eines Nickel-Titan-Instruments (ProFile, Dentsply, Konstanz) 9 <i>Quelle:</i> HEIDEMANN D. Endodontie- Praxis der Zahnheilkunde, 4. Auflage Urban & Fischer, München Jena (2001)
Abbildung 4	Wurzelkanalfüllmaterial EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Applikationsspritze 25 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 5	Winkelstück EndoEZE (Ultradent Products, USA)..... 26 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 6	shaping files (Ultradent Products, USA) 27 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 7	apical files (Ultradent Products, USA) 27 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 8	EndoREZ-Doppelmischkartusche mit Ultra-Mixer (Ultradent Products, USA)..... 28 <i>eigenes Bildmaterial</i>

Abbildung 9	Skini Syringe (Ultradent Products, USA).....	29
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 10	Navi Tips, in verschiedenen Längen (Ultradent Products, USA).....	29
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 11	Skini Syringe mit Navi Tip (Ultradent Products, USA).....	29
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 12	Befüllung der Skini Syringe mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) mit Hilfe der Doppelmischkartusche	30
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 13	Darstellung der Wurzelkanalfüllung mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) anhand eines einen Wurzelkanal simulierenden Plexiglasmodells	31
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 14	einwurzeliger Prämolare mit einem geraden Wurzelkanal.....	34
	<i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>	
Abbildung 15	einwurzeliger Prämolare mit einer Typ II-Wurzelkanalkonfiguration.....	34
	<i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>	
Abbildung 16	GP1, GP2, GP3	37
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 17	Darstellung der für den Farbstoffpenetrationstest vorbereiteten Zähne	39
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 18	Auf einem Glasobjektträger fixierte serielle Wurzelquerschnitte zweier Zähne	40
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	
Abbildung 19	Darstellung der Datenerhebung zur Auswertung der Röntgenbilder.....	41
	<i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>	
Abbildung 20	Darstellung der Datenerhebung zur Auswertung der Röntgenbilder.....	41
	<i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>	
Abbildung 21	Darstellung der Lokalisation der Farbstoffpenetration.....	43
	<i>eigenes Bildmaterial</i>	

Abbildung 22	Darstellung der Bewertung des Ausmaßes der Farbstoffpenetration; in diesem Fall wurden zwei Quadranten als penetriert beurteilt..... 44 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 23	Querschnitt des zur Untersuchung der Materialeigenschaften verwendeten Prüfkörpers von EndoREZ (Ultradent Products, USA) 46 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 24	Röntgenbilder in vestibulo-oraler Strahlenrichtung eines Zahnes aus Gruppe 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) 52 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 25	Röntgenbilder in vestibulo-oraler Strahlenrichtung eines Zahnes aus Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) 52 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 26	Röntgenbilder in mesio-distaler Strahlenrichtung des Zahnes aus Abbildung 24 (S. 53) 53 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 27	Röntgenbilder eines Zahnes aus Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung 53 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 28	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 1 (laterale Kondensation; AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz)) 62 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 29	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 2 (isolierte Pastentechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) 62 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 30	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 3 (laterale Kondensation; EndoREZ (Ultradent Products, USA)) 63 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 31	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 4 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttaperchastift GP1)..... 63 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 32	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 5 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttaperchastift GP2)..... 63 <i>eigenes Bildmaterial</i>

Abbildung 33	Wurzelquerschnitt eines Zahnes der Gruppe 6 (Zentralstifttechnik; EndoREZ (Ultradent Products, USA) und Guttaperchastift GP3)..... 64 <i>eigenes Bildmaterial</i>
Abbildung 34	Zahn mit spezieller Wurzelkanalkonfiguration in Form eines Typ II-Kanals 71 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 35	Zahn aus Abbildung 34 (S.72) nach abgeschlossener Wurzelkanalfüllung durch reine Pastentechnik mit EndoREZ (Ultradent Products, USA) 71 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>
Abbildung 36	mesio-distale Röntgenkontrollaufnahmen eines Zahnes mit Typ II-Wurzelkanalkonfiguration 72 <i>digitales Röntgenbild; digitales Röntgengerät (Sirona, Deutschland)</i>

8.2. Diagramme und Tabellen

Tabelle 1	Übersicht über Aufbereitungstechniken auf Grundlage der manuellen Arbeitsweise	8
Tabelle 2	Einteilung maschineller Aufbereitungssysteme nach der Antriebsart.....	10
Tabelle 3	Auswahl einiger Produkte aus den verschiedenen Gruppen erhärtender Wurzelkanalfüllpasten	18
Tabelle 4	Auswahl einiger Wurzelkanalfülltechniken, eingeteilt nach Kalt- und Warmtechnik	20
Tabelle 5	Methoden zur Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelkanalfüllungen	23
Tabelle 6	Typen und Eigenschaften der Feilen von EndoEZE (Ultradent Products, USA).....	27
Tabelle 7	Einteilung der Zähne vor Versuchsbeginn anhand der digitalen Röntgendiagnostik	33
Tabelle 8	Übersicht über die Versuchsgruppen (vgl. Tabelle 9, S. 37 und Tabelle 10, S. 38).....	35
Tabelle 9	Verwendete Wurzelkanalfüllmaterialien	36
Tabelle 10	Verwendete Guttapercha-Stifte und ihre Eigenschaften.....	37
Tabelle 11	Darstellung der Datenerhebung zur Auswertung der Röntgenbilder.....	41
Tabelle 12	Farbstoffpenetrationstiefen, ermittelt anhand der Querschnittsnummer	42
Tabelle 13	Übersicht der Diagramme zur Darstellung der Auswertung der Röntgenbilder (vgl. Material und Methoden, 3.2.3.5.1. Röntgenbilder)	47
Tabelle 14	Übersicht der Diagramme zur Darstellung der Auswertung des Farbstoffpenetrationstests (vgl. Material und Methoden, 3.2.3.5.2. Farbstoffpenetrationstest)	54
Tabelle 15	Ergebnisse der ermittelten Farbstoffpenetrationstiefen [mm] (Mittelwert und Standardabweichung)	58

Diagramm 1	Röntgen_vo.....	48
Diagramm 2	Röntgen_md.....	49
Diagramm 3	Röntgen_kombi	50
Diagramm 4	Farbstoffpenetrationstiefe I.....	55
Diagramm 5	Farbstoffpenetrationstiefe II	56
Diagramm 6	Lokalisation der Farbstoffpenetration I	59
Diagramm 7	Lokalisation der Farbstoffpenetration II.....	60
Diagramm 8	Ausmaß der Farbstoffpenetration Ia; 1.-5. Wurzelquerschnitt	65
Diagramm 9	Ausmaß der Farbstoffpenetration Ib; 6. - 10. Wurzelquerschnitt	66
Diagramm 10	Ausmaß der Farbstoffpenetration IIa; 1.-5. Wurzelquerschnitt.....	67
Diagramm 11	Ausmaß der Farbstoffpenetration IIb; 6.-10. Wurzelquerschnitt.....	68

8.3. Dokumentationsbögen

8.3.1. Röntgenbilder

Zahn: _____

<i>Kriterien</i>	Strahlenrichtung (vestibulo-oral)	Strahlenrichtung (mesio-distal)
homogene WF		
Arbeitslänge		
Besonderheiten		

Zahn: _____

<i>Kriterien</i>	Strahlenrichtung (vestibulo-oral)	Strahlenrichtung (mesio-distal)
homogene WF		
Arbeitslänge		
Besonderheiten		

8.4. Ermittelte Daten

8.4.1. Daten „Röntgenbilder“

Gruppe 1: AHPlus - Laterale Kondensation

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
10	1	1	1	1
11	1	1	1	1
12	1	1	1	1
13	1	1	1	1
14	1	1	0	1
15	1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	1	1	1	1
18	1	1	0	1
19	1	1	1	1
Summe von 10	10	10	8	10

Gruppe 2: EndoREZ - reine Pastentechnik

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
20	1	1	1	1
21	1	1	1	1
22	1	1	1	1
23	1	1	1	1
24	1	0	1	0
25	1	1	1	1
26	0	1	0	1
27	1	1	1	1
28	0	1	0	1
29	0	0	0	0
211	1	1	1	1
212	1	1	1	1
213	0	1	0	1
214	1	1	1	1
Summe von 14	10	12	10	12

Gruppe 3: EndoREZ - Laterale Kondensation

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
30	1	1	1	1
31	1	0	1	0
32	1	1	0	1
33	1	1	1	1
34	1	1	1	1
35	1	1	1	1
36	1	1	1	1
37	1	1	1	1
38	1	1	1	1
39	1	1	1	1
311	1	1	0	1
312	1	1	1	1
Summe von 12	12	11	10	11

Gruppe 4: EndoREZ - Single cone, GP1 (ISO35)

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
40	1	1	1	1
41	1	1	1	1
42	1	1	0	1
43	0	1	0	1
44	0	1	0	1
45	1	1	1	1
46	1	1	0	1
47	1	1	0	1
48	1	1	1	1
49	0	1	0	1
411	1	1	1	1
412	1	1	1	1
413	1	1	0	1
414	1	1	1	1
415	1	1	0	1
416	0	1	0	1
417	1	1	1	1
Summe von 17	13	17	8	17

Gruppe 5: EndoREZ - Single cone, GP2 (ISO25)

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
50	1	1	1	1
51	1	1	0	1
52	0	1	0	1
53	1	1	1	1
54	1	1	1	1
55	1	1	1	1
56	1	1	1	1
57	1	1	1	1
58	1	1	1	1
59	1	1	0	1
511	0	1	0	1
512	1	1	1	1
513	1	1	1	1
Summe von 13	11	13	9	13

Gruppe 6: EndoREZ - Single cone, GP3 (ISO30)

Zahn	Strahlengang vestibulo-oral		Strahlengang mesio-distal	
	Homogenität	Arbeitslänge	Homogenität	Arbeitslänge
60	1	1	1	1
61	1	1	1	1
62	1	1	1	1
63	1	1	0	1
64	0	1	0	1
65	1	1	1	1
66	0	1	0	1
67	0	1	0	1
68	1	1	1	1
69	1	1	1	1
611	1	1	1	1
612	1	1	1	1
613	1	1	1	1
614	1	1	1	1
Summe von 14	11	14	10	14

8.4.2. Daten „Farbstoffpenetrationstest“

Farbstoffpenetrationstiefe:

<i>Gruppe 1: AHPLUS - Laterale Kondensation</i>		
Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
10	4	2,9
11	5	3,7
12	3	2,1
13	4	2,9
14	8	6,1
15	5	3,7
16	3	2,1
17	3	2,1
18	8	6,1
19	5	3,7
Mittelwert	4,80	3,54

<i>Gruppe 2: EndoREZ - reine Pastentechnik</i>		
Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
20	4	2,9
21	3	2,1
22	7	5,3
23	4	2,9
24	3	2,1
25	6	4,5
27	2	1,3
211	2	1,3
212	4	2,9
214	3	2,1
Mittelwert	3,80	2,74

Gruppe 3: EndoREZ - Laterale Kondensation

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
30	3	2,1
31	3	2,1
32	5	3,7
33	6	4,5
34	4	2,9
35	4	2,9
36	2	1,3
37	3	2,1
38	3	2,1
39	5	3,7
311	5	3,7
312	4	2,9
Mittelwert	3,92	2,83

Gruppe 4: EndoREZ - Single cone, GP1 (ISO35)

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
40	4	2,9
41	5	3,7
42	6	4,5
45	6	4,5
46	2	1,3
47	4	2,9
48	3	2,1
411	7	5,3
412	6	4,5
413	9	6,9
414	9	6,9
415	4	2,9
417	5	3,7
Mittelwert	5,38	4,01

Gruppe 5: EndoREZ - Single cone, GP2 (ISO25)

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
50	4	2,9
51	4	2,9
53	4	2,9
54	4	2,9
55	4	2,9
56	4	2,9
57	3	2,1
58	4	2,9
59	3	2,1
512	5	3,7
513	9	6,9
Mittelwert	4,36	3,19

Gruppe 6: EndoREZ - Single cone, GP3 (ISO30)

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
60	4	2,9
61	5	3,7
62	2	1,3
63	4	2,9
65	3	2,1
68	5	3,7
69	4	2,9
611	4	2,9
612	8	6,1
613	7	5,3
614	9	6,9
Mittelwert	5	3,7

Gruppe 7: PositivGruppe

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
Pos1	10	7,7
Pos2	10	7,7
Pos3	10	7,7
Pos4	10	7,7
Pos5	10	7,7
Mittelwert	10	7,7

Gruppe 8: NegativGruppe

Zahn	Penetrationstiefe	
	Zahl der Schnitte	Penetration in mm
Neg1	0	0
Neg2	0	0
Neg3	0	0
Neg4	0	0
Neg5	0	0
Mittelwert	0	0

Lokalisation der Farbstoffpenetration:

Gruppe 1: AHPLUS - Laterale Kondensation

Zahn	Penetrationslokalisierung					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
10	4	3	1	100,0	75,0	25,0
11	5	5	3	100,0	100,0	60,0
12	3	2	1	100,0	66,7	33,3
13	4	4	1	100,0	100,0	25,0
14	8	5	3	100,0	62,5	37,5
15	4	4	5	80,0	80,0	100,0
16	3	3	1	100,0	100,0	33,3
17	3	3	1	100,0	100,0	33,3
18	8	4	1	100,0	50,0	12,5
19	5	5	1	100,0	100,0	20,0
Mittelwert	4,70	3,80	1,80	98,00	83,42	38,00

Gruppe 2: EndoREZ - reine Pastentechnik

Zahn	Penetrationslokalisierung					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
20	4	2	3	100,0	50,0	75,0
21	3	2	1	100,0	66,7	33,3
22	7	2	1	100,0	28,6	14,3
23	3	4	1	75,0	100,0	25,0
24	3	3	2	100,0	100,0	66,7
25	6	4	3	100,0	66,7	50,0
27	2	2	1	100,0	100,0	50,0
211	2	2	2	100,0	100,0	100,0
212	4	3	3	100,0	75,0	75,0
214	3	2	1	100,0	66,7	33,3
Mittelwert	3,70	2,60	1,80	97,50	75,4	52,3

Gruppe 3: EndoREZ - Laterale Kondensation

Zahn	Penetrationslokalisation					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
30	3	2	2	100,0	66,7	66,7
31	3	2	1	100,0	66,7	33,3
32	5	1	2	100,0	20,0	40,0
33	6	3	5	100,0	50,0	83,3
34	3	4	2	75,0	100,0	50,0
35	4	3	2	100,0	75,0	50,0
36	2	2	0	100,0	100,0	0,0
37	3	3	3	100,0	100,0	100,0
38	3	2	2	100,0	66,7	66,7
39	5	3	3	100,0	60,0	60,0
311	5	3	3	100,0	60,0	60,0
312	4	3	4	100,0	75,0	100,0
Mittelwert	3,83	2,58	2,42	97,9	70,0	59,2

Gruppe 4: EndoREZ - Single cone, GP1 (ISO35)

Zahn	Penetrationslokalisation					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
40	4	4	3	100,0	100,0	75,0
41	5	4	5	100,0	80,0	100,0
42	6	2	6	100,0	33,3	100,0
45	5	3	6	83,3	50,0	100,0
46	2	2	2	100,0	100,0	100,0
47	4	2	4	100,0	50,0	100,0
48	2	3	2	66,7	100,0	66,7
411	6	6	7	85,7	85,7	100,0
412	4	5	6	66,7	83,3	100,0
413	6	8	9	66,7	88,9	100,0
414	9	8	9	100,0	88,9	100,0
415	4	3	4	100,0	75,0	100,0
417	2	4	5	40,0	80,0	100,0
Mittelwert	4,54	4,15	5,23	85,31	78,09	95,51

Gruppe 5: EndoREZ - Single cone, GP2 (ISO25)

Zahn	Penetrationslokalisierung					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
50	3	2	4	75,0	50,0	100,0
51	2	3	4	50,0	75,0	100,0
53	3	2	4	75,0	50,0	100,0
54	2	4	4	50,0	100,0	100,0
55	2	3	4	50,0	75,0	100,0
56	2	2	4	50,0	50,0	100,0
57	2	2	3	66,7	66,7	100,0
58	3	2	4	75,0	50,0	100,0
59	2	3	3	66,7	100,0	100,0
512	5	4	4	100,0	80,0	80,0
513	8	8	9	88,9	88,9	100,0
Mittelwert	3,09	3,18	4,27	67,93	71,41	98,18

Gruppe 6: EndoREZ - Single cone, GP3 (ISO30)

Zahn	Penetrationslokalisierung					
	Zahl der Schnitte			prozentualer Anteil		
	PenTyp I	PenTyp II	PenTyp III	PenTyp I [%]	PenTyp II [%]	PenTyp III [%]
60	2	2	4	50,0	50,0	100,0
61	4	4	5	80,0	80,0	100,0
62	2	1	2	100,0	50,0	100,0
63	3	2	4	75,0	50,0	100,0
65	2	1	3	66,7	33,3	100,0
68	4	3	5	80,0	60,0	100,0
69	3	1	4	75,0	25,0	100,0
611	1	3	4	25,0	75,0	100,0
612	3	2	8	37,5	25,0	100,0
613	7	2	5	100,0	28,6	71,4
614	9	8	8	100,0	88,9	88,9
Mittelwert	3,64	2,64	4,73	71,74	51,44	96,39

Ausmaß der Farbstoffpenetration:

Gruppe 1: AHP/Plus - Laterale Kondensation										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
10	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0
11	4	4	4	3	2	0	0	0	0	0
12	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0
13	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0
14	4	4	4	3	2	2	2	1	0	0
15	4	4	4	4	1	0	0	0	0	0
16	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0
17	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0
18	4	4	3	2	1	1	1	1	0	0
19	4	4	3	3	2	0	0	0	0	0
Mittelwert	4	3,90	2,90	1,90	0,80	0,30	0,30	0,20	0	0

Gruppe 2: Endo REZ - reine Pastentechnik										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
20	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0
21	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0
22	4	4	3	2	2	1	1	0	0	0
23	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0
24	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
25	4	4	4	3	3	2	0	0	0	0
27	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
211	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
212	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
214	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0
Mittelwert	4	3,80	2,30	1,20	0,50	0,30	0,10	0	0	0

Gruppe 3: EndoREZ - Laterale Kondensation										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
30	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0
31	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0
32	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0
33	4	4	4	3	2	1	0	0	0	0
34	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0
35	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0
36	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
37	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0
38	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0
39	4	4	3	1	1	0	0	0	0	0
311	4	4	3	1	1	0	0	0	0	0
312	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0
Mittelwert	4	3,67	2,50	1,08	0,42	0,08	0	0	0	0

Gruppe 4: EndoREZ - Single cone, GP1 (ISO35)										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
40	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0
41	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0
42	4	4	4	4	2	2	0	0	0	0
45	4	4	4	4	3	1	0	0	0	0
46	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
47	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0
48	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0
411	4	4	4	4	4	4	2	0	0	0
412	4	4	4	4	4	1	0	0	0	0
413	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
414	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
415	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0
417	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0
Mittelwert	4	4	3,31	3,00	2,00	1,23	0,77	0,62	0,31	0

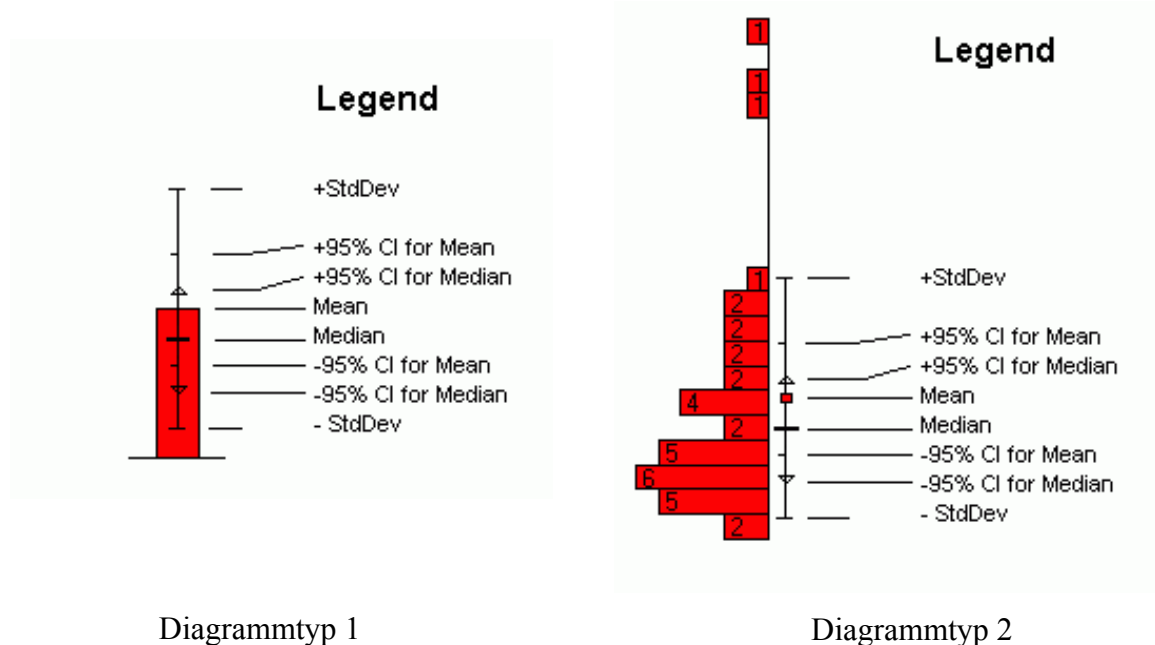
Gruppe 5: EndoREZ - Single cone, GP2 (ISO25)										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
50	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
51	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0
53	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0
54	4	4	3	4	0	0	0	0	0	0
55	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0
56	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0
57	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0
58	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0
59	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
512	4	4	4	4	1	0	0	0	0	0
513	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
Mittelwert	4	4	3,36	2,45	0,45	0,36	0,36	0,36	0,18	0

Gruppe 6: EndoREZ - Single cone, GP3 (ISO30)										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
60	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
61	4	4	4	3	3	0	0	0	0	0
62	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
63	4	4	1	1	0	0	0	0	0	0
65	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
68	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0
69	4	4	3	2	0	0	0	0	0	0
611	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0
612	4	4	4	4	4	2	2	2	0	0
613	4	4	4	4	4	3	1	0	0	0
614	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
Mittelwert	4	4	3,27	2,64	1,64	0,82	0,64	0,55	0,18	0

Gruppe 7: PositivGruppe										
Ausmaß der Farbstoffpenetration (Bewertung der 4 Quadranten)										
Zahn	1. Schnitt 0,5 mm	2. Schnitt 1,3 mm	3. Schnitt 2,1 mm	4. Schnitt 2,9 mm	5. Schnitt 3,7 mm	6. Schnitt 4,5 mm	7. Schnitt 5,3 mm	8. Schnitt 6,1 mm	9. Schnitt 6,9 mm	10. Schnitt 7,7 mm
Pos1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pos2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
Pos3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pos4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Pos5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert	4	4	4	4	4	4	4	4	3,8	3,6

8.5. Legenden zu den Diagrammen

Diagrammtypen:



Erläuterung der Bezeichnungen innerhalb der Diagramme:

Group _____ Gruppenname

N _____ Stichprobenumfang

Mean _____ Mittelwert

StdDev _____ Standardabweichung

Median _____ Median

Gauss _____ Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Gauss'sche Normalverteilung

LSD-Class _____ Post-Hoc-Test (Least Significance Difference) auf Kontraste (p=0.05)

p(AOV) _____ Varianz-Analyse

9. LEBENS LAUF

Persönliches

Name	Dejan Robert Konec
Geburtsdatum	05. Juni 1978
Geburtsort	München
Staatsangehörigkeit	slowenisch
Familienstand	ledig, keine Kinder
Eltern	Ivan und Ana Konec

Schul Ausbildung

Sep 1984 – Jul 1988	Grundschule am Strehleranger, München
Sep 1988 – Jun 1997	Heinrich-Heine-Gymnasium, München, Abitur

Hochschulstudium

Nov 1997 – Apr 1998	Studium der Architektur Technische Universität München
Mai 1998 – Jul 2003	Studium der Zahnmedizin Ludwig-Maximilians-Universität München
Feb 2003 – Jul 2003	Staatsexamen im Fach Zahnmedizin Ludwig-Maximilians-Universität München

Beruf

seit Jun 2004	Tätigkeit als Zahnarzt wissenschaftlicher Assistent an der Poliklinik der Zahnärztlichen Prothetik Ludwig-Maximilians-Universität München
---------------	--

10. DANKSAGUNG

Ich danke Herrn Prof. Dr. Christoph Benz für die freundliche Bereitstellung dieses Themas sowie für die Unterstützung und Beratung bei der Fertigstellung meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt daneben Herrn Dr. Cornelius Haffner, dessen immer vorhandene Hilfsbereitschaft, tatkräftige Unterstützung und die vielen anregenden Diskussionen diese Arbeit ermöglicht haben.

Ferner bedanke ich mich bei Herrn Dr. Gerald Hamm, der mir bei der statistischen Auswertung und den dabei aufkommenden Fragen zur Seite stand.

Herzlichen Dank auch an die Zahnärzte, die mich bei der Sammlung der extrahierten Zähne unterstützt haben.

Bei der Fa. Ultradent bedanke ich mich für die Bereitstellung und Nutzungsmöglichkeiten der zu untersuchenden Materialien.

Abschließend noch großen Dank an meine Familie und an all jene, deren Unterstützung ich während dieser Arbeit genießen durfte.