

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-  
und Plastische Gesichtschirurgie  
des Universitätsklinikums Halle (Saale)  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. J. Schubert)

**Experimentelle Untersuchungen zur Dichtheit von  
retrograden Wurzelfüllungsmaterialien**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Zahnmedizin  
(Dr. med. dent.)

vorgelegt  
der Medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Tobias Mohs

geboren am 4. März 1980 in Stendal

Gutachter:

1. Prof. Dr. Dr. Johannes Schubert
2. Prof. Dr. Hans-Günter Schaller
3. Prof. Dr. Dr. Martin Kunkel (Bochum)

eröffnet am: 08.05.2012

verteidigt am: 05.12.2012

## **Widmung**

Für Johanna, Johannes und Ferdinand

Meinen Eltern

## Referat

Ein bakterien- und toxindichter Verschluss der retrograden Kavität und die Wahl eines biokompatiblen Materials sind wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wurzelspitzenresektion. Dafür stehen zahlreiche Materialien unterschiedlicher Zusammensetzung zur Verfügung. Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, die Dichtheit von verschiedenen retrograden Füllmaterialien mittels eines passiven Penetrationstests zu untersuchen. Dazu wurden 140 extrahierte menschliche einwurzelige und einkanalige Oberkieferzähne nach Trepanation durch Step-Back-Technik bis zur ISO Größe 50 aufbereitet und anschließend um 3 mm wurzelspitzenreseziert. Danach erfolgte eine Ultraschallaufbereitung der retrograden Kavitäten und eine randomisierte Verteilung der Zähne auf sieben Versuchsgruppen. Nach retrograder Füllung wurden die Zähne in die Versuchskammern platziert und von orthograd eine definierte Menge von Methyleneblau appliziert. Im Anschluss erfolgten ein hermetischer Abschluss aller Proben und die Penetration des Farbstoffes für 30 Tage. Danach wurden die Proben spektralphotometrisch analysiert und die Konzentrationen des diffundierten Methyleneblaus bestimmt. Unter den retrograden Füllmaterialien erwies sich Diaket™ mit im Mittel 1,21 µmol/l als „dichtestes“ Material. Allerdings konnte zwischen den Materialien Diaket™, Dyract®AP und IRM® kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die höchsten Konzentrationswerte, und damit die schlechtesten Dichtheitswerte, lieferten Harvard® gefolgt von Amalcap®Plus, welche signifikant schlechtere Werte aufweisen. Das Mineraltrioxidaggregat ProRoot™MTA und der Glasionomermaterial Ketac™ Silver bildeten das Mittelfeld und waren somit unterlegen. Die Ergebnisse zeigen trotz der Einschränkung einer In-vitro-Untersuchung, dass auch Kompomere unter Anwendung eines Haftvermittlersystems in der Lage sind, die in der Praxis geforderte Dichtheit zu erreichen. Amalcap®Plus und Harvard® sind unter diesem Aspekt als retrogrades Füllmaterial nicht geeignet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>3</b>
2.1	Definition Wurzelspitzenresektion .....	3
2.2	Indikationen zur Wurzelspitzenresektion .....	3
2.3	Indikationen zur retrograden Aufbereitung und Wurzelfüllung .....	4
2.4	Aufbereitungsmethoden der retrograden Kavität .....	5
2.4.1	Mikrokopf-Technik.....	5
2.4.2	Ultraschall-Technik .....	6
2.5	Anforderungen an retrograde Füllmaterialien .....	7
2.6	Materialien zur retrograden Wurzelfüllung .....	8
2.6.1	Gold.....	8
2.6.2	Amalgam .....	8
2.6.3	Guttapercha .....	10
2.6.4	Glasionomerezemente .....	11
2.6.5	Zinkoxid-Eugenol-Zemente.....	11
2.6.6	Polymerverstärkter Zinkoxid-Zement.....	12
2.6.7	Zinkoxid-Phosphat-Zement.....	13
2.6.8	Mineraltrioxidaggregat .....	13
2.6.9	Kunststoffe.....	14
2.6.10	Kompomere .....	15
<b>3</b>	<b>Material und Methodik .....</b>	<b>17</b>
3.1	Methodenübersicht .....	17
3.2	Material.....	18
3.2.1	Auswahl der Zähne .....	18
3.2.2	Verwendete Lösungen .....	18
3.2.3	Materialien zur Vorbereitung der Zähne.....	19
3.2.4	Materialien zur retrograden Wurzelkanalfüllung.....	20

3.2.5	Materialien zur Probenherstellung.....	24
3.3	Methodik.....	26
3.3.1	Vorbereitung der Zähne .....	26
3.3.2	Versuchsgruppeneinteilung.....	27
3.3.3	Vorbereitung der Proben.....	27
3.3.4	Aufbau und Herstellung der Versuchskammer .....	28
3.3.5	Spektralphotometrische Analyse.....	30
3.4	Statistische Sicherung.....	32
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>33</b>
4.1	Darstellung der Messergebnisse .....	33
4.2	Statistische Auswertung .....	43
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>44</b>
5.1	Versuchsaufbau .....	44
5.2	Untersuchungsmethode .....	46
5.3	Ergebnisse.....	48
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Thesen zur Dissertation.....</b>	<b>71</b>
	<b>Tabellarischer Lebenslauf.....</b>	<b>72</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>73</b>
	<b>Erklärung über frühere Promotionsversuche .....</b>	<b>73</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>74</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANOVA	univariate Varianzanalyse (Englisch: analysis of variance)
Aquadest	Destilliertes Wasser
C	Konzentration
CHX	Chlorhexamed
Cm	Zentimeter
D	Durchmesser
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
E	Extinktion
EBA	Ethoxybenzoeacid
FG	Friction Grip
GIZ	Glasionomerezement
IRM	Intermediate Restorative Material
ISO	International Organisation for Standardisation
ml	Milliliter
Mm	Millimeter
MTA	Mineraltrioxidaggregat
Nm	Nanometer
o.g.	oben genannt
sog.	sogenannt
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Tab.	Tabelle
VEB	Volkseigener Betrieb
WSR	Wurzelspitzenresektion
E	molarer Extinktionskoeffizient
®	geschütztes Warenzeichen
™	Trademark
μmol	Mikromol

# 1 Einleitung und Zielstellung

Erstmals erwähnte der Amerikaner *Farrar* im Jahr 1884 die therapeutische Amputation einer Wurzelspitze bei Vorliegen eines ausgedehnten periapikalen Entzündungsherdes mit umliegender Knochennekrose. Begründer der Wurzelspitzenresektion war jedoch *Partsch*, der in den 1890er Jahren systematische Untersuchungen an Zähnen mit chronisch apikaler Parodontitis durchführte und den Ablauf der Resektion von Wurzelspitzen beschrieb (PARTSCH, 1898). Seitdem ist die Wurzelspitzenresektion ein fester Bestandteil der zahnärztlichen Chirurgie. Das operative Vorgehen, welches die chirurgische Darstellung der periapikalen Region, das Entfernen von pathologisch verändertem Gewebe sowie das Absetzen der Wurzelspitze beinhaltet, hat sich bis heute nicht grundlegend verändert. Nach der Einführung von Implantaten zum Ersatz nicht erhaltungswürdiger Zahnwurzeln verlor die zahnerhaltende Chirurgie zunächst an Bedeutung. Ursächlich waren die nicht konkurrenzfähigen Erfolgsraten der Wurzelspitzenresektion und die anfängliche Euphorie, jeden Zahn problemlos durch Implantate ersetzen zu können. Seit jedoch die Operationstechniken sowie die korrespondierenden Erfolgsraten der periradikulären Chirurgie konkurrenzfähiger geworden sind, erlebt die Wurzelspitzenresektion als Teil der zahnerhaltenden Chirurgie eine „Renaissance“ (LAMBRECHT und FILIPPI, 2008).

*Farrar* war wiederum auch der Erste, der eine Wurzelspitzenresektion gleichzeitig mit der retrograden Abfüllung des Wurzelkanals schilderte. Dabei benutzte er als Füllmaterial eine Goldschraube zusammen mit Phosphatzement (FARRAR, 1884). Die Bedeutung eines bakteriendichten Verschlusses der retrograden Kavität war schon früh erkannt worden (HAUENSTEIN, 1937; WASSMUND, 1935).

Die retrograde Füllung bei Wurzelspitzenresektionen ist nunmehr seit mehr als einem Jahrhundert in der zahnärztlichen Chirurgie verbreitet. Doch bis heute wird nach einem optimal geeigneten Füllmaterial gesucht. Als schwierig stellt sich neben der günstigsten Präparationstechnik vor allem das Legen der retrograden Füllung dar. Hierbei spielen häufig die Bedingungen für ein optimales Abbinden des jeweiligen Materials eine große Rolle. Die meisten Materialien benötigen initial Trockenheit und binden

unter feuchten Bedingungen schlecht oder nur unzureichend ab, was sich ungünstig auf die Dichtigkeit der Füllung auswirken kann.

Unzählige Materialien dienten und dienen als retrograde Wurzelfüllung. Fast ausschließlich stammen diese aus der konservierenden Zahnheilkunde. Vor allem Amalgam fand über Jahrzehnte Anwendung als retrogrades Füllmaterial. Aufgrund der Quecksilberbelastung und der damit angeblich verbundenen Toxizität wurde und wird der Einsatz kontrovers diskutiert.

In den letzten Jahren rückte die Frage nach der Biokompatibilität zunehmend in das Interesse wissenschaftlicher Studien. Besonders MTA, ein Mineraltrioxidaggregat, wurde unter diesen Gesichtspunkten als retrogrades Füllmaterial in Studien untersucht. Es wird ihm eine hervorragende Biokompatibilität als retrogrades Füllmaterial bescheinigt, sodass einige Autoren sogar histologisch ein Wachstum von Parodontium ähnlichen Strukturen beschreiben (APAYDIN et al., 2004; BAEK et al., 2010; BERNABE et al., 2007; BODRUMLU, 2008; FAYAZI et al., 2011; OTANI et al., 2011; REGAN et al., 2002; SOUSA et al., 2004; WASHINGTON et al., 2011).

Das ideale Wurzelfüllmaterial müsste also eine hohe Dichtigkeit und gleichzeitig eine gute Biokompatibilität aufweisen. Hinsichtlich der Dichtigkeit gibt es bislang unterschiedliche Studienergebnisse, die kritisch diskutiert werden. Oft wurden nur wenige Materialien miteinander untersucht, vor allem Amalgam, Glasionomerzement und MTA. Während einige Autoren bessere Dichtheitswerte zugunsten für MTA fanden (AQRABAWI, 2000; LEE et al., 1993; SCHULTZ et al., 2005; TORABINEJAD et al., 1993), bescheinigten andere diesem Material keine günstigeren Eigenschaften im Vergleich zu anderen retrograden Füllmaterialien (ADAMO et al., 1999; BATES et al., 1996; CHONG et al., 2003). Obgleich bei Misserfolg der Wurzelspitzenresektion multiple Faktoren eine Rolle spielen, ist jedoch der bakteriendichte Verschluss der Wurzelfüllung einschließlich der retrograden Kavität Grundvoraussetzung für den Erfolg (STRASSBURG und LENTRODT, 1995).

Ziel der vorliegenden Studie ist deshalb die Untersuchung von etablierten und neueren retrograden Wurzelfüllungsmaterialien im Hinblick auf Ihre Dichtigkeit unter Zuhilfenahme eines passiven Methylenblau-Penetrationstests. Als Maß für die Dichtigkeit wird die Menge an penetriertem Methylenblau quantitativ mit einem Spektralphotometer bestimmt.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Definition Wurzelspitzenresektion**

Die Wurzelspitzenamputation bezeichnet gemäß der Leitlinie der DGZMK (KUNKEL et al., 2007) die operative Kürzung der Wurzelspitze nach Schaffung eines operativen Zuganges mittels Osteotomie mit oder ohne gleichzeitige Wurzelfüllung und oder ohne retrograden Verschluss. Dabei stellt die Wurzelspitzenresektion in der Regel keinen Ersatz für eine sorgfältig durchgeführte Wurzelkanalbehandlung dar. Die Ausheilung einer bestehenden pathologischen Veränderung im periapikalen Bereich und somit die Erhaltung des Zahnes in seiner Funktion ist Ziel der Therapie. Wesentliche Voraussetzung dafür ist ein bakteriendichter Wurzelkanalabschluss am Resektionsquerschnitt.

### **2.2 Indikationen zur Wurzelspitzenresektion**

Allgemein anerkannte absolute und relative Indikationen stellen dar:

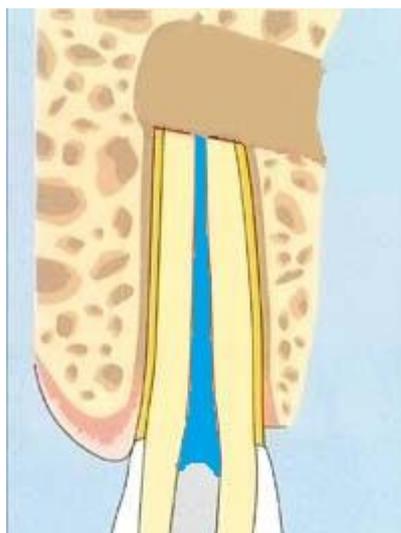
- eine apikale Parodontitis mit klinischer Symptomatik nach einer vollständigen oder unvollständigen Wurzelkanalfüllung oder Revisionsbehandlung, welche nicht verbessert werden kann
- überpresstes Wurzelfüllmaterial, Beteiligung der Kieferhöhle oder dem Mandibularkanal, morphologische Besonderheiten der Wurzeln, obliterierte sowie nicht instrumentierbare Wurzelkanäle mit klinischer und radiologischer Symptomatik
- Alternativtherapie bei apikaler oder persistierender apikaler Parodontitis zur konservativ endodontischen Behandlung, speziell ab einer Läsionsgröße über 3 mm
- die Fraktur eines Wurzelkanalinstrumentes in Apexnähe, welches auf orthogradem Weg nicht entfernt werden kann
- Via falsa in Apexnähe, die auf orthogradem Weg nicht verschlossen werden kann

- Wurzelfrakturen im apikalen Wurzel Drittel
- ausschließliche Behandlungsmöglichkeit von Patienten mit apikaler Parodontitis unter Narkose
- persistierende Schmerzsymptomatik auch nach klinisch und radiologisch einwandfreier Wurzelkanalfüllung
- persistierende apikale Parodontitis an bereits resezierten Zähnen

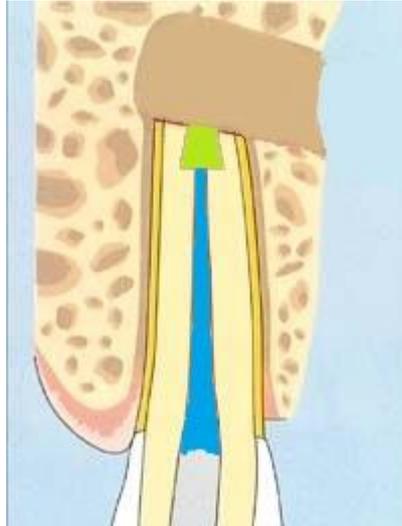
(KUNKEL et al., 2007).

### 2.3 Indikationen zur retrograden Aufbereitung und Wurzelfüllung

Prinzipiell sollte vor Wurzelspitzenresektion eine exakte orthograde Aufbereitung und Füllung des Wurzelkanales erfolgen. Diese kann sowohl präoperativ als auch intraoperativ durchgeführt worden sein. Ist eine orthograde Aufbereitung oder Verbesserung einer als nicht suffizient eingestuften orthograden Wurzelfüllung unmöglich und/oder liegen am Resektionsquerschnitt insuffiziente Verhältnisse vor, ist ein bakterien- und toxischdichter retrograder Verschluss des Wurzelkanals mittels retrograder Wurzelfüllung erforderlich (THIELE et al., 2003). Vergleichende Untersuchungen belegen höhere Erfolgsraten und eine bessere Prognose durch die retrograde Füllung (FRECOT und LAMBRECHT, 2002; STRIETZEL, 2004).



**Abb. 1:** Resezierte Wurzelspitze nach orthograde Wurzelfüllung (ein- oder zweizeitig)



**Abb. 2:** Resezierte Wurzelspitze mit retrograder Wurzelfüllung

## **2.4            Aufbereitungsmethoden der retrograden Kavität**

Die klassische, konventionelle Technik ist die Aufbereitung mit rotierenden Instrumenten. Hier stehen Hartmetall- sowie Diamantbohrer zur Verfügung. Seit Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts hat sich aber die retrograde Kavitätenpräparation mittels schall- oder ultraschallbetriebenen Instrumenten mehr und mehr durchgesetzt und gilt heute als Mittel der Wahl (VON ARX und KURT, 1999).

### **2.4.1            Mikrokopf-Technik**

Diese Technik verwendet einen sog. Mikrokopfansatz (vgl. Abb. 3) mit rotierenden Instrumenten. Das größer dimensionierte Mikrowinkelstück benötigt eine größere Osteotomie und eine starke Abschrägung der Resektionsfläche, um an den Resektionsquerschnitt zu gelangen. Bei dieser mechanischen Aufbereitung der Wurzelspitze entsteht eine sog. Schmierschicht, die neben Dentin- und Zementabrieb auch Gewebereste und Bakterien bzw. deren Toxine enthalten kann. Die Schmierschicht an den Dentinwänden der retrograden Kavität kann die Dichtheit der retrograden Füllung durch fehlende Wandständigkeit beeinträchtigen, so dass aus dem potentiellen Reservoir des restlichen Wurzelkanalsystems Bakterien oder deren Toxine über diese Schmierschicht

den periradikulären Raum reinfizieren können (PASHLEY, 1992). Aufgrund des notwendigen größeren knöchernen Zuganges und der Alternative Ultraschalltechnik hat die Mikrokopf-Technik kaum noch eine Bedeutung in der periradikulären Chirurgie.



**Abb. 3:** Ultraschall- und Mikrokopfanzatz im Größenvergleich

#### **2.4.2      Ultraschall-Technik**

Die Präparation der retrograden Kavität erfolgt mit speziell abgewinkelten und abrasiv beschichteten Ultraschallinstrumenten (VON ARX und WALKER, III, 2000). Die Vorteile liegen in der geringen Dimension und der speziellen Abwinkelung der Mikrospitzen (vgl. Abb. 3), was ein knochensubstanzschonenderen Zugang zum Apex und einen flachen Resektionswinkel ermöglicht. Die Präparation erfolgt durch vertikales Bewegen der Ansätze, möglichst ohne seitlichen Druck, um Risse oder Absplitterungen in der Kavitätenwand zu verhindern (LAMBRECHT und FILIPPI, 2008). Begonnen wird unter intensiver Kühlung mit einem dünnen Instrument von 1 mm Durchmesser, und nach Erreichen der Präparationstiefe wird zum nächst größeren Instrument gewechselt. Im Vergleich zu rotierenden Instrumenten ermöglicht die Verwendung der Mikrospitzen eine Präparation, die ausreichend tief ist und dem eigentlichen Kanalverlauf des Wurzelkanals folgt. Die Spitze folgt praktisch selbsttätig dem Verlauf des Wurzelkanals, der mit der Mikrokopftechnik wohl nicht einfach zu finden ist (Schubert, pers. Mitt.).

Durch die Schwingungsenergie kommt es zu einer zusätzlichen mechanischen Reinigung des Wurzelkanalsystems (VON ARX et al., 2001). Problematisch ist die mögliche Entstehung von Rissen und Absplitterungen während der Aufbereitung, sie hat jedoch keinen Einfluss auf die Dichtheit der retrograden Füllung (GONDIM E JR et al., 2002; ISHIKAWA et al., 2003; VON ARX und KURT, 1999). Eine Präparation von Unterschnitten ist bei den heute klinisch und experimentell gut untersuchten retrograden Füllmaterialien nicht mehr unbedingt erforderlich.

## **2.5 Anforderungen an retrograde Füllmaterialien**

Die Anforderungen an ein retrogrades Wurzelfüllmaterial wurden mehrfach definiert (BAUMANN und GARTNER, 1996; GARTNER und DORN, 1992; GROSSMANN, 1978). Sie berücksichtigen biologische und physikalische Eigenschaften sowie praktische Aspekte, die nachfolgend aufgeführt sind:

- Hohes Abdichtungsvermögen
- Biokompatibilität
- Wandständigkeit
- Porenfreiheit
- Formkonstanz
- Unlöslichkeit
- Feuchtigkeitsresistenz
- Radioopazität
- Einfache klinische Anwendbarkeit

Die Materialien sollten ausreichend experimentell untersucht und klinisch dokumentiert sein.

## **2.6 Materialien zur retrograden Wurzelfüllung**

Nahezu alle zahnärztlichen Füllmaterialien wurden bereits kurz nach ihrer Markteinführung auch als retrogrades Wurzelfüllmaterial eingesetzt. Die Frage nach dem besten retrograden Füllmaterial stellt sich jedoch auch noch heute und wird weiter stetig diskutiert (LAMBRECHT und FILIPPI, 2008).

### **2.6.1 Gold**

Gold kommt als retrograde Füllung in Form einer eingepressten Feingoldkugel (RHEINWALD und MAYER, 1962) und als Stopfgoldfüllung zur Anwendung (ROST, 1962; ROST, 1965; WÖRLE und WIRSCHING, 1977). *Kirschner* und *Pohl* favorisieren die Stopfgoldfüllung (KIRSCHNER und POHL, 1996). Jedoch bedarf es einer speziellen Verarbeitungstechnik. Während der Applikation ist eine weitgehende Trockenheit in der Kavität und im umgebenden Operationsfeld erforderlich. Dabei stellen Einblutungen während des Füllungsvorganges den Erfolg in Frage, da ein festes Verbinden, das sog. „Kaltverschweißen“, einzelner Goldportionen verhindert wird.

Zellbiologische Studien mit Hart- und Weichgewebszellen zeigten, dass Gold eine gute Biokompatibilität aufweist (CORTIZO et al., 2004; MA et al., 2008).

Wegen der technisch äußerst schwierigen Handhabung, der ungenügenden Abdichtung und der bisher geringen Anzahl von vorliegenden Untersuchungen stellt Stopfgold keine wirkliche Alternative als Material für den apikalen Verschluss einer retrograden Kavität mehr dar.

### **2.6.2 Amalgam**

Amalgam, eines der am besten untersuchten Materialien in der Zahnheilkunde und als Füllungsmaterial seit über 100 Jahren etabliert, stellte lange den Standard der retrograden Wurzelfüllmaterialien dar. Amalgam entsteht, wenn Feilungspulver, das sog. Alloy, und Quecksilber miteinander vermischt werden. Die Feilung besteht im Wesent-

lichen aus Silber, Kupfer, Zinn und Zink. Moderne sog. Gamma-2-freien Amalgame haben einen erhöhten Kupfergehalt und zeichnen sich durch eine verbesserte Korrosionsresistenz und damit bessere klinische Eigenschaften aus.

Sobald das Quecksilber mit dem Alloy vermischt wird, entsteht eine plastische stopfbare Masse, die bei Zimmertemperatur erhärtet. Vorteile sind neben der guten Stopfbarkeit die Expansion beim Aushärten und damit gute Randdichtigkeit, ausgezeichnete Radioopazität und einfache Handhabung. Als nachteilig sind das Einschleusen von Quecksilber in den Organismus während der Füllungslegung sowie die Korrosions- und Dimensionsveränderung im feuchten Milieu anzusehen.

Die biologischen Effekte von Amalgam hängen einerseits von den Inhaltsstoffen der Feilung und andererseits vom Quecksilber ab. So sind zinkfreie Amalgame nicht so zytotoxisch wie zinkhaltige (KIMURA, 1982). Die Toxizität des Quecksilbers war jahrelang Inhalt heftiger Diskussionen sowohl der Wissenschaftler als auch in der Politik, die zum Verbot der klinischen Anwendung von Amalgam in manchen Ländern geführt haben. Metallisches Quecksilber selbst ist bei Aufnahme über den Verdauungstrakt wenig giftig. Frisch angemischtes Amalgam weist jedoch lokal eine hohe Zytotoxizität auf, welche nach Aushärtung erheblich sinkt (TRONSTAD und WENNBERG, 1980). Es bewirkt in den ersten Wochen nach retrograder Füllungslegung eine Gewebereaktion mit ausgeprägten Entzündungszeichen (TORABINEJAD et al., 1995a; TORABINEJAD et al., 1997). Zwischen der 10. und 15. Woche sind chronische Entzündungszeichen des apikalen Gewebes erkennbar, und nach 15 Wochen kann die Bildung von Weichgewebe an retrograden Amalgamfüllungen festgestellt werden (ELEY, 1979; ELEY, 1982; MAHER et al., 1992).

Heutzutage findet das Material weitestgehend keine Anwendung mehr als Füllmaterial zum Verschluss von retrograden Kavitäten bei Wurzelspitzenresektion. Dies ist zum Großteil auf die schlechte Biokompatibilität und die unzureichende gesellschaftliche Akzeptanz des Materials zurückzuführen. Die Befürchtungen sind jedoch übertrieben. Skoner zeigte, dass die Quecksilberkonzentration im Blut nach retrograder Füllungslegung mit Amalgam keine signifikante Erhöhung aufwies (SKONER et al., 1996).

### 2.6.3 Guttapercha

Wie Amalgam wird Guttapercha schon sehr lange in der Zahnmedizin verwendet. Die dentalen Guttapercha-Stifte bestehen nur zu 20 bis 45 Masseprozent aus reiner Guttapercha und beinhalten außerdem noch Zinkoxid, Wachse und Kunststoffe als Weichmacher, Schwermetallsulfate als Röntgenkontrastmittel und Farbstoffe zur ISO-Kodierung (FRIEDMAN et al., 1975; GURNEY et al., 1971; HÜLSMANN, 1993). Die Anwendung von dentalem Guttapercha als plastisches retrogrades Füllmaterial sollte in jedem Fall in Kombination mit einem Sealer erfolgen, da es von allein nicht wandständig ist (SKINNER und HIMEL, 1987; TAGGER et al., 1994). Das führt zu einer technisch aufwendigen Applikation während der Operation. Als retrogrades Füllmaterial nimmt dentale Guttapercha Feuchtigkeit aus dem umgebenden periapikalen Gewebe auf. Außerdem expandiert es bei Erwärmung und schrumpft beim Erkalten, was im Hinblick auf die Anwendung und des möglicherweise entstehenden Randspaltes berücksichtigt werden muss.

Die Biokompatibilität der Guttapercha-Stifte ist insgesamt als akzeptabel anzusehen, wobei man zwischen der Gewebeverträglichkeit der reinen Guttapercha und jener von dentalen Guttapercha-Stiften zu unterscheiden hat (PASCON und SPANGBERG, 1990). Während reines Guttapercha als ein Material mit äußerst geringer Toxizität anzusehen ist (SPANGBERG und LANGELAND, 1973), wiesen dentale Guttapercha-Stifte sowohl eine geringe antimikrobielle Wirkung (MOORER und GENET, 1982) als auch eine teilweise länger andauernde Zytotoxizität bei direktem Zellkontakt auf (MUNACO et al., 1978; OSWALD und FRIEDMAN, 1980; DAS, 1981). Bei einer Studie, in der Schweinen subkutan dentale Guttapercha-Stifte implantiert worden waren, kam es zu einer lokalen Gewebereaktion, in der Makrophagen und mehrkernige Riesenzellen nachgewiesen wurden (SJOGREN et al., 1995).

*Naito* stellte fest, dass Guttapercha bei klinischer Verwendung als retrogrades Füllmaterial nicht so erfolgreich ist wie in der Anwendung als orthogrades Wurzelfüllmaterial (NAITO, 2004). Aufgrund der schwierigen Handhabung und den genannten Anforderungen spielt dentale Guttapercha heute ebenso wie Amalgam kaum noch eine Rolle als retrogrades Wurzelfüllmaterial.

#### **2.6.4 Glasionomerzemente**

Glasionomerzemente gehören zu den am meist verbreiteten retrograden Wurzelfüllmaterialien, denen neben einer guten Biokompatibilität ausreichend Haftung am Dentin bescheinigt wird (KAWAHARA et al., 1979). Sie bestehen aus den für Dentalzemente typischen Komponenten Pulver (Silikat-Gläser mit eingesprengten fluoridreichen kristallisierten Tröpfchen) und Flüssigkeit (wässrige Weinsäure). Durch Sinterung ist es möglich, Metall in die Glaspartikel einzuschmelzen, wobei überwiegend Silber verwendet wird, welches als Stressabsorber dienen soll und eine erhöhte Biege- und Abriebfestigkeit gewährleistet. Werden derartig veränderte Gläser verwendet, spricht man auch von Cermet-Zementen (HELLWIG et al., 2003). Beide Arten der Glasionomerzemente können als retrogrades Füllungsmaterial angewendet werden (BARKHORDAR et al., 1989; PISSIOTIS et al., 1991; PISSIOTIS und SPANGBERG, 2000).

In die Gruppe der metallverstärkten Glasionomerzemente gehört das gut untersuchte Material Ketac™ Silver (HICKEL, 1988; MICHALCZIK et al., 1993; PELKA et al., 1993). Das Abdichtungsvermögen und die Gewebeverträglichkeit sind im Vergleich zu Amalgam besser und den Zinkoxid-Eugenol-Zementen ebenbürtig (CHONG et al., 1995; INOUE et al., 1991; THIRAWAT und EDMUNDS, 1989; WU et al., 1998). Kontamination mit Blut oder Feuchtigkeit während der Füllungslegung hat aber wie bei den meisten anderen Materialien auch einen negativen Einfluss auf das Abbindeverhalten und somit auf die Materialeigenschaften, und führt häufiger zu schlechten Resultaten (ZETTERQVIST et al., 1991).

#### **2.6.5 Zinkoxid-Eugenol-Zemente**

Das Pulver der Zinkoxid-Eugenol-Zemente enthält zum Großteil Zinkoxid. Der übrige Anteil besteht aus Harzen, denen unterschiedliche Zinkverbindungen beigemischt sind. Als Flüssigkeit dient Eugenol. Ein klassischer Vertreter ist IRM®. Einigen Zementen ist im Pulver Aluminiumoxid und in der Flüssigkeit Ethoxybenzoesäure zugesetzt. Dann spricht man von sog. Ethoxybenzoesäurezementen, kurz EBA-Zementen, deren Löslichkeit verringert und die Druckfestigkeit im Vergleich erhöht ist.

Als Phenolderivat ist Eugenol zytotoxisch und neurotoxisch (HELLWIG et al., 2003), weshalb die Biokompatibilität der Zinkoxid-Eugenol-Zemente zumindest als fraglich anzusehen ist. In klinischen Studien zeigten IRM® und SuperEBA™ jedoch ähnliche Erfolgsraten und histopathologische Effekte wie beim bioverträglichen Mineraltrioxidaggregat (LINDEBOOM et al., 2005; BERNABE et al., 2005).

Aufgrund der vorn genannten Forderungen und Aspekte werden heute in Europa und in den USA vorwiegend die modifizierten Zinkoxid-Eugenol-Zemente SuperEBA™ und IRM® empfohlen und eingesetzt (JOHNSON, 1999; STRIETZEL, 2004).

### **2.6.6 Polymerverstärkter Zinkoxid-Zement**

Als alleiniger Vertreter dieser Gruppe steht das Produkt Diaket™, welches bereits 1951 erstmals beschrieben wurde (INGLE und BAKLAND, 1994). Diaket™ ist ein Polyvinylharz basierter Zinkoxid-Zement, der als retrogrades Füllmaterial Verwendung findet, jedoch ursprünglich als Wurzelkanalsealer entwickelt worden war (WILLIAMS und GUTMANN, 1996). Während der Abbindung härtet eine Mischung aus Vinylpolymerisaten infolge Komplexbildung zu wasserunlöslichen, zyklischen Komplexen aus (VON FRAUNHOFER und BRANSTETTER, 1982). In Studien, in denen Diaket™ als Wurzelkanalsealer verwendet wurde, zeigte sich, dass es zytotoxische Eigenschaften in Zellkulturen aufwies (KETTERING und TORABINEJAD, 1984) und chronische Entzündungen im Knochen- und subkutanen Gewebe erzeugte (OLSSON und WENNBERG, 1985; SPANGBERG, 1969). Hingegen wies Diaket™ eine gute Biokompatibilität in Knochengewebe auf, wenn es in einer für das Legen einer retrograden Füllung notwendigen festeren Konsistenz angemischt worden war (NENCKA et al., 1995; WILLIAMS und GUTMANN, 1996). Eine Zementneubildung konnte nicht nachgewiesen werden (REGAN et al., 2002).

Insgesamt sind die Biokompatibilität, die Volumenbeständigkeit sowie das Abdichtungsverhalten von Diaket™ allgemein als gut zu bezeichnen (ORSTAVIK et al., 1987; ORSTAVIK und MJOR, 1988). Trotzdem wurde es mittlerweile in Deutschland durch den Hersteller vom Markt genommen. Als Grund wurde angegeben, dass ein Rohstoffbestandteil in ausreichender Qualität nicht mehr lieferbar war und somit eine teure Rezepturänderung nach sich gezogen hätte.

## **2.6.7 Zinkoxid-Phosphat-Zement**

Zinkoxid-Phosphat-Zement findet in der Zahnheilkunde vornehmlich als provisorisches Füllmaterial, Befestigungs- und Unterfüllungszement Anwendung. Das Pulver besteht zum Großteil aus Zinkoxid und Beimengungen von Magnesiumoxid. Die Flüssigkeit enthält Orthophosphorsäure mit puffernden Zusätzen von Zink und Aluminium. Zinkoxid-Phosphatzemente reagieren nach Anmischung stark sauer. Erst nach Stunden wird ein neutraler pH-Wert erreicht (KÖRBER und LUDWIG, 1993).

Im Hinblick auf das stark saure Abbinden, die hohe Porosität, die Wasserlöslichkeit und die Schrumpfung während des Erhärtens ist ein Zinkoxid-Phosphat-Zement als retrogrades Wurzelfüllmaterial ungeeignet.

## **2.6.8 Mineraltrioxidaggregat**

Mineraltrioxidaggregat wurde 1993 an der Universität von Loma Linda in Kalifornien entwickelt und wird als retrogrades Wurzelfüllmaterial, zum Verschluss von Perforationen und zur direkten Pulpaüberkappung verwendet (STORM et al., 2008). Hauptbestandteile sind Trikalziumsilikat, Trikalziumaluminat, Kalziumoxid und Siliziumoxid. Die chemische Zusammensetzung entspricht in etwa dem eines Portlandzementes. Dieser ist jedoch sehr inhomogen und verunreinigt, während MTA homogen und konsistent in der Zusammensetzung ist. Zur Erhöhung der Radioopazität wurde Wismutoxid hinzugefügt. Das MTA-Pulver besteht aus feinen hydrophilen Partikeln, welches gemischt mit sterilem Wasser ein kolloidartiges Gel ergibt, das innerhalb von drei Stunden völlig aushärtet und nicht mehr löslich ist (DEAL et al., 2002; LEE et al., 1993; NAITO, 2004; TORABINEJAD et al., 1995b). Entgegen anderen retrograden Füllmaterialien benötigt MTA gerade Feuchtigkeit zum Abbinden. MTA hat nach dem Anmischen einen basischen pH-Wert, der innerhalb von drei Stunden auf pH 12,5 ansteigt und für mindestens 22 Stunden unverändert bleibt. Grund dafür ist das enthaltene Kalziumoxid, das mit Flüssigkeit zu Kalziumhydroxid reagiert (MINANA et al., 2001).

In-vivo-Studien zeigten keine signifikant besseren Heilungsraten bei retrograder Wurzelfüllung im Vergleich zu IRM® (LINDEBOOM et al., 2005; CHONG et al., 2003). Jedoch

lagern sich in Tierexperimenten auf der Füllungsoberfläche wurzelzementähnliche Strukturen an, die zu einer Regeneration des Parodonts ohne Ersatzgewebsbildung führen (TORABINEJAD und PITT FORD, 1996; ECONOMIDES et al., 2003). An Hundezähnen konnte eine Hartgewebsbildung direkt an der retrograden Füllung nachgewiesen werden (BERNABE et al., 2005). Diese Zementogenese konnte bei keinem anderen retrograden Wurzelfüllmaterial gefunden werden. Ob MTA durch seine geringe Zytotoxizität eine Zementbildung einfach besser zulässt als andere Materialien oder ob die Zementsynthese aktiv induziert wird, ist nicht genau geklärt (WASHINGTON et al., 2011). Das gute Abdichtungsvermögen, der stark basische pH-Wert beim Abbinden und die hohe Biokompatibilität könnten dabei eine Rolle spielen. Neuere Studien zeigen, dass gereinigter Portlandzement ähnliche Eigenschaften im Hinblick auf marginale Adaptation, Dichtheit und Zytotoxizität aufweist wie MTA (BIDAR et al., 2007; HONG et al., 2008; ABDULLAH et al., 2002; SHAHI et al., 2011).

### **2.6.9 Kunststoffe**

Kunststoffmaterialien haben einige wünschenswerte Materialeigenschaften und können für die Anwendung als retrogrades Füllmaterial in Erwägung gezogen werden. Dabei ist die Verwendung eines Haftvermittlers notwendig, was wiederum ein trockenes Arbeitsfeld voraussetzt. Einblutungen während der Füllungslegung reduzieren die Haftkraft und erhöhen die Gefahr einer undichten retrograden Füllung (MILES et al., 1994; VIGNAROLI et al., 1995).

Oft wird eine muldenförmige Präparation mittels kugelförmigen Diamanten empfohlen, da einige Kunststoffe nicht stopfbar und nur schwer in retrograd präparierte Kanalanteile einzubringen sind (VON ARX, 2005). Ein Vertreter dieser Gruppe ist Retroplast™, ein chemisch härtendes Zweikomponentenkomposit auf Methacrylatbasis, welches 1984 explizit für den Einsatz als retrogrades Füllmaterial entwickelt worden war. Nach Anmischung weist Retroplast™ eine thixotrope Konsistenz auf. Es zeigte in klinischen Studien signifikant bessere Heilungsraten als Amalgam und Glasionomerzement (RUD et al., 1991; JENSEN et al., 2002).

Alle Kunststoffe unterliegen beim Aushärten einer Schrumpfung und somit der Gefahr einer Spaltbildung, was sich nachteilig auf das Abdichtungsvermögen auswirken kann. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Kunststoffe als retrogrades Wurzelfüllmaterial bei entsprechender Trockenlegung aus physikalischer Sicht relativ geeignet sind.

Es stellt sich jedoch die Frage nach ausreichender Biokompatibilität, die aufgrund der endlosen Produktvielfalt und bisher fehlenden Studien nach retrograder Anwendung nicht hinreichend geklärt werden kann. Eine Studie an 30 Guinea-Schweinen zeigte, dass ein lichthärtender Kunststoff ähnliche biokompatible Eigenschaften wie das Material ProRoot™ MTA aufweist (SOUSA et al., 2004). Andere Untersuchungen wiesen Zellwachstum auf Oberflächen von retrograden Kunststofffüllungen nach (MAEDA et al., 1999; MURRAY et al., 2002; PELTOLA et al., 1992; ZHU et al., 2000). Problematisch ist, dass einige Inhaltsstoffe von Kunststoffen und Haftvermittlern zytotoxische Eigenschaften aufweisen und diese abhängig von Agens und Konzentration sind (BRUCE et al., 1993; HANKS et al., 1992; RAKICH et al., 1998; RAKICH et al., 1999; TAI et al., 2001).

### **2.6.10 Kompomere**

Kompomere sind lichthärtende Komposite, die durch Glasionomerzement-Komponenten modifiziert wurden und die Eigenschaften beider Materialien vereinen sollen. Kompomere besitzen einen hohen Füllstoffanteil ähnlich wie Hybridkomposite und sollten, ebenso wie Kunststoffe, mit einem Haftvermittlersystem verarbeitet werden. Die Füllpartikel stammen zugleich aus der Glasionomerzement- und Kompositotechnologie. Die Aushärtung erfolgt primär über eine Lichtpolymerisation der Monomere und sekundär, sobald Wasser aufgenommen werden kann, über eine Nachhärtung in Form einer Säure-Base-Reaktion. Jedoch konnte der Säure-Base-Reaktionsmechanismus bisher noch nicht endgültig bewiesen werden (ERNST und WILLERSHAUSEN, 2003). Im Gegensatz zu Glasionomerzementen wird Kompomeren eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit zugeschrieben. Ein Vertreter dieser Materialgruppe, der auch zum Einsatz als retrogrades Wurzelfüllmaterial kommt, ist das Produkt Dyract® AP.

Dokumentierte klinische Studien über Kompomere sind limitiert. Eine In-vivo-Studie von *Platt* und *Wannfors* vergleicht Dyract®AP unter Anwendung einer wannenförmigen Präparationstechnik nach *Rud* (RUD et al., 1991; RUD et al., 2001) mit dem Glasionomerzement Ketac™ Silver, welches nach konventioneller Ultraschall-Aufbereitungstechnik gelegt wurde. Dabei verzeichnete Dyract® AP ein Jahr nach Füllungslegung signifikant höhere Heilungsraten als Ketac Silver (PLATT und WANNFORS, 2004). In Dichtigkeitsuntersuchungen schnitt das Kompomer Dyract® AP äquivalent oder besser als Zinkoxid-Eugenol-Zemente ab (BOHSALI et al., 1998; GREER et al., 2001). Bei einer Studie an 30 Ratten, denen Dyract®AP-Proben implantiert wurden, zeigten sich Entzündungsreaktionen am Weichgewebe in den ersten 7 Tagen, welche darauffolgend abnahmen und nach 90 Tagen nicht mehr nachweisbar waren (OZBAS et al., 2003).

Unter Betrachtung der retrograden Anwendung, Trockenlegung und Notwendigkeit eines Haftvermittlers und der Biokompatibilität ist es fraglich, ob Kompomere uneingeschränkt als retrogrades Füllmaterial geeignet sind.

### 3 Material und Methodik

#### 3.1 Methodenübersicht

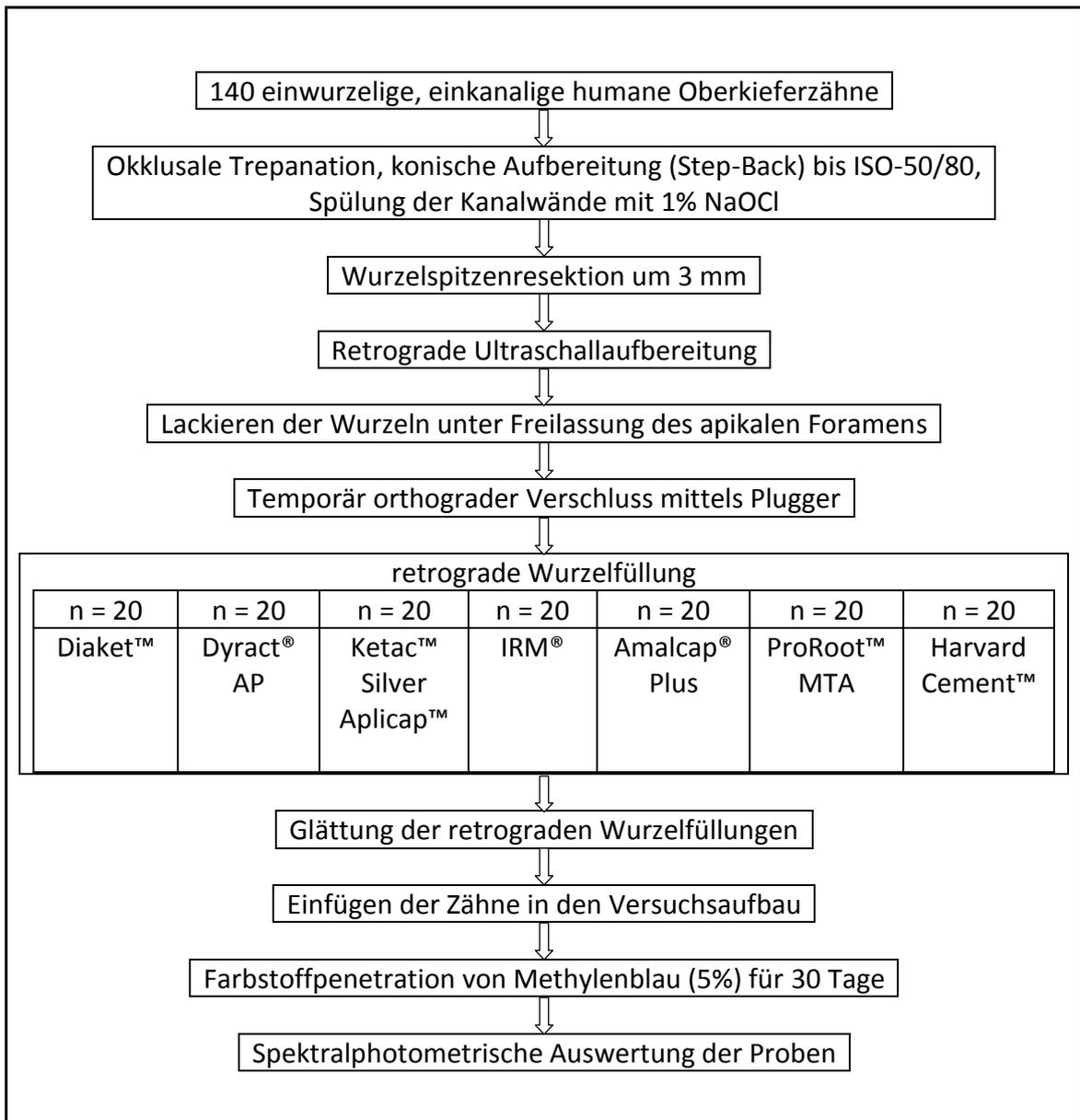


Abb. 4 : Flussdiagramm der Untersuchung

## **3.2 Material**

### **3.2.1 Auswahl der Zähne**

Es wurden für die Durchführung der Versuche 140 menschliche, einwurzelige und einkanalige obere Prämolaren verwendet. Diese wiesen ein abgeschlossenes Wurzelwachstum auf, waren frei von sichtbaren Frakturen und Läsionen kariöser Art und nicht endodontisch vorbehandelt.

Die Zähne waren nach Extraktion bis zur Versuchsdurchführung in 0,9%iger Kochsalzlösung bei Zimmertemperatur aufbewahrt worden.

### **3.2.2 Verwendete Lösungen**

#### **Kochsalzlösung** (B. BRAUN, Melsungen, D)

Die 0,9%ige Natriumchloridlösung wurde als Lagerungs- und Versuchsmedium sowie zur Kühlung des Ultraschallansatzes verwendet.

Zusammensetzung 1000 ml Lösung:

- 9 g NaCl
- 991 g gereinigtes Wasser

#### **Natriumhypochlorid** (Lege artis, Dettenhausen, D)

Diese 1%ige Lösung wurde zum Spülen des Wurzelkanals eingesetzt. Es ist ein flüssiges Oxidationsmittel, welches zur Desinfektion und Reinigung des Kanalsystems angewendet wird. Neben den guten antibakteriellen Eigenschaften weist es auch eine sehr gute gewebeauflösende Wirkung auf.

Zusammensetzung 1000 ml Lösung:

- 10 g NaOCl
- 990 g gereinigtes Wasser

### **Chlorhexamed** (GSK, Bühl, D)

Chlorhexidindigluconat 0,1% kommt vor allem wegen seiner desinfizierenden Eigenschaften zur Spülung des Wurzelkanalsystems zum Einsatz.

Zusammensetzung:

- Chlorhexidindigluconat
- Ethanol 96% (7,2 Vol% Alkohol)
- Glycerol
- Macroglycerolhydroxystearat
- Anethol
- Nelkenöl
- Levomenthol
- Zimtöl
- Ponceau 4R (E 124)
- Gereinigtes Wasser

### **Methylenblau** (Universitätsapotheker des Universitätsklinikums Halle, Halle/Saale, D)

Die 5%ige Methylthioniumchloridlösung wird als Medium für die Farbstoffpenetration eingesetzt.

Zusammensetzung 1000 ml Lösung:

- 50 g Methylthioniumchlorid
- gereinigtes Wasser

## **3.2.3 Materialien zur Vorbereitung der Zähne**

Zur Trepanation der Zähne und zur Entfernung der Wurzelspitze wurde ein zylindrisch runder Diamantbohrer mit grüner Ringmarkierung und 10 mm Arbeitsteillänge verwendet (KOMET, Lemgo, D).

Zur Erweiterung des Wurzelkanaleingangs diente ein Gates-Glidden-Bohrer mit blauer Ringmarkierung (KOMET, Lemgo, D).

Für die konische Erweiterung des Wurzelkanalsystems wurden Hedström- und K-Feilen (VDW, München, D) der ISO-Größen 10 bis 80 verwendet. Die Schaftlänge der Feilen betrug 25 mm.

Zur Spülung der Wurzelkanäle diente eine 3 ml Einmalspritze mit Luer Lock (TRANSCODENT, Neumünster, D) und eine sehr flexible Endo-Kanüle (VMK EndoNeedle - VEDEFAR, Dilbeek, Belgien) mit abgerundeter, konischer Spitze der Größe 0,35 mm x 0,25 mm benutzt, wodurch ein tiefes Einführen in den Wurzelkanal ermöglicht wird.

Zum Trocknen der Kanäle sind Papierspitzen der ISO-Größen 15 bis 80 verwendet worden (ROEKO, Langenau, D).

In Vorbereitung der Wurzelspitzenkürzung wurde zur Längenbestimmung ein Stahllineal (HU-FRIEDY, Chicago, USA) und zur Markierung ein wasserfester Filzschreiber (STABILO, Heroldsberg, D) benutzt.

Für die retrograde Ultraschallpräparation diente eine diamantierte Ultraschall-Retro-Spitze 90° universal, S12/90D (SATELEC, Narbonne, Frankreich) zusammen mit dem Gerät SUPRASSON P-MAX (SATELEC, Narbonne, Frankreich).

### **3.2.4 Materialien zur retrograden Wurzelkanalfüllung**

**DIAKET™** (3M ESPE, Seefeld, D) (vom Markt genommen seit 2009)

Dieses Wurzelkanalfüllmaterial auf Zinkoxidbasis mit Polymerverstärkung soll laut Herstellerangaben während der Abbindung Fette und organische Substanzen lösen sowie Feuchtigkeitsreste von der Wurzelkanalwand aufnehmen. Ebenso soll es eine hohe Haftkraft aufweisen und sich zuverlässig und bakteriendicht mit der Wurzelkanalwand verbinden. Es wird aus den Komponenten Pulver und Flüssigkeit angemischt und ist nach Aushärtung formkonstant und röntgensichtbar.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zinkoxid 97%</li> <li>• Wismutphosphat 3%</li> </ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propionylacetophenon 76%</li> <li>• Vinyl-Kopolymer 23,3%</li> <li>• Dichlorophen 0,5%,</li> <li>• Triethanolamin 0,2%</li> </ul>

**Dyract® AP** (DENTSPLY DeTrey, Konstanz, D)

Dyract®AP gehört in die Gruppe der Kompomere. Diese sollen die Eigenschaften von Kompositen und Glasionomern miteinander vereinen. Das Kompomer weist eine gute Röntgenopazität auf.

<u>Zusammensetzung:</u>	Kunstharzmatrix:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urethan-Dimethacrylat (UDMA)</li> <li>• Tetracarboxylsäure-Dihydroxyethylmethacrylat-Ester (TCB-Harz)</li> <li>• Alkanoylpolymethacrylat</li> </ul>
	Füllpartikel:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strontiumfluorosilikat-Glas</li> </ul>
	Sonstige:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoinitiatoren</li> <li>• Butylhydroxytoluen</li> </ul>

**Ketac™ Silver Aplicap™** (3M ESPE, Seefeld, D)

Ketac™ Silver gehört in die Gruppe der metallverstärkten Glasionomern. Dieser Zement mit glasgesintertem Silberpulver dient als Aufbau- und Füllungsmaterial.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siliziumoxid</li> <li>• Aluminiumoxid</li> <li>• Aluminiumfluorid</li> <li>• Calcium</li> <li>• Kryolith</li> <li>• Titanoxid</li> <li>• Silber</li> </ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polykarbonsäuren</li> </ul>

**IRM®** (DENTSPLY DeTrey, Konstanz, D)

Dieses Füllungsmaterial ist ein polymerverstärkter Zinkoxid-Eugenol-Zement.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zinkoxid 80%</li> <li>• Polymethylmethacrylat 20%</li> </ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eugenol</li> </ul>

**Amalcap® Plus** (VIVADENT, Schaan, Liechtenstein)

Dieses gamma-2-freie, sphärische Silberamalgam liegt in einer selbstaktivierenden Kapsel vor. Laut Herstellerangaben soll Amalcap® Plus korrosionsresistent sein und einen hohen Oberflächenglanz nach der Verarbeitung aufweisen.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silber</li> <li>• Zinn</li> <li>• Kupfer</li> </ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quecksilber</li> </ul>

**ProRoot™ MTA** (DENTSPLY DeTrey, Konstanz, D)

Dieses mineralische Trioxid-Aggregat verspricht laut Herstellerangaben maximale Randdichtigkeit und soll das Eindringen von Bakterien verhindern. Das Anwendungsspektrum ist breitgefächert: Apexifikation, Ausheilung nach Wurzelperforation, retrograde Wurzelfüllung und Pulpaüberkappung.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Trikalziumsilikat</li><li>• Trikalziumaluminat</li><li>• Kalziumoxid</li><li>• Siliziumoxid</li><li>• Wismutoxid</li></ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"><li>• destilliertes Wasser</li></ul>

**Harvard®** schnellhärtend (Hoffmanns Dental Manufaktur, Berlin, D)

Dieser Zement gehört zu der Gruppe der Zinkphosphatzemente.

<u>Zusammensetzung:</u>	Pulver:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zinkoxid</li><li>• Magnesiumoxid</li><li>• Siliziumdioxid</li><li>• Aluminiumoxid</li><li>• Kalziumoxid</li><li>• Kaliumoxid</li></ul>
	Flüssigkeit:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Orthophosphorsäure</li><li>• gereinigtes Wasser</li><li>• Aluminium</li><li>• Zink</li></ul>

### **Prime&Bond® NT** (DENTSPLY DeTrey, Konstanz, D)

Prime&Bond® NT ist ein universeller, selbstprimender Haftvermittler, der für die adhäsive Verbindung von Kompositen und Kompomeren an der Zahnhartsubstanz entwickelt wurde. Er verbindet Haftvermittlung (Priming) und Adhäsiv (Bonding) in einer Flasche. Laut Herstellerangaben soll es sich durch herausragende Retentionseigenschaften und einen langanhaltenden Schutz vor Mikerspaltbildung auszeichnen. Dieser Haftvermittler wurde zusammen mit Dyract®AP verwendet. Der Hersteller empfiehlt bei der Anwendung des Haftvermittlers mit dem Kompomer keine vorherige Konditionierung der Kavität.

#### **Zusammensetzung:**

- Di- und Trimethacrylat-Harze
- Funktionalisiertes amorphes Siliziumdioxid
- Dipentaerytritolpentacrylat-Phosphorsäure-Monomer
- Lichtstabilisatoren
- Cetylaminhydrofluorid
- Aceton

### **3.2.5 Materialien zur Probenherstellung**

Zur Simulation der orthograden Wurzelfüllung diente ein Machtou-Plugger (VDW, München, D) der Größe 1-2 (ISO 50+60) oder der Größe 3-4 (ISO 80+100).

Zum Kontrollieren der Tiefe der retrograden Kavität wurde eine millimeterskalierte Parodontalsonde (HU FRIEDY, Chicago, USA) eingesetzt.

Die retrograde Wurzelfüllung wurde mit einem Heidemannspatel und Kugelstopfinstrument gelegt. Danach erfolgte die Glättung mit einem zylindrisch runden Diamantbohrer, mit gelber Ringmarkierung und 10 mm Arbeitsteillänge (KOMET, Lemgo, D).

Als Versuchskammer für die jeweiligen Proben diente ein 13 ml Reagenzröhrchen (Abb. 7) aus Polysterol mit Rundboden, welches die Maße 100 mm in der Länge und 16 mm im Durchmesser aufwies (SARSTEDT, Nümbrecht, D).

Die Versiegelung der Zähne erfolgte mit rotem Nagellack (MAYBELLINE, Düsseldorf, D).

Zur Positionierung der Zähne in den Reagenzröhrchen sind jeweils ein individuell hergestellter Haltering aus einem knetbaren C-Silikon, Silaplast FUTUR<sup>®</sup>, benutzt worden (DETAX, Ettlingen, D).

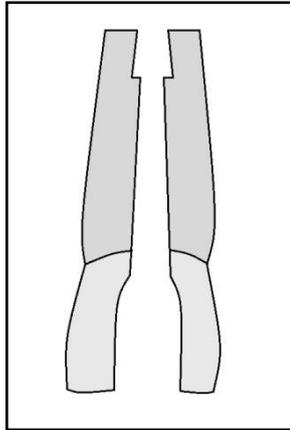
Das Pipettieren des Farbstoffes und der Mediumlösung wurde mit einer variabel einstellbaren Pipette vorgenommen (EPPENDORF, Hamburg, D). Die dazugehörigen Pipettenspitzen hatten eine gelbe und blaue Markierung (EPPENDORF, Hamburg, D).

Der koronale Verschluss der Zähne erfolgte mittels einem Glasionomierzement, Ketac Fil<sup>®</sup> (3M ESPE, Seefeld, D).

Zum Verschluss der Versuchskammer diente ein dünnfließendes C-Silikon, Silasoft N<sup>®</sup> (DETAX, Ettlingen, D).

### 3.3 Methodik

#### 3.3.1 Vorbereitung der Zähne



**Abb. 5:** präparierter Versuchszahn

Alle Versuchszähne wurden unter Anwendung eines FG-Winkelstücks mit Diamantbohrer bei 120 000 Umdrehungen pro Minute unter kontinuierlicher Wasserkühlung von orthograd eröffnet, um eine Zugangskavität zu schaffen. Überstehende Pulpdachreste wurden vollständig entfernt und der Eingang des Wurzelkanals mit Hilfe eines Gates-Glidden-Bohrers erweitert. Um die Durchgängigkeit der Wurzelkanäle zu kontrollieren sowie die Arbeitslänge festzulegen, wurde eine Hedström-Feile der ISO Größe 10 um etwa einen Millimeter über das apikale Foramen hinaus eingeführt. Nach Festlegung der Arbeitslänge folgte die apikale Erweiterung bis zur ISO-Größe 50. Im Anschluss wurde mittels der Step-Back-Technik die koronale Aufbereitung aller Zähne bis zur ISO-Größe 80 abgeschlossen. Während der Behandlung wurde abwechselnd mit 0,1%iger Chlorhexamed-Lösung und 1%iger Natriumhypochlorid-Lösung gespült.

Nach vollständiger Wurzelkanalaufbereitung wurde an allen Versuchszähnen eine Markierung im Abstand von drei Millimetern zur Wurzelspitze angebracht. Im Anschluss erfolgte die Entfernung der Wurzelspitze aller Zähne mittels FG-Winkelstück und Diamantbohrer bis zu dieser Markierung. Anschließend wurde unter Gebrauch des Ultraschallgerätes SUPRASSON P-MAX und eines diamantierten Ultraschallansatzes an jedem Zahn eine retrograde Kavität präpariert. Hierbei ist darauf geachtet worden,

dass die retrograde Kavität eine unter sich gehende Form und eine Tiefe von 3 Millimetern aufwies. Anschließend erfolgte die Aufbewahrung der Zähne in einer sterilen Kochsalzlösung.



**Abb. 6:** Ultraschallansatz zur Präparation der retrograden Kavität

### 3.3.2 Versuchsgruppeneinteilung

Die Versuchszähne wurden randomisiert in 7 Versuchsgruppen á 20 Zähne aufgeteilt.

**Tab. 1:** Einteilung der Versuchsgruppen

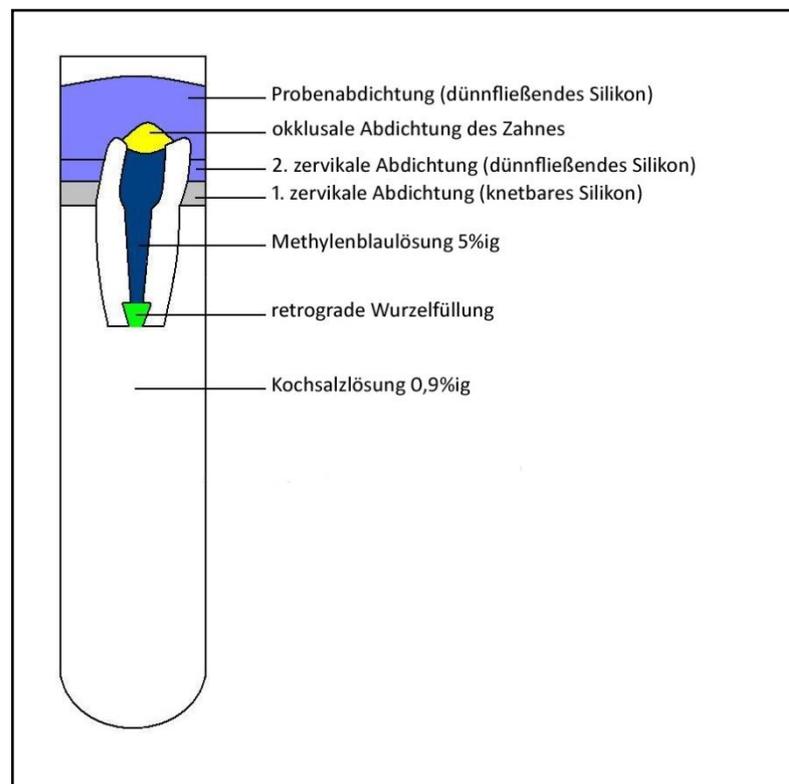
Versuchsreihe	Füllmaterial	Anzahl
1. Gruppe	Diaket®	20
2. Gruppe	Dyract® AP	20
3. Gruppe	Ketac Silver®	20
4. Gruppe	IRM®	20
5. Gruppe	Amalcap-Plus®	20
6. Gruppe	ProRoot MTA®	20
7. Gruppe	Harvard®	20

### 3.3.3 Vorbereitung der Proben

Die aufbereiteten Zähne wurden aus der Kochsalzlösung entnommen, und es erfolgte die Trocknung der Wurzelkanäle mittels Papierspitzen. Von orthograd wurde ein Machtou-Plugger eingeführt, um die orthograde Wurzelfüllung zu simulieren und um

gleichzeitig die Voraussetzung zum Stopfen der retrograden Wurzelfüllung zu erzielen. Mit einer Parodontalsonde wurde die Tiefe der retrograden Kavität überprüft. Die retrograden Wurzelfüllmaterialien wurden jeweils nach Herstellerangaben angemischt und angewendet und mittels dentalem Heidemannspatel und Kugelstopfinstrument appliziert. Nach vollständiger Aushärtung der jeweiligen Materialien wurden die retrograden Füllungen mittels FG-Winkelstück und gelb markiertem Diamantbohrer bei 120 000 Umdrehungen pro Minute und unter Wasserkühlung geglättet. Anschließend sind die Oberflächen der Versuchszähne mit einem handelsüblichen farbigen Nagellack versiegelt worden, mit Ausnahme eines 2 Millimeter Bereiches um den Apex herum, um die retrograden Wurzelfüllungen nicht zu verschließen und damit die Farbstoffpenetration zu verhindern.

### 3.3.4 Aufbau und Herstellung der Versuchskammer



**Abb. 7:** schematischer Aufbau der Versuchskammer mit Probenzahn

Die Versuchskammern bestanden aus 13 ml Reagenzröhrchen aus Polysterol mit Rundboden. Es wurde jeweils 10 ml 0,9%ige Kochsalzlösung mittels einer variabel einstellbaren Pipette in die Reagenzröhrchen eingefüllt. Im Anschluss wurden die Versuchszähne unter Verwendung eines individuell hergestellten Silikonrings, welcher in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze befestigt wurde, in die Versuchskammer eingefügt. Dabei befand sich der gesamte Wurzelanteil der Versuchszähne bis zum Silikonring in der Kochsalzlösung. Dann erfolgte mit dünnfließendem Silikon die Abdichtung des koronalen Anteils des Zahnes zur Wand des Reagenzröhrchens, unter Freilassung der Trepanationsöffnung.

Im Anschluss wurden mit einer Präzisionspipette je 20 Mikroliter der 5%igen Methylenblaulösung von orthograd in die Versuchszähne eingebracht. Darauf erfolgte der koronale Verschluss der Zähne mit einem Glasionomerezement. Nach Aushärtung des Zementes wurden die Versuchskammern durch dünnfließendes Silikon verschlossen und somit ein hermetischer Abschluss zur Außenwelt hergestellt. Abschließend erfolgte die Lagerung der Proben für 30 Tage bei konstanter Zimmertemperatur.



**Abb. 8:** Darstellung einer Probe bei Versuchsbeginn



**Abb. 9:** Darstellung einer Probe mit diffundiertem Methylenblau

### 3.3.5 Spektralphotometrische Analyse

Die Lösungen der jeweiligen Proben wurden mit dem Spektralphotometer SPEKOL 11 (VEB Carl Zeiss, Jena, D) quantitativ analysiert.



**Abb. 10:** Spektralphotometer Typ SPEKOL 11

Am Spektralphotometer wurde die Wellenlänge bei 660 nm eingestellt, dies entspricht dem Absorptionsmaximum von Methylenblau. Die Messungen erfolgten in einer Glasküvette mit 1 cm Durchmesser, welche nach jeder Messung gründlich mit destilliertem Wasser gereinigt und dann getrocknet wurde. Ebenso erfolgte vor jeder Messwertbestimmung ein Nullabgleich mittels Referenzküvette, deren Medium aus Aquadest bestand.

Zur Bestimmung der Konzentration des diffundierten Methylenblaus wurde zunächst von der Stammlösung (5%ige Methylenblaulösung) eine definierte Verdünnungsreihe erstellt und die dazugehörigen Extinktionswerte im Spektralphotometer bestimmt.

**Tab. 2:** Darstellung der Verdünnungsreihe der Stammlösung und Stoffmengenkonzentration von Methylenblau

Verdünnung	Stoffmengenkonzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )	Extinktion (bei 660nm)
1 : 40000	3,91	0,046
1 : 20000	7,82	0,086
1 : 10000	15,63	0,173
1 : 7500	23,45	0,239
1 : 5000	31,26	0,315

Das Lambert-Beer'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Absorption von Licht und der Konzentration eines absorbierenden Inhaltsstoffs in Flüssigkeiten.

Es belegt, dass die Verringerung der Lichtmenge von drei Faktoren abhängig ist:

1. Die Menge der absorbierenden Substanz in der Flüssigkeit (Konzentration)
2. Der Weg, den das Licht durch die Flüssigkeit zurücklegen muss (optische Pfadlänge)
3. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon jener speziellen Wellenlänge durch die Substanz absorbiert wird (Extinktionskoeffizient)

$$E = \varepsilon * d * c \quad (\text{HERMANN, 1993}).$$

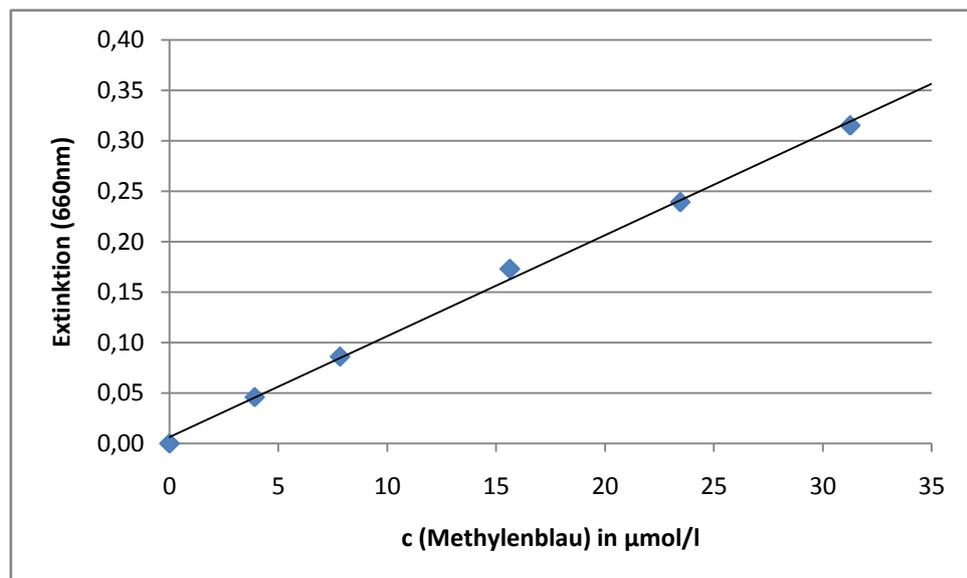
E = Extinktion

$\varepsilon$  = molarer, dekadischer Extinktionskoeffizient

d = durchquerte Schichtdicke (1 cm der Küvette)

c = Konzentration der Lösung in der Messküvette

Aufgrund der Gesetzmäßigkeiten des Lambert-Beer'schen-Gesetzes besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Konzentration und Extinktion. Dies wird anhand einer Eichkurve dargestellt.



**Abb. 11:** Eichkurve - Darstellung des Zusammenhangs von Konzentration und Extinktion bei einer definierten Verdünnungsreihe

Aus dem linearen Bereich des Graphen, also den ermittelten Werten der Verdünnungsreihe, ließ sich der molare Extinktionskoeffizient nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz errechnen (HERMANN, 1993; HERMANN, 1993):

$$\varepsilon = \frac{E}{c * d}$$

$$\varepsilon = 10,81986 \text{ (l/mmol*cm)}.$$

Somit ist für jeden ermittelten Extinktionswert die Konzentration wie folgt bestimmbar:

$$c = \frac{E}{\varepsilon * d}$$

### **3.4 Statistische Sicherung**

Die ermittelte Datenmenge wurde unter Zuhilfenahme des Statistikprogramms SPSS® 14.0 (SPSS Incorporation, Chicago, USA) ausgewertet. Durch einfache Varianzanalyse (ANOVA) in Verbindung mit dem Tukey's Studentized-Range-Test und der Bonferroni-Holm-Korrektur erfolgte die Überprüfung auf statistisch signifikante Unterschiede. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  festgelegt. Für einzelne graphische Darstellungen wurde das Programm Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, USA) benutzt.

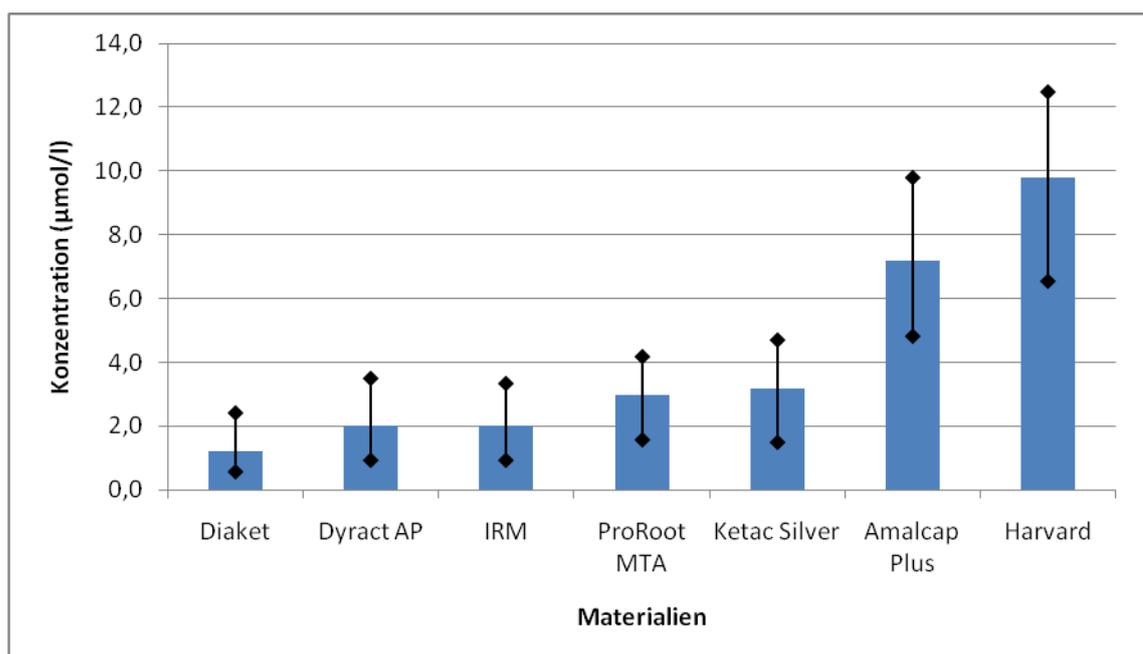
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Darstellung der Messergebnisse

Die mittels Spektralphotometer ermittelten bzw. errechneten Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

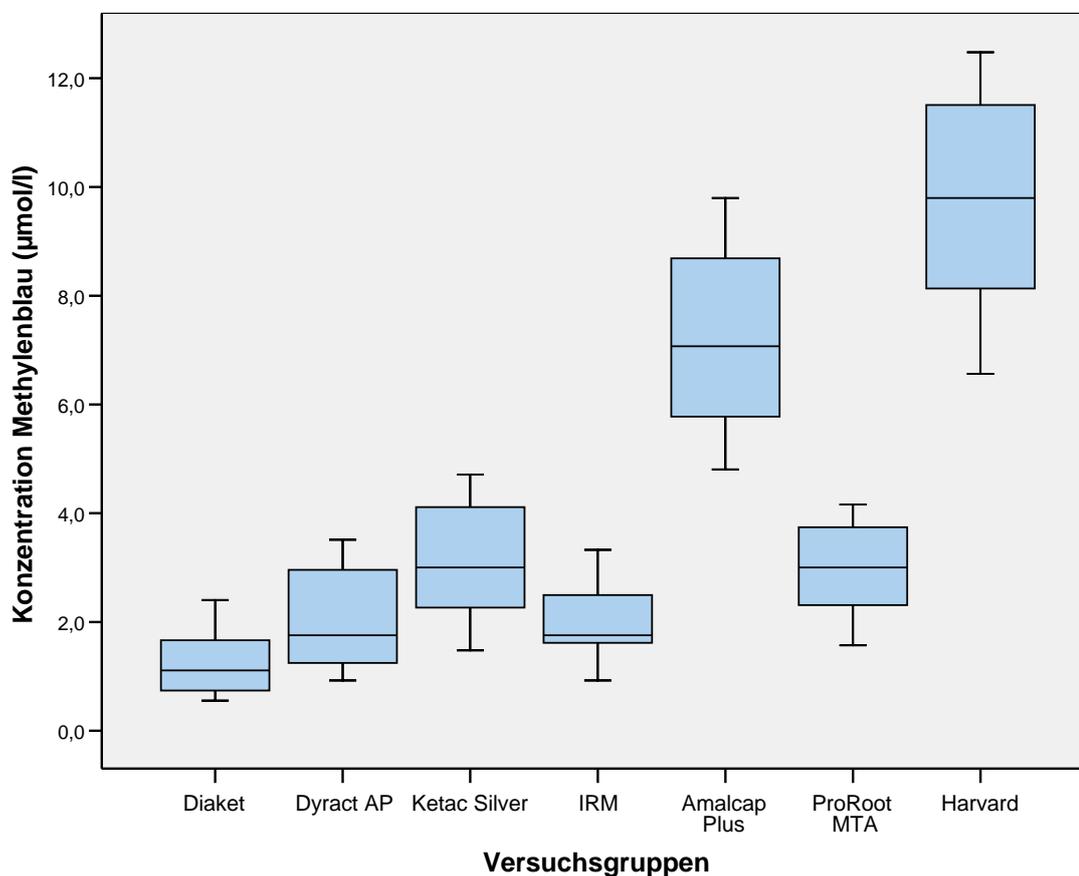
**Tab. 3:** Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen der Konzentration von Methylenblau in den einzelnen Versuchsgruppen

Material	Mittelwert ( $\mu\text{mol/l}$ )	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Diaket™	1,21998	0,57570	1,10907	0,555	2,403
Dyract® AP	2,01481	0,88222	1,75603	0,924	3,512
Ketac™ Silver	3,16083	1,06042	3,00359	1,479	4,714
IRM®	2,02868	0,72183	1,75603	0,924	3,327
Amalcap® Plus	7,17662	1,64220	7,07033	4,806	9,797
ProRoot™ MTA	2,97137	0,81470	3,00359	1,571	4,159
Harvard®	9,80142	1,78623	9,79680	6,562	12,477



**Abb. 12:** Mittelwerte mit Streubereichen der Konzentration von Methylenblau, aufsteigende Sortierung

Die signifikant höchsten Konzentrationswerte erreichte die Harvard Gruppe mit einem Mittelwert von 9,80  $\mu\text{mol/l}$ . Die Diaket Gruppe zeigte im Mittel die niedrigsten Konzentrationswerte von Methyleneblau mit nur 1,22  $\mu\text{mol/l}$  an.



**Abb. 13:** Boxplotdarstellung der Konzentrationswerte von Methyleneblau

In Abbildung 13 werden die ermittelten Messergebnisse in Form einer Boxplotdarstellung veranschaulicht. Die Ausdehnung der Box gibt Auskunft über den Abstand zwischen dem 25%- und dem 75%-Quartil, in dem sich 50% der Meßwerte befinden. Weiterhin werden Maximal-, Minimal- und Medianwerte der Konzentrationen dargestellt. Während der Median als mittlerer Repräsentant einer Stichprobe ausgewählt wird, zeigt der Mittelwert den allgemeinen Durchschnitt einer Stichprobe an.

Es wurde eine Zusammenstellung der Ergebnisse der einzelnen Versuchsgruppen vorgenommen, welche auf den folgenden Seiten dargestellt wird.

## Gruppe 1: DIAKET™

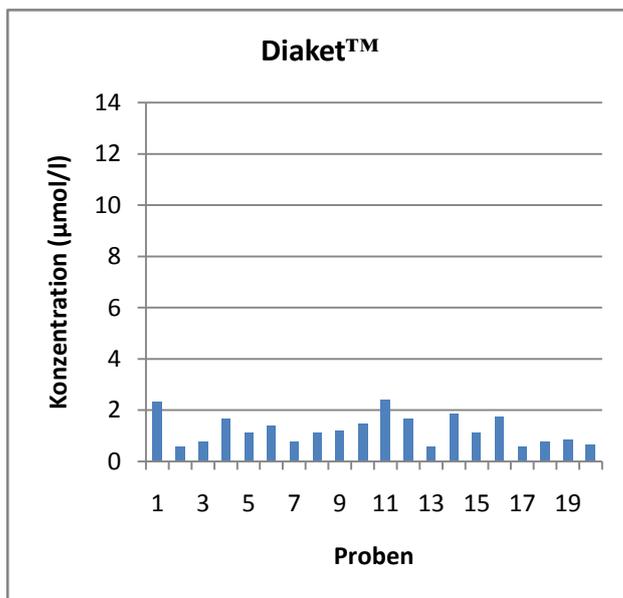
In dieser Gruppe fanden sich bezüglich der Konzentration die geringsten Werte mit einem Mittelwert von 1,220  $\mu\text{mol/l}$  und einer Standardabweichung von 0,576.

**Tab. 4:** statistische Werte Diaket™

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	1,220
Standardabweichung	0,576
Median	1,109
Minimum	0,555
Maximum	2,403

**Tab. 5:** Messwerte Diaket™

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,025	2,311
2	0,006	0,555
3	0,008	0,739
4	0,018	1,664
5	0,012	1,109
6	0,015	1,386
7	0,008	0,739
8	0,012	1,109
9	0,013	1,201
10	0,016	1,479
11	0,025	2,403
12	0,018	1,664
13	0,006	0,555
14	0,020	1,848
15	0,012	1,109
16	0,019	1,756
17	0,006	0,555
18	0,008	0,739
19	0,009	0,832
20	0,007	0,647



**Abb. 14:** graphische Darstellung der Messwerte von Diaket

## Gruppe 2: Dyract®AP

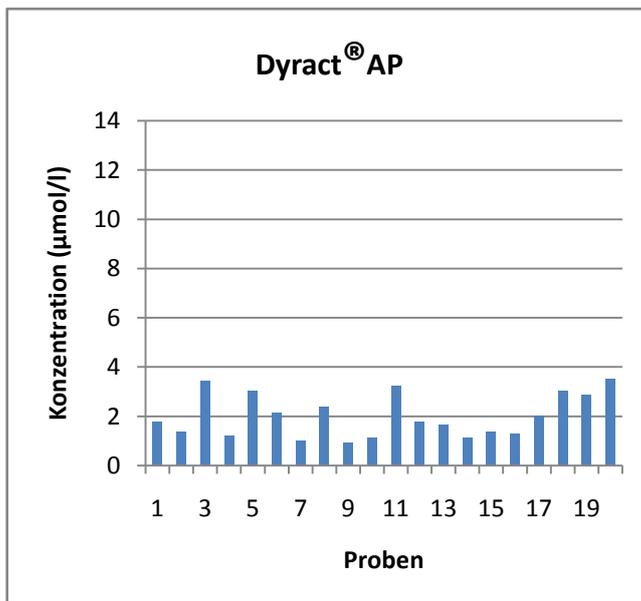
Diese Gruppe erreichte die zweitniedrigsten Konzentrationswerte im Mittel mit 2,015  $\mu\text{mol/l}$  und einer Standardabweichung von 0,882.

**Tab. 6:** statistische Werte Dyract®AP

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	2,015
Standardabweichung	0,882
Median	1,756
Minimum	0,924
Maximum	3,512

**Tab.7:** Messwerte Dyract®AP

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,019	1,756
2	0,015	1,386
3	0,037	3,420
4	0,013	1,201
5	0,033	3,050
6	0,023	2,126
7	0,011	1,017
8	0,020	2,403
9	0,010	0,924
10	0,012	1,109
11	0,035	3,235
12	0,019	1,756
13	0,018	1,664
14	0,012	1,109
15	0,015	1,386
16	0,014	1,294
17	0,022	2,033
18	0,033	3,050
19	0,031	2,865
20	0,038	3,512



**Abb. 15:** graphische Darstellung der Messwerte von Dyract®AP

### Gruppe 3: Ketac™ Silver

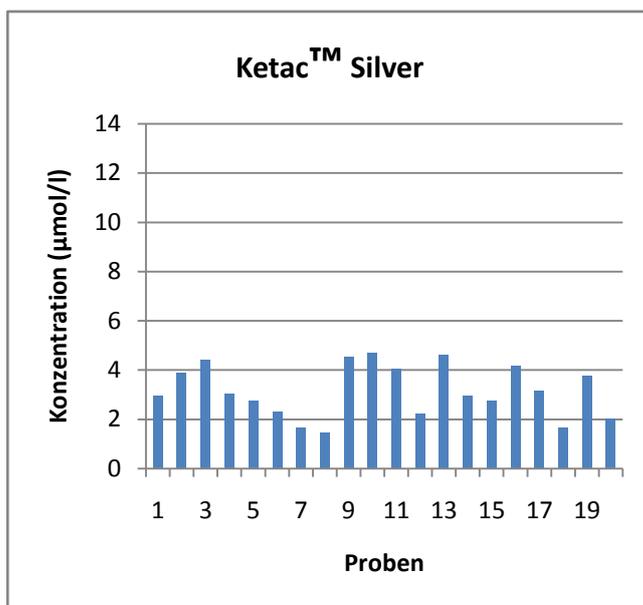
Bezüglich der Konzentration erreichte diese Gruppe einen Mittelwert von 3,161  $\mu\text{mol/l}$  mit einer Standardabweichung von 1,060.

**Tab. 8:** statistische Werte  
Ketac™ Silver

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	3,161
Standardabweichung	1,060
Median	3,004
Minimum	1,479
Maximum	4,714

**Tab. 9:** Messwerte  
Ketac™ Silver

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,032	2,957
2	0,042	3,882
3	0,048	4,436
4	0,033	3,050
5	0,030	2,773
6	0,025	2,311
7	0,018	1,664
8	0,016	1,479
9	0,049	4,529
10	0,051	4,714
11	0,044	4,067
12	0,024	2,218
13	0,050	4,621
14	0,032	2,957
15	0,03	2,773
16	0,045	4,159
17	0,034	3,142
18	0,018	1,664
19	0,041	3,789
20	0,022	2,033



**Abb. 16:** graphische Darstellung der Messwerte von Ketac™ Silver

## Gruppe 4: IRM®

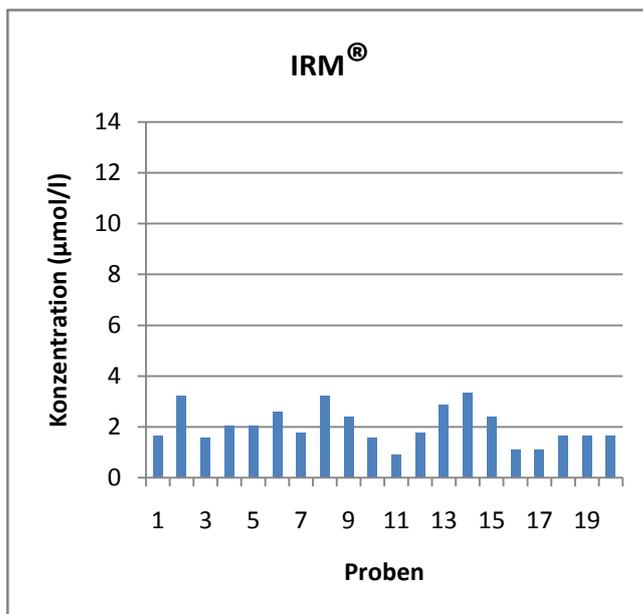
In dieser Versuchsgruppe liegen die Konzentrationswerte im Mittel von 2,029  $\mu\text{mol/l}$  mit einer Standardabweichung von 0,722.

**Tab. 10:** statistische Werte IRM®

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	2,029
Standardabweichung	0,722
Median	1,756
Minimum	0,924
Maximum	3,327

**Tab. 11:** Messwerte IRM®

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,018	1,664
2	0,035	3,235
3	0,017	1,571
4	0,022	2,033
5	0,022	2,033
6	0,028	2,588
7	0,019	1,756
8	0,035	3,235
9	0,025	2,403
10	0,017	1,571
11	0,010	0,924
12	0,019	1,756
13	0,031	2,865
14	0,036	3,327
15	0,020	2,403
16	0,012	1,109
17	0,012	1,109
18	0,018	1,664
19	0,018	1,664
20	0,018	1,664



**Abb. 17:** graphische Darstellung der Messwerte von IRM®

## Gruppe 5: Amalcap® Plus

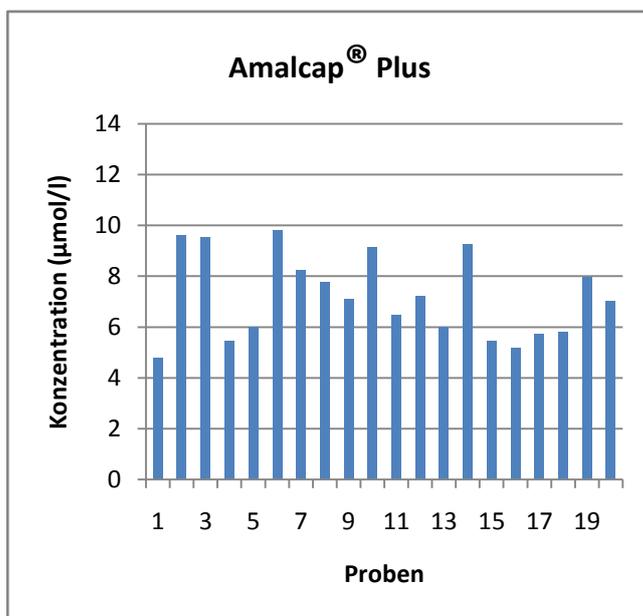
Diese Gruppe weist die zweithöchsten Konzentrationswerte mit einem Mittelwert von 7,177  $\mu\text{mol/l}$  und einer Standardabweichung von 1,642 auf.

**Tab. 12:** statistische Werte  
Amalcap® Plus

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	7,177
Standardabweichung	1,642
Median	7,070
Minimum	4,806
Maximum	9,797

**Tab. 13:** Messwerte  
Amalcap® Plus

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,052	4,806
2	0,104	9,612
3	0,103	9,520
4	0,059	5,453
5	0,065	6,007
6	0,106	9,797
7	0,089	8,226
8	0,084	7,764
9	0,077	7,117
10	0,099	9,150
11	0,070	6,470
12	0,078	7,209
13	0,065	6,007
14	0,100	9,242
15	0,059	5,453
16	0,056	5,176
17	0,062	5,730
18	0,063	5,823
19	0,086	7,948
20	0,076	7,024



**Abb. 18:** graphische Darstellung der Messwerte von Amalcap® Plus

## Gruppe 6: ProRoot™ MTA

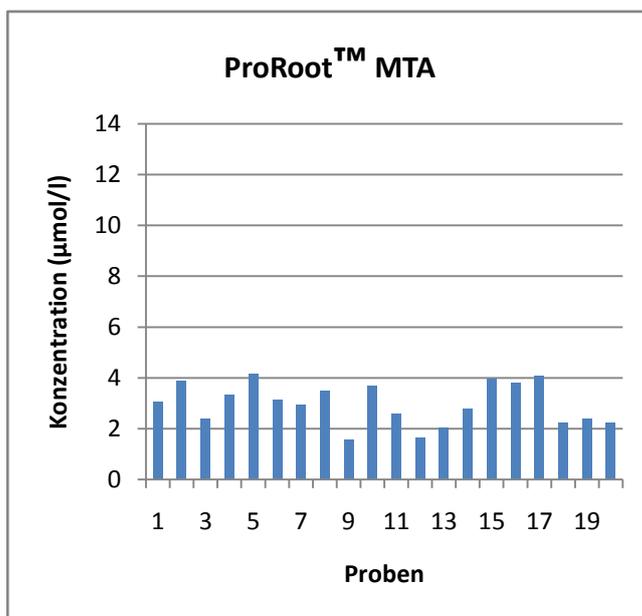
Diese Versuchsgruppe zeigt bezüglich der Konzentration einen Mittelwert von 2,971  $\mu\text{mol/l}$  mit einer Standardabweichung von 0,815 auf.

**Tab. 14:** statistische Werte  
ProRoot™ MTA

Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	2,971
Standardabweichung	0,815
Median	3,004
Minimum	1,571
Maximum	4,159

**Tab. 15:** Messwerte  
ProRoot™ MTA

Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,033	3,050
2	0,042	3,882
3	0,026	2,403
4	0,036	3,327
5	0,045	4,159
6	0,034	3,142
7	0,032	2,957
8	0,038	3,512
9	0,017	1,571
10	0,040	3,697
11	0,028	2,588
12	0,018	1,664
13	0,022	2,033
14	0,030	2,773
15	0,043	3,974
16	0,041	3,789
17	0,044	4,067
18	0,024	2,218
19	0,025	2,403
20	0,024	2,218



**Abb. 19:** graphische Darstellung der Messwerte von ProRoot™ MTA

## Gruppe 7: Harvard®

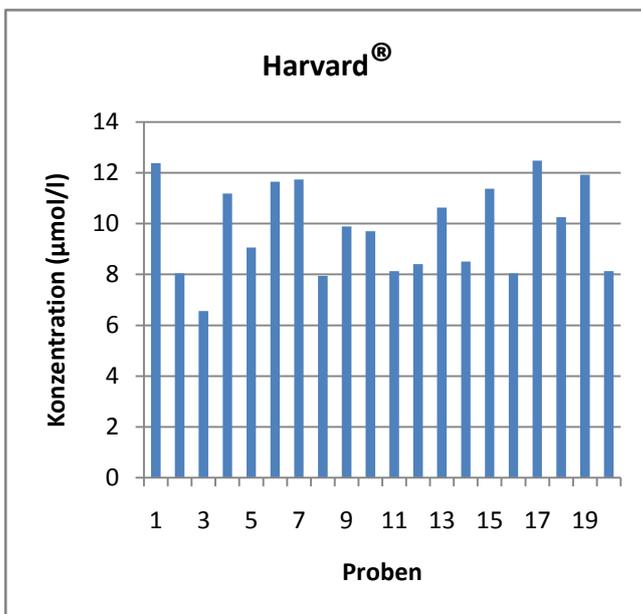
In dieser Gruppe fanden sich bezüglich der Konzentration die höchsten Werte im Mittel mit 9,801  $\mu\text{mol/l}$  und einer Standardabweichung von 1,786.

**Tab. 16:** statistische Werte Harvard®

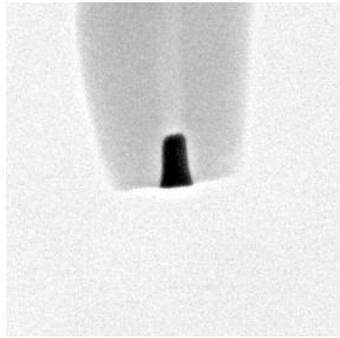
Deskriptive Daten	( $\mu\text{mol/l}$ )
Mittelwert	9,801
Standardabweichung	1,786
Median	9,797
Minimum	6,562
Maximum	12,477

**Tab. 17:** Messwerte Harvard

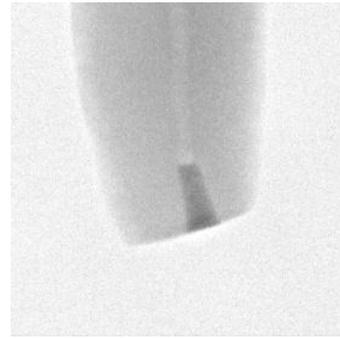
Probe	Extinktion	Konzentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
1	0,134	12,385
2	0,087	8,041
3	0,071	6,562
4	0,121	11,183
5	0,098	9,057
6	0,126	11,645
7	0,127	11,738
8	0,086	7,948
9	0,107	9,889
10	0,105	9,704
11	0,088	8,133
12	0,091	8,410
13	0,115	10,629
14	0,092	8,503
15	0,123	11,368
16	0,087	8,041
17	0,135	12,477
18	0,111	10,259
19	0,129	11,923
20	0,088	8,133



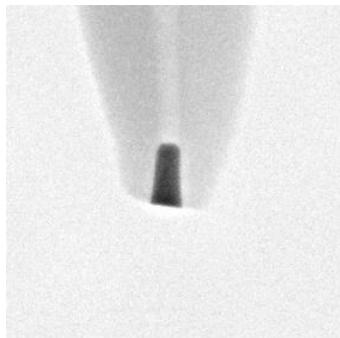
**Abb. 20:** graphische Darstellung der Messwerte von Harvard®



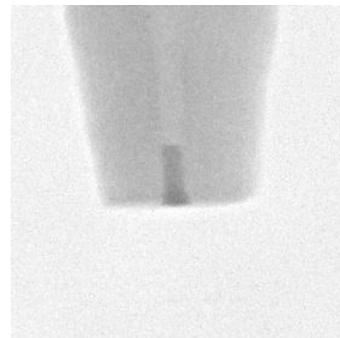
**Abb. 21:** retrograde Füllung mit Amalcap® Plus



**Abb. 22:** retrograde Füllung mit ProRoot™ MTA



**Abb. 23:** retrograde Füllung mit Ketac™ Silver



**Abb. 24:** retrograde Füllung mit Diaket™

**Abb. 21-24:** Farbinvertierte Röntgenbilder zur Kontrolle der retrograden Wurzelfüllung mit unterschiedlich ausgeprägter Opazität

## 4.2 Statistische Auswertung

Die Varianzanalyse der Einfachklassifikation zeigte einen signifikanten Unterschied der Penetrationswerte der verschiedenen retrograden Wurzelfüllmaterialien untereinander ( $p \leq 0,001$ ; ANOVA).

Die höchsten Konzentrationswerte wurden bei den Zähnen beobachtet, die mit Harvard® retrograd gefüllt wurden. Die Werte waren im Vergleich zu allen anderen Versuchsgruppen signifikant erhöht ( $p \leq 0,05$ ; Tukey's Studentized Range Test).

In der Versuchsgruppe, in der Amalgam verwendet wurde, konnten ebenfalls hohe Penetrationswerte gemessen werden. Diese waren im Vergleich zur Harvard®-Gruppe signifikant geringer, jedoch signifikant erhöht gegenüber allen anderen Gruppen ( $p \leq 0,05$ ; Tukey's Studentized Range Test).

Die niedrigsten Penetrationswerte wurden in der Gruppe Diaket™ gemessen. Diese waren signifikant geringer im Vergleich zu den Versuchsgruppen ProRoot™ MTA, Ketac™ Silver, Amalcap® Plus und Harvard® ( $p \leq 0,05$ ; Tukey's Studentized Range Test). Lediglich zwischen den Gruppen Diaket™, IRM® und Dyract®AP konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p \leq 0,05$ ; Tukey's Studentized Range Test).

Das retrograde Wurzelfüllmaterial ProRoot™MTA wies signifikant niedrigere Konzentrationswerte auf als Amalcap® Plus und Harvard®. Innerhalb der Gruppen ProRoot™ MTA, Dyract®AP und IRM® konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p \leq 0,05$ ; Tukey's Studentized Range Test).

Die ermittelten Ergebnisse wurden mit Hilfe der Bonferroni Holm Korrektur überprüft und bestätigt.

## **5            Diskussion**

In der vorliegenden Studie wurden sieben verschiedene retrograde Wurzelfüllmaterialien einem passiven Penetrationstest mit Methylenblau ausgesetzt. Ziel dieser Untersuchung war es, eine Aussage über die Dichtheit der verschiedenen Materialien zu treffen.

### **5.1            Versuchsaufbau**

Für diese vorliegende Studie wurden ausschließlich einwurzelige kariesfreie menschliche Oberkieferzähne verwendet. Obwohl verschiedene Auswahlkriterien wie Zahntyp, apikaler Durchmesser des Wurzelkanals und Kariesausmaß keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Dichtheitsuntersuchungen nehmen (PAWLICKA et al., 1996), wurden im Hinblick auf die Standardisierung nur Zähne ausgewählt, die eine Ähnlichkeit hinsichtlich Kanalkonfiguration, Aufbereitungslänge und Zahntyp aufwiesen. Somit sind vergleichbare Ergebnisse der Untersuchung erzielbar.

Die weitere experimentelle Versuchsmethodik war so weit wie möglich den aktuellen klinischen Empfehlungen zur Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung und WSR angepasst.

Alle Versuchszähne wurden mittels der Step-Back-Technik aufbereitet. In der Literatur sind in Bezug auf Handaufbereitung und verschiedene maschinelle Methoden unterschiedliche Angaben zu finden (ALLISON et al., 1979; CAMPOS und DELRIO, 1990; GAMBILL et al., 1996; KLEIER und AVERBACH, 2006; LUSSI, 2000; TORABINEJAD, 1994). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bezüglich Zeitaufwand und Reinigungswirkung die neuen maschinellen Methoden der Handaufbereitung nicht überlegen sind (LUSSI, 2000).

In der vorliegenden Studie wurden 3 mm der Wurzelspitze entfernt (HELL und BIER, 2000; SAILER und PAJAROLA, 1996; V.ARX et al., 1998). Die Resektionen erfolgten

senkrecht zur Zahnachse, welches im Gegensatz zu abgeschrägten Resektionen einen dichteren Abschluss der Kavität erlaubt (GILHEANY et al., 1994) und darüber hinaus das unnötige Freilegen von Dentinkanälchen verhindert. Dies ist aus Gründen der Übersichtlichkeit intra operationem nicht immer zu ermöglichen, weshalb in älterer Literatur oft ein schräges Absetzen der Wurzelspitze nach vestibulär beschrieben wird (BÄHR, 2003).

Die retrograde Kavitätenpräparation erfolgte unter Anwendung eines Ultraschallgerätes (SUPRASSON P-MAX) und einer diamantierten, 90° abgewinkelten Ultraschallspitze. Diese Technik ermöglicht eine knochensubstanzschonendere Präparation der Zugangskavität als bei der Mikrokopftechnik (FONG, 1993). Die Anwendung eines Ultraschallgerätes wurde auch aufgrund der besseren klinischen Erfolgsraten ausgewählt und entspricht den gegenwärtig gültigen Empfehlungen (DE LANGE et al., 2007; VON ARX und WALKER, III, 2000). Während der Aufbereitung folgen Ultraschallansätze eher dem Kanalverlauf und zeigen im Gegensatz zu Metallbohrern in einem Mikrokopf eine homogener präparierte Kavitätenoberfläche (WUCHENICH et al., 1994; KHABBAZ et al., 2004; JOHNSON, 1999). Im Hinblick auf Rissbildungen im Dentin nach retrograder Aufbereitung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Ultraschall- oder der rotierenden Aufbereitungstechnik festgestellt werden (GRAY et al., 2000). Ebenfalls wurde kein Unterschied im Zusammenhang von Dentinabsplitterungen und Rissbildungen nach retrograder Präparation mit der Anwendung von undiamantierten oder diamantierten Ultraschallansätzen gefunden (PETERS et al., 2001). Jedoch ist der Substanzabtrag des Dentins bei diamantierten Ultraschallansätzen höher und somit zeitsparender. Die Aufbereitung mittels Ultraschall wird dem der Verwendung des Mikrokopfes in den meisten Studien vorgezogen, weswegen wir diese Aufbereitungstechnik ausgewählt haben (MATLOFF et al., 1982a), die im übrigen die oben bewertete senkrechte Absetzung der Wurzelspitze erst im klinischen Alltag realistisch ermöglicht. In der vorliegenden Untersuchung ist dabei der Forderung nach einer Kavitätentiefe von 3 mm (KVIST et al., 1989) nachgekommen worden.

Nach dem Aushärten der retrograden Wurzelfüllungen wurde eine apikale Finierung vorgenommen. Die Verwendung eines Finierinstrumentes nach Füllungslegung bewirkt eine bessere marginale Adaptation der Wurzelfüllung (GONDIM E JR et al., 2005).

Die gewählten retrograden Füllungsmaterialien wurden streng nach Herstellerangaben verarbeitet, um alle physikalischen Eigenschaften maximal auszunutzen.

Die für das Kompomer geforderte Trockenlegung und das Auftragen des Haftvermittlers konnte in dieser vorliegenden Untersuchung gewährleistet werden. Es ist fraglich, ob sich diese komplexe Anwendung unter In-vivo-Verhältnissen überhaupt realisieren lässt. Insofern waren ideale Versuchsbedingungen gegeben.

## **5.2            Untersuchungsmethode**

Die Dichtheit einer retrograden Wurzelfüllung ist eine ausschlaggebende Eigenschaft, die in zahlreichen Studien untersucht wird. Diese kann durch rasterelektronenmikroskopische Spaltanalysen oder durch die Messung der Penetration von radioaktiven Isotopen (MATLOFF et al., 1982b), Bakterien (DE DEUS et al., 2006), Glukose (XU et al., 2005) oder Farbstoffen (WU und WESSELINK, 1993) erfolgen. Methoden wie das Fluid-Transfiltrations-System, der Penetrationstest mit radioaktiv markierten Molekülen und der Test mit Hilfe von elektrochemischen Verfahren setzen einen komplizierten und hohen apparativen Aufwand voraus. Dabei ist der Nachweis der Dichtheit mit Hilfe der Penetration radioaktiver Isotope sogar ungenauer als die Penetration mit Farbstofflösungen (MATLOFF et al., 1982b).

Die Untersuchungsmethode auf der Grundlage einer Bakterienpenetration liefert ebenso eine ungenaue Aussage über die Dichtheit von retrograden Wurzelfüllmaterialien (DE DEUS et al., 2006). Die Bakterien sind selbst größer als die Moleküle ihrer Endotoxine. Diese können jedoch ebenfalls einen Reiz auf das periapikale Gewebe ausüben und eine Entzündung hervorrufen.

Deswegen sollten für solche Untersuchungen Penetrationsmittel verwendet werden, die eine möglichst kleine Molekülgröße aufweisen. Dafür eignen sich besonders gut Farbstoffe.

Der am häufigsten verwendete Farbstoff ist Methylenblau (SPANGBERG et al., 1989), gefolgt von Eosin und Tinte. Wobei Methylenblau allgemein unempfindlicher gegenüber chemischen Veränderungen ist.

Der Farbstoffpenetrationstest kann sowohl aktiv als auch passiv erfolgen. Bei aktiven Penetrationstests werden die Farbstoffmoleküle durch den Spalt zwischen Kanalwand und Füllung mittels Zentrifugation (KARAGOZKUCUKAY et al., 1993), Vakuumanplikation (DICKSON und PETERS, 1993) oder durch Luftdruck (SPANGBERG et al., 1989) entlang geleitet. Aufgrund des technisch geringeren Aufwandes bei hoher Aussagekraft und der besseren Vergleichsmöglichkeit hat sich der passive Penetrationstest mittels Methylenblau durchgesetzt.

Methylenblau lag in einer 5%igen wässrigen Lösung vor. Das Absorptionsmaximum befindet sich bei einer Wellenlänge von 660 nm. Da das Penetrationsvermögen von Methylenblau vergleichbar mit dem von Butansäure, einem metabolischen Endprodukt von Bakterien, ist (KERSTEN und MOORER, 1989) und sich in vielen Studien bewährt hat, ist dieser Farbstoff ausgewählt worden.

Es existieren verschiedene Verfahren zur Quantifizierung des penetrierten Farbstoffes. Eine verbreitete Methode ist die Anfertigung von Quer- oder Längsschnitten, wobei die Tiefe der Farbstoffpenetration auflichtmikroskopisch ausgemessen wird. Schwachpunkt bei dieser Methodik ist die nicht dreidimensional auswertbare Penetration, da immer nur eine Ebene bewertbar ist. So kann es sein, dass die exakte maximale Penetrationstiefe nicht ermittelbar ist. Des Weiteren gehen bei der Anfertigung von Querschnitten durch die Anwendung eines Sägeblattes Material und somit Daten verloren, was zu Ungenauigkeiten führt (WU und WESSELINK, 1993).

Auch bei der Anfertigung von Längsschnitten besteht der Nachteil, dass die Farbstoffpenetrationstiefe nur an der Bruchfläche beurteilt werden kann (LIMKANGWAL-MONGKOL et al., 1992). Aufgrund dessen erschien diese Methode für die vorliegende Fragestellung ebenfalls als ungeeignet.

Eine weitere Möglichkeit, den Farbstoff zu quantifizieren, ist die spektralphotometrische Methode (DOUGLAS und ZAKARIASEN, 1981). Hierbei werden die Zähne nach Farbstofflagerung mittels Säure aufgelöst und das diffundierte Methylenblau extrahiert. Darauf wird unter Zuhilfenahme eines Spektralphotometers, dessen Lichtstrahl die Wellenlänge des Absorptionsmaximums vom Farbstoff aufweist, ein Absorptionsspektrogramm ermittelt, wodurch die genaue Konzentration des penetrierten Farbstoffes quantifiziert werden kann (GONDIM E JR et al., 2002). Dieses Vorgehen liefert

präzise Daten, weshalb in der vorliegenden Untersuchung die spektralphotometrische Methode angewendet wurde. Es bedurfte jedoch keiner Auflösung der Zähne durch Säure, da die Penetration des Farbstoffes vom Zahninneren entlang des Spaltes, zwischen Dentin und retrograder Wurzelfüllung, direkt in die Kochsalzlösung erfolgte. Hierbei wird eine koronale Undichtigkeit des Zahnes und auch deren Ausmaß mit gleichzeitigem Eindringen von Bakterien und ihren Toxinen aus dem Wurzelkanal simuliert.

### **5.3 Ergebnisse**

In allen Versuchsgruppen konnte eine Penetration von Methyleneblau nachgewiesen werden, jedoch mit signifikanten Unterschieden der ermittelten Konzentrationen zwischen den einzelnen Gruppen.

Die mit Hilfe des Spektralphotometers gemessenen Extinktionen und damit errechneten Konzentrationen von Methyleneblau dieser Untersuchung lassen sich nur eingeschränkt mit den Befunden anderer Autoren vergleichen. Die Studien differieren im Bezug auf Ihren Aufbau zum Teil erheblich, sodass ein direkter Vergleich der Werte nicht möglich ist. In der Literatur existieren bislang zudem keine Untersuchungen, die eine koronal-apikale Penetration von Methyleneblau beschreiben.

Auch hinsichtlich der Übertragbarkeit von In-vitro ermittelten Ergebnissen auf In-vivo-Bedingungen müssen Einschränkungen gemacht werden. Die Untersuchung fand hinsichtlich der technischen Durchführung der Wurzelspitzenresektion, Präparieren der retrograden Kavität und Legen der retrograden Füllung unter optimalen Bedingungen statt. Im klinischen Alltag lassen sich diese optimalen Voraussetzungen nur schwer realisieren. Hier können erschwerte Sicht, insuffiziente Trocknung der retrograden Kavität durch zum Beispiel Blutungen in die Zugangskavität und eine limitierte Kavitätentiefe während der retrograden Aufbereitung durch orthograd bestehende Stiftversorgungen, den Ablauf und Erfolg einer Wurzelspitzenresektion negativ beeinflussen. Jedoch lassen die Ergebnisse eine Interpretation im Hinblick auf Materialeigenschaften unter gleichen Bedingungen zu.

Als alleiniger Vertreter der polymerverstärkten Zinkoxid-Zemente lieferte Diaket™ die niedrigsten Penetrationswerte in der vorliegenden Untersuchung mit einem Mittelwert von 1,220 µmol/l. Im Vergleich zu IRM® und Dyract®AP konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Diese drei Materialien bilden zusammen die Spitzengruppe in dieser Studie. Die Menge an penetriertem Methylenblau in der Diaket Gruppe war signifikant geringer als bei den Gruppen ProRoot™ MTA, Ketac Silver, Amalcap Plus und Harvard®. Dies steht im Einklang mit der Untersuchung von Lloyd, der Penetrationswerte mittels India Ink evaluierte (LLOYD et al., 1997). Hier zeigte Diaket™ ebenfalls signifikant geringere Penetrationswerte im Vergleich zu Amalcap®Plus. Diaket™, welches vornehmlich als Wurzelkanalsealer angewendet wurde, hatte sich für die Anwendung als retrogrades Wurzelfüllmaterial etabliert (WILLIAMS und GUTMANN, 1996; WITHERSPOON und GUTMANN, 2000). Dichtheitsuntersuchungen im Zusammenhang mit anderen retrograden Füllmaterialien bescheinigten Diaket™ ein besseres oder gleichwertiges Abdichtungsvermögen (GERHARDS und WAGNER, 1996; KADOHIRO, 1984; LLOYD et al., 1997; WALIA et al., 1995).

Im klinischen Alltag konnte die langsame Aushärtung des Diakets™ jedoch von Nachteil sein, wenn das Material nicht ausreichend gut und in einer notwendigen festen Konsistenz angemischt wurde. Dann war das Abdichtungsvermögen herabgesetzt und es kam zur Ausschwämmung der zytotoxischen Flüssigkeitsbestandteile in das umgebende Gewebe mit dementsprechender Entzündungsreaktion (KETTERING und TORABINEJAD, 1984; OLSSON und WENNBERG, 1985). Das Material ließ sich gut verarbeiten bzw. anmischen, benötigte aber für die festere Konsistenz einen erhöhten Anmischdruck. Hier kam es darauf an, dass die Dosis von Pulver und Flüssigkeit genau eingehalten wurde. Volumenbeständigkeit und Abdichtungsvermögen von Diaket™ sind hervorragend und decken sich mit den Aussagen der genannten Studien. Leider wurde das Produkt aufgrund von nicht lieferbaren Rohstoffbestandteilen, und einer daraus resultierenden Änderung der Rezeptur, vom Hersteller vom Markt genommen.

Die Versuchsgruppe in der Dyract®AP unter vorherigem Auftragen des Haftvermittlers Prime&Bond® NT verwendet wurde, erreichte die zweitniedrigsten Penetrationswerte mit einem Mittelwert von 2,015 µmol/l. Unter Anwendung eines Fluid-Transfiltrations-Systems fand die Gruppe um Greer keine signifikanten Unterschiede zwischen dem

polymerverstärkten Zinkoxid-Eugenol-Zement IRM® und dem Kompomer Dyract®AP, was sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt (GREER et al., 2001). Die geringen Penetrationswerte von Methylenblau könnten auf die Eigenhaftung des Kompomers an der Zahnhartsubstanz zurückzuführen sein. Diese beruhen im Wesentlichen auf einem bifunktionellen TCB-Monomer, das sowohl Methacrylatgruppen als auch Carboxylgruppen enthält und so mit anderen Monomeren polymerisieren und ionische Bindungen zu Calciumionen in der Zahnhartsubstanz ausbilden kann (KAKABOURA et al., 1996). Auch die Anwendung des vom Hersteller empfohlenen Haftvermittlers Prime&Bond® NT begünstigt den Haftverbund zwischen Kompomer und Dentin (SIDHU und MCCABE, 2004). Hierbei soll eine zusätzliche Konditionierung der Kavität mit Phosphorsäure keinen Einfluss auf die Haftwerte zeigen (AL NAHEDH und ATEYAH, 2006). In einer In-vitro-Untersuchung wurde das Kompomer Dyract®AP, unter Anwendung des Adhäsives Prime&Bond® NT mit dem Glasionomerezement Ketac™ Silver verglichen. Es konnte beobachtet werden, dass Dyract®AP ein Jahr nach Legen der retrograden Füllung eine signifikant höhere Erfolgsrate aufwies (PLATT und WANNFORS, 2004). Hinsichtlich Ihrer Penetrationswerte konnte in der vorliegenden Studie kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Materialien aufgezeigt werden. Kompomere sind durch Glasionomerezement modifizierte Kunststoffe und sollen die Eigenschaften beider miteinander vereinen. In der vorliegenden Studie gelingt dem Material dies und weist bessere Ergebnisse auf, als der silberverstärkte Glasionomerezement Ketac™ Silver. Wünschenswert wäre jedoch ein Kompomer, welches sowohl lichthärtende als auch chemisch härtende Eigenschaften vereinen würde. Das würde verhindern, dass beim retrograden Füllen Areale ungehärtet bleiben und somit zytotoxische Bestandteile ins Gewebe gelangen. Weiterhin ist die Konditionierung der Kavität mittels Haftvermittlersystem nicht anwenderfreundlich. Außerdem besteht ebenfalls die Gefahr, dass Bestandteile des Adhäsivs in das umgebende Gewebe gelangen oder umgekehrt Feuchtigkeit die Haftvermittlung beeinträchtigt. Zwar bescheinigen mehrere In-vitro-Untersuchungen, dass das Abdichtungsvermögen von Kunststoffen gute Werte aufweist und besser abschneidet als Amalgam, Zinkoxid-Eugenol- und Glasionomerezemente (DANIN et al., 1992; MCDONALD und DUMSHA, 1987; MCDONALD und DUMSHA, 1990; THIRAWAT und EDMUNDS, 1989), jedoch ist es fraglich, ob sich die aufwendige Verarbeitung für den klinischen Alltag eignet.

Ähnliche Penetrationswerte wie in der Dyract®AP Gruppe konnten in der IRM® Gruppe ermittelt werden. Hier liegt der Mittelwert bei 2,03 µmol/l. In einer Studie von *Fogel* und *Peikoff* unter Anwendung der Fluid-Transfiltrations-Methode zeigten retrograde IRM®-Füllungen im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede der Penetrationswerte im Vergleich zu ProRoot™ MTA und Amalgam (FOGEL und PEIKOFF, 2001). Die ungleichen Ergebnisse sind wahrscheinlich auf den unterschiedlichen Versuchsaufbau der Studien zurückzuführen. Der polymerverstärkte Zinkoxid-Eugenol-Zement erscheint im Hinblick auf die Zusammensetzung vorerst wenig biokompatibel. Dafür spricht zum einen das Eugenol, welches zytotoxische sowie genotoxische Eigenschaften aufweist, zum anderen der Anteil an Polymethylmethacrylat im Pulver. Jedoch zeigte IRM® im Hinblick auf klinische Heilungsraten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum bioverträglichen ProRoot™ MTA (CHONG et al., 2003). In weiteren klinischen Studien wies IRM® ebenfalls ähnliche Erfolgsraten und histopathologische Effekte auf wie das Mineraltrioxidaggregat (BERNABE et al., 2005; LINDEBOOM et al., 2005). Dies lässt den Schluss zu, dass dieser polymerverstärkte Zinkoxid-Eugenol-Zement im abgebundenen Zustand einen relativ stabilen Zustand einnimmt, welcher zumindest bioverträglich erscheint. *Dorn* zeigte im Hinblick auf klinische Heilungsraten im Vergleich zwischen IRM® und Amalgam signifikante Unterschiede auf (DORN und GARTNER, 1990). Zinkoxid-Eugenol-Zemente sind Amalgam, Kompositen und Glasionomernzementen klinisch und experimentell überlegen (TROPE et al., 1996).

In bislang veröffentlichten Dichtheitsuntersuchungen schnitt MTA zumeist besser, jedoch nie schlechter als vergleichbare Materialien ab (AQRABAWI, 2000; ADAMO et al., 1999; TORABINEJAD et al., 1993; POST et al., 2010). Eine jüngste Untersuchung zum Abdichtungsvermögen wies eine Überlegenheit von ProRoot™ MTA gegenüber Super-EBA-Zement nach (SCHULTZ et al., 2005).

Die Farbstoffpenetration der ProRoot™ MTA Gruppe war im Mittel signifikant geringer als in der Amalcap® Plus und Harvard® Gruppe. Auch diverse Studien, die den Farbstoffpenetrationstest mit Methylenblau (AQRABAWI, 2000; TORABINEJAD et al., 1994), sowie den Bakterienpenetrationstest (TORABINEJAD et al., 1995c), als auch die Fluid-Transfiltrations-Methode (BATES et al., 1996) anwendeten, wiesen signifikant bessere

Werte für ProRoot™ MTA im Vergleich zu den Materialien Amalgam und zu den polymerverstärkten Zinkoxid-Eugenol-Zementen nach. Eine Studie, die einen Penetrationstest mit dem fluoreszierenden Farbstoff Rhodamine B verwendete, zeigte ebenfalls signifikant höhere Penetrationswerte für Amalgam im Gegensatz zu ProRoot™ MTA (TORABINEJAD et al., 1993). In der vorliegenden Untersuchung lieferte ProRoot™ MTA jedoch schlechtere Werte als die Materialien IRM®, Dyract® AP und Diaket™. Dies ist womöglich auf die lange Abbindezeit von MTA zurückzuführen, was von einigen Autoren als Nachteil angesehen wird, da es ausgewaschen werden und umliegendes Gewebe irritieren kann (ABDULLAH et al., 2002). Die Versuchszähne wurden zwar erst nach der angegebenen Abbindezeit von 2 Stunden und 45 Minuten in die Versuchskammer eingefügt (TORABINEJAD et al., 1995b), jedoch ist nicht auszuschließen, dass ProRoot™ MTA zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig abgebunden war. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, ein Füllmaterial zu verwenden, das eine entsprechend kurze Aushärtungszeit aufweist. Die Abbindezeit von MTA kann durch das Beimischen von Kalziumchlorid verkürzt werden, was bei einem experimentellen, schnell abbindenden MTA, dem so genannten Fast-Set-MTA, zu einer durchschnittlichen Abbindezeit von nur 17 Minuten führte (DEAL et al., 2002). Eine verkürzte Abbindezeit könnte jedoch eine größere Materialschrumpfung mit sich bringen, was das Abdichtungsvermögen negativ beeinflusst. In einer histologischen Untersuchung zeigte MTA sowohl weniger periapikale Entzündungsanzeichen, als auch Gewebereaktionen (BERNABE et al., 2007; FAYAZI et al., 2011; BAEK et al., 2010). Zwei klinisch prospektiv randomisierte Studien wiesen bei Anwendung von ProRoot™ MTA hohe Erfolgsraten nach, jedoch zeigten diese auch, dass die klinische Wirksamkeit nicht signifikant unterschiedlich im Vergleich zu IRM® ist (HAYASHI et al., 2004; LINDEBOOM et al., 2005).

Der silberverstärkte Glasionomerezement Ketac™ Silver zeigte in der vorliegenden Studie, mit einem Mittelwert von 3,16 µmol/l, signifikant bessere Werte als die Amalcap® Plus Gruppe, in der der Mittelwert bei 7,18 µmol/l lag. Dabei wurde die Annahme, dass sich das Expansionsverhalten von Amalgam positiv auf die Dichtigkeit der Füllung auswirkt, nicht bestätigt. Die Studien von *Al-Ajam* und *Barkhordar*, welche mittels Farbstoffpenetration von Methylenblau arbeiteten, zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen Amalgam und Ketac™ Silver (AL AJAM und MCGREGOR, 1993; BARK-

HORDAR et al., 1989). Hierbei muss erwähnt werden, dass die Zeitdauer der Farbstoffpenetration der eben genannten Studien mit 24 Stunden erheblich von der Zeitdauer der vorliegenden Untersuchung abweicht und der klinischen Umgebung nicht auch nur annähernd entspricht. Amalgam präsentierte in einer Fluid-Transfiltration-Untersuchung sogar signifikant bessere Resultate als Ketac™ Silver (KING et al., 1990). Dabei wurden in dieser Untersuchung nur 2 mm der Wurzelspitze entfernt und es erfolgte eine retrograde Aufbereitung Unterzuhilfenahme eines Hartmetallbohrers im Mikroskop. Das erklärt möglicherweise die unterschiedlichen Ergebnisse.

Im Vergleich zum ProRoot™ MTA ergeben sich in der vorliegenden Studie keine signifikanten Unterschiede. Dies spiegelt die gute Materialeigenschaft des metallverstärkten Glasionomerezements wieder, dem eine gute Haftung am Dentin bescheinigt wird (KAWAHARA et al., 1979). Zudem sind das Abdichtungsvermögen und die Biokompatibilität im Vergleich zu Amalgam besser und den Zinkoxid-Eugenol-Zementen sowie den Mineraltrioxidaggregaten gleichrangig (CHONG et al., 1995; CHONG et al., 2003; INOUE et al., 1991; THIRAWAT und EDMUNDS, 1989; WU et al., 1998). Dies entspricht den vorliegenden Ergebnissen dieser Studie. Somit ist das am meisten verbreitete retrograde Wurzelfüllmaterial durchaus weiterhin für den klinischen Gebrauch geeignet und eine gute Alternative zum ProRoot™ MTA oder IRM®.

Klinische Langzeitstudien zeigen, dass röntgenologisch keine Unterschiede bezüglich der Heilungsraten zwischen Amalgam, Glasionomerezementen und IRM bestehen (SCHWARTZ-ARAD et al., 2003; JESSLEN et al., 1995). Röntgenologische Auswertungen haben jedoch nur eine begrenzte Aussagefähigkeit und sagen nichts über den histologischen Zustand des apikalen Gewebes aus. In Dichtheitsuntersuchungen schnitt Amalgam gleichwertig oder schlechter im Vergleich mit Zinkoxid-Eugenol-Zementen, Glasionomerezementen und Kompomeren, jedoch im Vergleich zu MTA immer schlechter ab (AQRABAWI, 2000; SCHWARTZ und ALEXANDER, 1988; BONDRA et al., 1989; INOUE et al., 1991; AL AJAM und MCGREGOR, 1993; TORABINEJAD et al., 1993; TORABINEJAD et al., 1994; ADAMO et al., 1999). In der vorliegenden Studie imponiert Amalgam ebenso wie Harvard® mit den hohen Penetrationswerten. Beide Materialien waren signifikant schlechter als alle anderen untersuchten Gruppen. Somit ist Amalgam

neben der fraglichen Biokompatibilität und den vorliegenden schlechten Dichtheitswerten als retrogrades Füllmaterial ungeeignet.

Das schlechteste Ergebnis lieferte die Zinkphosphatzement-Gruppe mit einem Mittelwert von 9,80  $\mu\text{mol/l}$ , welche zu allen anderen Gruppen signifikant höher war. Es existieren keine klinischen Untersuchungen, die den Einsatz als retrogrades Wurzelfüllungsmaterial beschreiben. Lediglich eine Studie untersucht das Abdichtungsvermögen von Harvard® als retrogrades Füllmaterial. Dabei wurden nach einem Farbstoffpenetrationstest von Methylblau für 72 Stunden Querschnitte angefertigt und anschließend auflichtmikroskopisch beurteilt. Dabei zeigte Harvard-Zement ähnliche Dichtheitswerte wie Stopfgold, jedoch schnitten beide Materialien signifikant schlechter ab als Amalgam, Diaket™ und Ketac™Endo (GERHARDS und WAGNER, 1996). Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Studie für Harvard® bestätigt werden.

Die Wasserlöslichkeit von Phosphatzementen ist ein weiterer Grund, von der klinischen Anwendung unter dieser Indikation abzusehen.

Abschließend muss erwähnt werden, dass die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Studien durchaus als kritisch zu betrachten ist. Das für die eigene Untersuchung gewählte Langzeitprotokoll kommt aber durchaus der klinischen Anwendung nahe, und die gewählte Methode der Penetrationsmessung liefert genaue und reproduzierbare Werte.

## 6 Schlussfolgerungen

Viele In-vitro-Untersuchungen, die sich mit der Dichtheit von retrograden Füllungsmaterialien auseinandersetzen, zeigen unabhängig von der angewandten Testmethode unterschiedliche Ergebnisse für die verschiedenen Materialien und lassen den Schluss zu, dass kein Füllungsmaterial einen dichten retrograden Verschluss gewährleisten kann. Jedoch weisen klinische Studien oft ähnliche Erfolgsraten hinsichtlich der Heilung auf, unabhängig vom Material. Dies lässt den Schluss zu, dass weder die Biokompatibilität noch die Dichtheit der Füllung offensichtlich eine ausschließliche Rolle für den Heilungserfolg spielen.

Generell ließ sich in der vorliegenden Arbeit mit keinem der untersuchten retrograden Wurzelfüllmaterialien ein vollständig farbstoffdichter Randschluss in den retrograden Kavitäten erzielen.

Neben den genannten Faktoren und verschiedenen mechanischen Aspekten der (prothetischen) Versorgung dieser Zähne dürften allgemeinmedizinische Aspekte und die biologische Variabilität des Individuums eine wesentliche Rolle in diesem multifaktoriellen Prozess der Heilung spielen. Trotzdem sollten durch die Wahl der Behandlungsmethode oder des Materials günstig zu beeinflussende Teilaspekte entsprechend berücksichtigt werden. Unter diesen Vorzeichen ist entsprechend den Ergebnissen dieser Studie für retrograde Füllungen besonders die Rücknahme vom Markt des langjährig bewährten Diakets™ zu bedauern.

## 7 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, die Dichtheit von retrograden Wurzelfüllungen mittels passiven Farbstoffpenetrationstestes zu überprüfen.

Zu diesem Zweck wurden 140 menschliche, einwurzelige, einkanalige Oberkieferzähne randomisiert in 7 Versuchsgruppen zu je 20 Zähnen aufgeteilt. Nach orthograde Trepanation wurden alle Zähne unter Anwendung der Step-Back-Technik konisch bis zur ISO Größe 50 aufbereitet. Anschließend erfolgte die Resektion aller Wurzelspitzen um 3 mm. Darauf wurden unter Zuhilfenahme eines Ultraschallgerätes mit einem diamantierten Ultraschallansatz retrograde Kavitäten präpariert, die dann retrograd gefüllt, geglättet und versiegelt wurden. Nachfolgend gelangten die Zähne hängend in die jeweilige Versuchskammer, bestehend aus Polysterol-Reagenzröhrchen, gefüllt mit 10 ml 0,9%iger Kochsalzlösung und unter Ausschluss von Luft. Im Anschluss erfolgte von orthograd die Applikation von je 20 Mikroliter 5%iger Methylenblaulösung in den jeweiligen Versuchszahn. Nach Verschluss der Zähne und Herstellung eines hermetischen Abschlusses aller Versuchskammern erfolgte die Lagerung der Proben für 30 Tage bei konstanter Zimmertemperatur. Anschließend wurde für jede Probe mittels Spektralphotometer der Extinktionswert von Methylenblau ermittelt und somit die Konzentration des penetrierten Farbstoffes errechnet. Der Wert wird als Maß für die Dichtheit der retrograden Wurzelfüllung angesehen. Es erfolgte die statistische Analyse der gewonnenen Daten mit Hilfe des Programmes SPSS 14.0.

In allen Versuchsreihen wurde eine Farbstoffpenetration nachgewiesen. Der Tukey's Studentized Range Test ergab für die retrograden Wurzelfüllungen der Diaket™ Gruppe die geringsten Penetrationswerte und damit eine signifikant höhere Dichtheit gegenüber den retrograden Wurzelfüllungen der Gruppen ProRoot™ MTA, Ketac™ Silver, Amalcap® Plus und Harvard®. Zwischen den Gruppen Diaket™, IRM® und Dyract® AP konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die mit Abstand schlechtesten Ergebnisse lieferte die Harvard® Gruppe, gefolgt von der Amalcap® Plus Reihe, welche untereinander und im Vergleich zu allen anderen Gruppen signifikant unterschiedlich waren.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass verschiedene Materialien wie Diaket™, Dyract® AP, IRM®, ProRoot™ MTA und Ketac™ Silver als retrograde Wurzelfüllungen geeignet sind. Allerdings stellt sich die Anwendung von Amalcap® Plus und Harvard® für den Verschluss von retrograden Kavitäten als nicht zweckdienlich dar. Es muss erwähnt werden, dass Diaket™ mittlerweile durch den Hersteller vom Markt genommen wurde und somit nicht mehr zu Verfügung steht.

Die Dichtheit wird neben weiteren Faktoren als eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg einer Wurzelspitzenresektion angesehen, jedoch hat sie anscheinend im klinischen Alltag nur einen bescheidenen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse.

Es bleibt insgesamt zweifelhaft, ob die generell guten Erfolgsraten der seit 125 Jahren bekannten Wurzelspitzenresektion, wie sie unter Beachtung allgemeinzahnärztlicher (Wurzelfüllung) und chirurgischer Indikation (OP-Technik, Asepsis) erreicht werden, überhaupt noch verbessert werden können. Die Wundheilung ist zudem ein multikausales Geschehen, welches durch Einzelkriterien kaum oder nur bedingt beeinflussbar ist.

## 8 Literaturverzeichnis

- Abdullah D, Ford TRP, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F (2002) An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials* 23:4001-10.
- Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ (1999) A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J* 32:197-203.
- al Ajam AD, McGregor AJ (1993) Comparison of the sealing capabilities of Ketac-silver and extra high copper alloy amalgam when used as retrograde root canal filling. *J Endod* 19:353-6.
- Al Nahedh H, Ateyah NZ (2006) Effect of different bonding conditions on the shear bond strength of two compomers to bovine dentin. *J Contemp Dent Pract* 7:9-16.
- Allison DA, Weber CR, Walton RE (1979) The influence of the method of canal preparation on the quality of apical and coronal obturation. *J Endod* 5:298-304.
- Apaydin ES, Shabahang S, Torabinejad M (2004) Hard-tissue healing after application of fresh or set MTA as root-end-filling material. *J Endod* 30:21-4.
- Aqrabawi J (2000) Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. *Br Dent J* 188:266-8.
- Baek SH, Lee.W.C., Setzer FC, Kim S (2010) Periapical bone regeneration after endodontic microsurgery with three different root-end filling materials: amalgam, SuperEBA, and mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics* 36:1323-5.
- Bähr W: Wurzelspitzenresektion. In: Gutwald R, Gellrich N-C, Schmelzeisen R (ed): Einführung in die zahnärztliche Chirurgie. Urban & Fischer, München, 2003, S. 307.
- Barkhordar RA, Pelzner RB, Stark MM (1989) Use of glass ionomers as retrofilling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 67:734-9.
- Bates CF, Carnes DL, delRio CE (1996) Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *Journal of Endodontics* 22:575-8.
- Baumann MA, Gartner AH (1996) Die retrograde Wurzelkanalfüllung. *Quintessenz* 47:1463-75.
- Bernabe PF, Gomes-Filho JE, Rocha WC, Nery MJ, Otoboni-Filho JA, Dezan-Junior E (2007) Histological evaluation of MTA as a root-end filling material. *Int Endod J* 40:758-65.

- Bernabe PF, Holland R, Morandi R, de S, V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Dezan JE, Gomes-Filho JE (2005) Comparative study of MTA and other materials in retrofilling of pulpless dogs' teeth. *Braz Dent J* 16:149-55.
- Bidar M, Moradi S, Jafarzadeh H, Bidad S (2007) Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. *Aust Endod J* 33:2-6.
- Bodrumlu E (2008) Biocompatibility of retrograde root filling materials: a review. *Aust Endod J* 34:30-5.
- Bohsali K, Pertot WJ, Hosseini B, Camps J (1998) Sealing ability of super EBA and Dyract as root-end fillings: a study in vitro. *Int Endod J* 31:338-42.
- Bondra DL, Hartwell GR, Macpherson MG, Portell FR (1989) Leakage Invitro with Irm, High Copper Amalgam, and Eba Cement As Retrofilling Materials. *Journal of Endodontics* 15:157-60.
- Bruce GR, Mcdonald NJ, Sydiskis RJ (1993) Cytotoxicity of Retrofill Materials. *Journal of Endodontics* 19:288-92.
- Campos JM, Delrio C (1990) Comparison of Mechanical and Standard Hand Instrumentation Techniques in Curved Root Canals. *Journal of Endodontics* 16:230-4.
- Chong BS, Ford TRP, Watson TF, Wilson RF (1995) Sealing ability of potential retrograde root filling materials. *Endodontics & Dental Traumatology* 11:264-9.
- Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB (2003) A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J* 36:520-6.
- Cortizo MC, De Mele MF, Cortizo AM (2004) Metallic dental material biocompatibility in osteoblastlike cells: correlation with metal ion release. *Biol Trace Elem Res* 100:151-68.
- Danin J, Linder L, Sund ML, Stromberg T, Torstenson B, Zetterqvist L (1992) Quantitative Radioactive Analysis of Microleakage of 4 Different Retrograde Fillings. *International Endodontic Journal* 25:183-8.
- Das S (1981) Effect of Certain Dental Materials on Human Pulp in Tissue-Culture. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 52:76-84.
- De Deus G, Murad CF, Reis CM, Gurgel-Filho E, Coutinho FT (2006) Analysis of the sealing ability of different obturation techniques in oval-shaped canals: a study using a bacterial leakage model. *Braz Oral Res* 20:64-9.
- de Lange J, Putters T, Baas EM, van Ingen JM (2007) Ultrasonic root-end preparation in apical surgery: a prospective randomized study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:841-5.

- Deal BF, Wenckus BR, Johnson BR, Fayad MI (2002) Chemical and physical properties of MTA, Portland Cement, and a new experimental Material, Fast-Set MTA. *J Endod* 28:252.
- Dickson SS, Peters DD (1993) Leakage Evaluation with and Without Vacuum of 2 Gutta-Percha Fill Techniques. *J Endod* 19:398-403.
- Dorn SO, Gartner AH (1990) Retrograde filling materials: a retrospective success-failure study of amalgam, EBA, and IRM. *J Endod* 16:391-3.
- Douglas WH, Zakariasen KL (1981) Volumetric Assessment of Apical Leakage Utilizing A Spectrophotometric, Dye-Recovery Method. *Journal of Dental Research* 60:438.
- Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tziafas D (2003) Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J* 36:44-8.
- Eley BM (1979) The fate of amalgam implanted in soft tissues -- an experimental study. *J Dent Res* 58:1146-52.
- Eley BM (1982) Tissue reactions to implanted dental amalgam, including assessment by energy dispersive x-ray micro-analysis. *J Pathol* 138:251-72.
- Ernst CP, Willershausen B (2003) Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite. *Zahnärztl Mitt* 93:790-800.
- Farrar J (1884) Radical and heroic treatment of alveolar abscess. *Dent Cosmos* 26:135.
- Fayazi S, Ostad SN, Razmi H (2011) Effect of ProRoot MTA, Portland cement, and amalgam on the expression of fibronectin, collagen I, and TGF by human periodontal ligament fibroblasts in vitro. *Indian J Dent Res* 22:190-4.
- Fogel HM, Peikoff MD (2001) Microleakage of root-end filling materials. *J Endod* 27:456-8.
- Fong CD (1993) A Sonic Instrument for Retrograde Preparation. *J Endod* 19:374-5.
- Frecot S, Lambrecht JT (2002) Wurzelspitzenresektion unter dem Operationsmikroskop. *Dtsch Zahnärztl Z* 57:688-91.
- Friedman CM, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW (1975) Composition and Mechanical-Properties of Gutta-Percha Endodontic Points. *Journal of Dental Research* 54:921-5.
- Gambill JM, Alder M, delRio CE (1996) Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *Journal of Endodontics* 22:369-75.
- Gartner AH, Dorn SO (1992) Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am* 36:357-78.

- Gerhards F, Wagner W (1996) Sealing ability of five different retrograde filling materials. *J Endod* 22:463-6.
- Gilheany PA, Figdor D, Tyas MJ (1994) Apical Dentin Permeability and Microleakage Associated with Root End Resection and Retrograde Filling. *Journal of Endodontics* 20:22-6.
- Gondim E Jr, Gomes BP, Ferraz CC, Teixeira FB, Souza-Filho FJ (2002) Effect of sonic and ultrasonic retrograde cavity preparation on the integrity of root apices of freshly extracted human teeth: scanning electron microscopy analysis. *J Endod* 28:646-50.
- Gondim E Jr, Kim S, Souza-Filho FJ (2005) An investigation of microleakage from root-end fillings in ultrasonic retrograde cavities with or without finishing: a quantitative analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 99:755-60.
- Gray GJ, Hatton JF, Holtzmann DJ, Jenkins DB, Nielsen CJ (2000) Quality of root-end preparations using ultrasonic and rotary instrumentation in cadavers. *J Endod* 26:281-3.
- Greer BD, West LA, Liewehr FR, Pashley DH (2001) Sealing ability of Dyract, Geristore, IRM, and super-EBA as root-end filling materials. *J Endod* 27:441-3.
- Grossmann LI: *Endodontic Practice*. Lea&Febiger, Philadelphia, 1978,
- Gurney BF, Best EJ, Gervasio G (1971) Physical Measurements on Gutta-Percha. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 32:260-&.
- Hanks CT, Wataha JC, Parsell RR, Strawn SE (1992) Delineation of cytotoxic concentrations of two dentin bonding agents in vitro. *J Endod* 18:589-96.
- Hauenstein K (1937) Betrachtungen zur Frage der Wurzelbehandlungen und Füllungen bei Resektionen. *Dtsch Zahnärztl Wschr* 40:95.
- Hayashi M, Shimizu A, Ebisu S (2004) MTA for obturation of mandibular central incisors with open apices: case report. *J Endod* 30:120-2.
- Hell B, Bier J: *Chirurgische Zahnerhaltung* 4. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M. (ed) Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2000, S. 79.
- Hellwig E, Klimek J, Attin Th: *Einführung in die Zahnerhaltung*. 3. Aufl. Aufl. Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2003, S. 187-193.
- Hermann P: *Allgemeine und Anorganische Chemie*. 5. Aufl. Gustav Fischer Verlag Jena, 1993, S. 171-172.
- Hickel R (1988) Erste klinische Ergebnisse von retrograden Wurzelfüllungen mit Cermet-Zement. *Dtsch Zahnärztl Z* 43:963.

- Hong ST, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Lee W (2008) Microleakage of accelerated mineral trioxide aggregate and Portland cement in an in vitro apexification model. *Journal of Endodontics* 34:56-8.
- Hülsmann M: Guttapercha - Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung.v. d. Akademie Praxis und Wissenschaft, Hanser, München, 1993, S. 115.
- Ingle JI, Bakland LK: Endodontics. 4th Aufl. Williams & Wilkins, Baltimore, 1994,
- Inoue S, Yoshimura M, Tinkle JS, Marshall FJ (1991) A 24-week study of the microleakage of four retrofilling materials using a fluid filtration method. *J Endod* 17:369-75.
- Ishikawa H, Sawada N, Kobayashi C, Suda H (2003) Evaluation of root-end cavity preparation using ultrasonic retrotips. *Int Endod J* 36:586-90.
- Jensen SS, Nattestad A, Egdo P, Sewerin I, Munksgaard EC, Schou S (2002) A prospective, randomized, comparative clinical study of resin composite and glass ionomer cement for retrograde root filling. *Clin Oral Investig* 6:236-43.
- Jesslen P, Zetterqvist L, Heimdahl A (1995) Long-term results of amalgam versus glass ionomer cement as apical sealant after apicectomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79:101-3.
- Johnson BR (1999) Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 87:398-404.
- Kadohiro C (1984) A comparative study of the sealing quality of zinc-free amalgam and diaket when used as a retrograde filling material. *Hawaii Dent J* 15:8.
- Kakaboura A, Eliades G, Palaghias G (1996) Evaluation of the extent of the acid-base reaction in Dyract(TM) restorative material. *Journal of Dental Research* 75:1218.
- Karagozkucukay I, Kucukay S, Bayirli G (1993) Factors Affecting Apical Leakage Assessment. *Journal of Endodontics* 19:362-5.
- Kawahara H, Imanishi Y, Oshima H (1979) Biological evaluation on glass ionomer cement. *J Dent Res* 58:1080-6.
- Kersten HW, Moorer WR (1989) Particles and Molecules in Endodontic Leakage. *International Endodontic Journal* 22:118-24.
- Kettering JD, Torabinejad M (1984) Cytotoxicity of root canal sealers: a study using HeLa cells and fibroblasts. *Int Endod J* 17:60.
- Khabbaz MG, Kerezoudis NP, Aroni E, Tsatsas V (2004) Evaluation of different methods for the root-end cavity preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 98:237-42.

- Kimura JT (1982) A comparative analysis of zinc and non-zinc alloys used in retrograde endodontic surgery. Part 1: Apical seal and tissue reaction. *J Endod* 8:359-63.
- King KT, Anderson RW, Pashley DH, Pantera EA, Jr. (1990) Longitudinal evaluation of the seal of endodontic retrofillings. *J Endod* 16:307-10.
- Kirschner H, Pohl Y: Wurzelspitzenresektionen. In: Kirschner H (ed): *Atlas der Chirurgischen Zahnerhaltung*. 2. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, 1996, S. 153-82.
- Kleier DJ, Averbach R (2006) Comparison of clinical outcomes using a nickel titanium rotary or stainless steel hand file instrumentation technique. *Compend Contin Educ Dent* 27:87-91.
- Körber K, Ludwig K: *Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie*. 2. Aufl. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, S. 194-195.
- Kunkel M, Allroggen S, Appel C, Bargholz C, Biffar R, Boehme P, Engel P, Esser W, Federwitz J, Frank M, Georgi M, Heurich T, Kopp I, Kreusser B, Reichert TE, Sanner F, Singer R, Staehle HJ, Terheyden H, Wagner W, Wahl G, Weingart D, Werkmeister R, Hülsmann M (2007) Leitlinie Wurzelspitzenresektion. *Mund Kiefer GesichtsChir* 11:251-7.
- Kvist T, Rydin E, Reit C (1989) The Relative Frequency of Periapical Lesions in Teeth with Root Canal-Retained Posts. *Journal of Endodontics* 15:578-80.
- Lambrecht JT, Filippi A: Zahn erhaltende Operationen. In: A.Dunsche, R.Ewers, A.Filipi, B.Hoffmeister, Th.Kreusch, K.Wangerin (ed): *Zahnärztliche Operationen*. Quintessenz Verlag, 2008, S. 83-119.
- Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M (1993) Sealing Ability of A Mineral Trioxide Aggregate for Repair of Lateral Root Perforations. *Journal of Endodontics* 19:541-4.
- Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB (1992) Apical Dye Penetration with 4 Root-Canal Sealers and Gutta-Percha Using Longitudinal Sectioning. *Journal of Endodontics* 18:535-9.
- Lindeboom JA, Frenken JW, Kroon FH, van den Akker HP (2005) A comparative prospective randomized clinical study of MTA and IRM as root-end filling materials in single-rooted teeth in endodontic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 100:495-500.
- Lloyd A, Gutmann J, Dummer P, Newcombe R (1997) Microleakage of Diaket and amalgam in root-end cavities prepared using MicroMega sonic retro-prep tips. *Int Endod J* 30:196-204.
- Lussi A (2000) Die Reinigung und Obturation des Wurzelkanalsystems ohne konventionelle Instrumente. *Schweizerische Monatsschrift Für Zahnmedizin* 110:249.
- Ma H, Liu M, Zhang FM, Wang J (2008) [Cytotoxicity of several materials of full crowns on human gingival fibroblast cells in vitro]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 17:510-4.

- Maeda H, Hashiguchi I, Nakamuta H, Toriya Y, Wada N, Akamine A (1999) Histological study of periapical tissue healing in the rat molar after retrofilling with various materials. *J Endod* 25:38-42.
- Maher WP, Johnson RL, Hess J, Steiman HR (1992) Biocompatibility of retrograde filling materials in the ferret canine. Amalgam and IRM. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 73:738-45.
- Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A (1982b) A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53:203-8.
- Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A (1982a) A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53:203-8.
- Mcdonald NJ, Dumsha TC (1987) A Comparative Apical Leakage Study with Dentin Bonding Materials. *Journal of Dental Research* 66:350.
- Mcdonald NJ, Dumsha TC (1990) An Evaluation of the Retrograde Apical Seal Using Dentin Bonding Materials. *International Endodontic Journal* 23:156-62.
- Michalczyk V, Rings J, Bürrig KF, Fritzemeier CU, Lentrodt J (1993) Randschlußverhalten von Glasionomerkementen bei der Wurzelspitzenresektion mit retrograder Abfüllung. *Dtsch Z Mund Kiefer GesichtstChir* 17:50.
- Miles DA, Anderson RW, Pashley DH (1994) Evaluation of the Bond Strengths of Dentin Bonding Agents Used to Seal Resected Root Apices. *Journal of Endodontics* 20:538-41.
- Minana M, Carnes DL, Walker WA (2001) PH changes at the surface of root dentin after intracanal dressing with calcium oxide and calcium hydroxide. *Journal of Endodontics* 27:43-5.
- Moorer WR, Genet JM (1982) Evidence for Antibacterial Activity of Endodontic Gutta-Percha Cones. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 53:503-7.
- Munaco FS, Miller WA, Everett MM (1978) A study of long-term toxicity of endodontic materials with use of an in vitro model. *J Endod* 4:151-7.
- Murray PE, Hafez AA, Windsor LJ, Smith AJ, Cox CF (2002) Comparison of pulp responses following restoration of exposed and non-exposed cavities. *J Dent* 30:213-22.
- Naito T (2004) Studies suggest alternatives to amalgam as a retrograde filling material for apicectomy. *Evid Based Dent* 5:12.
- Nencka D, Walia H, Austin BP (1995) Histological evaluation of the biocompatibility of Diaket. *Journal of Dental Research* 74:101.

- Olsson B, Wennberg A (1985) Early tissue reaction to endodontic filling materials. *Endod Dent Traumatol* 1:138.
- Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM (1987) Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 3:178-86.
- Orstavik D, Mjor IA (1988) Histopathology and x-ray microanalysis of the subcutaneous tissue response to endodontic sealers. *J Endod* 14:13-23.
- Oswald RJ, Friedman CE (1980) Periapical Response to Dentin Filings - A Pilot-Study. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 49:344-55.
- Otani K, Sugaya T, Tomita M, Hasegawa Y, Miyaji H, Tenkumo T, Tanaka S, Motoki Y, Takanawa Y, Kawanami M (2011) Healing of experimental apical periodontitis after apicoectomy using different sealing materials on the resected root end. *Dent Mater J* 30:485-92.
- Ozbas H, Yaltirik M, Bilgic B, Issever H (2003) Reactions of connective tissue to comonomers, composite and amalgam root-end filling materials. *Int Endod J* 36:281-7.
- Partsch C (1898) Über die Wurzelspitzenresektion. *Dtsch Mschr Zahnheilk* 16:80-4.
- Pascon EA, Spangberg LSW (1990) In vitro Cytotoxicity of Root-Canal Filling Materials .1. Gutta-Percha. *Journal of Endodontics* 16:429-33.
- Pashley DH (1992) Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc* 88 Suppl 1:215-24.
- Pawlicka H, Ebert J, Petschelt A (1996) Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit AH 26 im zentrifugationsbeschleunigten Penetrationstest Teil I: Einfluß von Zahnauswahlkriterien. *Endodontie* 305-12.
- Pelka M, Hickel R, Spitzer WJ (1993) Retrospektive klinische Studie zur Eignung von Cermet-Zement als retrogrades Wurzelkanalfüllmaterial. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:436.
- Peltola M, Salo T, Oikarinen K (1992) Toxic effects of various retrograde root filling materials on gingival fibroblasts and rat sarcoma cells. *Endod Dent Traumatol* 8:120-4.
- Peters CI, Peters OA, Barbakow F (2001) An in vitro study comparing root-end cavities prepared by diamond-coated and stainless steel ultrasonic retreaters. *Int Endod J* 34:142-8.
- Pissiotis E, Sapounas G, Spangberg LSW (1991) Silver Glass Ionomer Cement As A Retrograde Filling Material - A Study In vitro. *Journal of Endodontics* 17:225-9.

- Pissiotis E, Spangberg L (2000) Reaction of bony tissue to implanted silver glass ionomer and a reinforced zinc oxide-eugenol cement. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 89:623-9.
- Platt AS, Wannfors K (2004) The effectiveness of compomer as a root-end filling: a clinical investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97:508-12.
- Post LK, Lima FG, Xavier CB, Demarco FF, Gerhardt-Oliveira M (2010) Sealing ability of MTA and amalgam in different root-end preparations and resection bevel angles: an in vitro evaluation using marginal dye leakage. *Braz Dent J* 21:416-9.
- Rakich DR, Wataha JC, Lefebvre CA, Weller RN (1998) Effects of dentin bonding agents on macrophage mitochondrial activity. *J Endod* 24:528-33.
- Rakich DR, Wataha JC, Lefebvre CA, Weller RN (1999) Effect of dentin bonding agents on the secretion of inflammatory mediators from macrophages. *J Endod* 25:114-7.
- Regan JD, Gutmann JL, Witherspoon DE (2002) Comparison of Diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of the periradicular tissues. *Int Endod J* 35:840-7.
- Rheinwald U, Mayer D (1962) Das Problem der retrograden Wurzelfüllung und ein Lösungsvorschlag. *Dtsch Zahnärztl Z* 17:308.
- Rost A (1962) Retrograde Wurzelfüllung mit 24karätigem Gold. *Dtsch Zahnärztebl Z* 16:575.
- Rost A (1965) Die retrograde Wurzelfüllung mit Stopfgold. *Dtsch Zahnärztl Z* 20:285.
- Rud J, Munksgaard EC, Andreasen JO, Rud V, Asmussen E (1991) Retrograde root filling with composite and a dentin-bonding agent. 1. *Endod Dent Traumatol* 7:118-25.
- Rud J, Rud V, Munksgaard EC (2001) Periapical healing of mandibular molars after root-end sealing with dentine-bonded composite. *Int Endod J* 34:285-92.
- Sailer H, Pajarola G: *Wurzelspitzenresektion*. In: Rateitschak K, Wolf H (ed): *Orale Chirurgie*. Thieme, Stuttgart, 1996, S. 160.
- Schultz CB, Westhauser P, Niderost B, Klaus WG (2005) [Retrograde obturation with MTA Cement and Super-EBA after apicoectomy. Sealing ability of MTA and Super-EBA in dye penetration tests]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115:442-54.
- Schwartz SA, Alexander JB (1988) A Comparison of Leakage Between Silver-Glass Ionomer Cement and Amalgam Retrofillings. *Journal of Endodontics* 14:385-91.
- Schwartz-Arad D, Yarom N, Lustig JP, Kaffe I (2003) A retrospective radiographic study of root-end surgery with amalgam and intermediate restorative material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96:472-7.

- Shahi S, Yavari HR, Rahimi S, Eskandarinezhad M, Shakouei S, Unchi M (2011) Comparison of the sealing ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement used as root-end filling materials. *J Oral Sci* 53:517-22.
- Sidhu SK, McCabe JF (2004) The adaptation and cavity sealing ability of compomer restorative materials. *Am J Dent* 17:327-30.
- Sjogren U, Sundqvist G, Nair PN (1995) Tissue reaction to gutta-percha particles of various sizes when implanted subcutaneously in guinea pigs. *Eur J Oral Sci* 103:313-21.
- Skinner RL, Himel VT (1987) The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without the use of sealers. *J Endod* 13:315-7.
- Skoner JR, Wallace JA, Fochtman F, Moore PA, Zullo T, Hoffman D (1996) Blood mercury levels with amalgam retroseals: a longitudinal study. *J Endod* 22:140-1.
- Sousa CJ, Loyola AM, Versiani MA, Biffi JC, Oliveira RP, Pascon EA (2004) A comparative histological evaluation of the biocompatibility of materials used in apical surgery. *Int Endod J* 37:738-48.
- Spangberg L (1969) Biological effects of root canal filling materials. Part 7. Reaction of bony tissue to implanted root canal filling material in guinea pigs. *Odontol Tidskr* 77:133.
- Spangberg L, Langeland K (1973) Biologic Effects of Dental Materials .1. Toxicity of Root Canal Filling Materials on Hela-Cells In-Vitro. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 35:402-14.
- Spangberg LSW, Acierno TG, Cha BY (1989) Influence of Entrapped Air on the Accuracy of Leakage Studies Using Dye Penetration Methods. *Journal of Endodontics* 15:548-51.
- Storm B, Eichmiller FC, Tordik PA, Goodell GG (2008) Setting expansion of gray and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 34:80-2.
- Strassburg M, Lentrodt J: Wurzelspitzenresektion. In: Hoch H-H (ed): *Zahnärztliche Chirurgie*. 3. Aufl., Urban&Schwarzenberg, München, 1995, S. 187-207.
- Strietzel FP (2004) Sinusbodenelevation und -augmentation. Evidenzgestützte Aussagen zu Prognose und Risikofaktoren. *Mund Kiefer GesichtsChir* 8:93-105.
- Tagger M, Katz A, Tamse A (1994) Apical seal using the GP11 method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78:225-31.
- Tai KW, Huang FM, Chang YC (2001) Cytotoxic evaluation of root canal filling materials on primary human oral fibroblast cultures and a permanent hamster cell line. *J Endod* 27:571-3.

- Thiele L, Hickel R, Folwaczny N (2003) Der endodontische Misserfolg - von der Definition zur Strategie. Dtsch Zahnärztl Z 58:144-50.
- Thirawat J, Edmunds DH (1989) The Sealing Ability of Materials Used As Retrograde Root Fillings in Endodontic Surgery. International Endodontic Journal 22:295-8.
- Torabinejad M (1994) Passive Step-Back Technique - A Sequential Use of Ultrasonic and Hand Instruments. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics 77:402-5.
- Torabinejad M, Higa RK, Mckendry DJ, Ford TRP (1994) Dye Leakage of 4 Root End Filling Materials - Effects of Blood Contamination. Journal of Endodontics 20:159-63.
- Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR (1995a) Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. J Endod 21:603-8.
- Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Ford TRP (1995b) Physical and Chemical-Properties of A New Root-End Filling Material. Journal of Endodontics 21:349-53.
- Torabinejad M, Pitt Ford TR (1996) Root end filling materials: a review. Endod Dent Traumatol 12:161-78.
- Torabinejad M, Pitt Ford TR, Mckendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP (1997) Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. J Endod 23:225-8.
- Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Ford TRP (1995c) Bacterial Leakage of Mineral Trioxide Aggregate As A Root-End Filling Material. Journal of Endodontics 21:109-12.
- Torabinejad M, Watson TF, Ford TRP (1993) Sealing Ability of A Mineral Trioxide Aggregate When Used As A Root End Filling Material. Journal of Endodontics 19:591-5.
- Tronstad L, Wennberg A (1980) In vitro assessment of the toxicity of filling materials. Int Endod J 13:131-8.
- Trope M, Lost C, Schmitz HJ, Friedman S (1996) Healing of apical periodontitis in dogs after apicoectomy and retrofilling with various filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 81:221-8.
- v.Arxa T, Kurt B, Ilgenstein B, Hardt N (1998) Preliminary results and analysis of a new set of sonic instruments for root-end cavity preparation. Int Endod J 31:32-8.
- Vignaroli PA, Anderson RW, Pashley DH (1995) Longitudinal Evaluation of the Microleakage of Dentin Bonding Agents Used to Seal Resected Root Apices. Journal of Endodontics 21:509-12.

- von Arx T (2005) [The Retroplast Technique. Retrograde obturation with composite and adhesive technique in endodontic surgery]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115:1190-203.
- von Arx T, Gerber C, Hardt N (2001) Periradicular surgery of molars: a prospective clinical study with a one-year follow-up. *Int Endod J* 34:520-5.
- von Arx T, Kurt B (1999) Root-end cavity preparation after apicoectomy using a new type of sonic and diamond-surfaced retrotip: a 1-year follow-up study. *J Oral Maxillofac Surg* 57:656-61.
- von Arx T, Walker WA, III (2000) Microsurgical instruments for root-end cavity preparation following apicoectomy: a literature review. *Endod Dent Traumatol* 16:47-62.
- von Fraunhofer JA, Branstetter J (1982) The physical properties of four endodontic sealer cements. *J Endod* 8:126-30.
- Walia HD, Newlin S, Austin BP (1995) Electrochemical Analysis of Retrofilling Microleakage in Extracted Human Teeth. *Journal of Dental Research* 74:101.
- Washington JT, Schneiderman E, Spears R, Fernandez CR, He J, Opperman LA (2011) Biocompatibility and osteogenic potential of new generation endodontic materials established by using primary osteoblasts. *J Endod* 37:1166-70.
- Wassmund M: Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer. Meusser, Leipzig, 1935,
- Williams SS, Gutmann JL (1996) Periradicular healing in response to Diaket root-end filling material with and without tricalcium phosphate. *Int Endod J* 29:84-92.
- Witherspoon DE, Gutmann JL (2000) Analysis of the healing response to gutta-percha and Diaket when used as root-end filling materials in periradicular surgery. *Int Endod J* 33:37-45.
- Wörle M, Wirsching R (1977) Die Wurzelspitzenresektion im Seitenzahnbereich als Alternative zum Implantat. *Dtsch Zahnärztl Z* 32:340.
- Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR (1998) Long-term seal provided by some root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 24:557-60.
- Wu MK, Wesselink PR (1993) Endodontic Leakage Studies Reconsidered .1. Methodology, Application and Relevance. *International Endodontic Journal* 26:37-43.
- Wuchenich G, Meadows D, Torabinejad M (1994) A Comparison Between 2 Root End Preparation Techniques in Human Cadavers. *Journal of Endodontics* 20:279-82.
- Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GSP, Hu HL (2005) A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 99:107-11.

Zetterqvist L, Hall G, Holmlund A (1991) Apicectomy - A Comparative Clinical-Study of Amalgam and Glass Ionomer Cement As Apical Sealants. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* 71:489-91.

Zhu Q, Haglund R, Safavi KE, Spangberg LSW (2000) Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 26:404-6.

## 9 Thesen zur Dissertation

1. Bei Vorliegen einer persistierenden apikalen Parodontitis und Versagen der endodontischen Behandlung kann der erkrankte Zahn oftmals nur durch eine Wurzelspitzenresektion erhalten werden. Dabei werden mittels Osteotomie das erkrankte Gewebe und die Wurzelspitze entfernt und gegebenenfalls anschließend eine bakteriendichte retrograde Wurzelfüllung gelegt.
2. Als Ursache für den klinischen Misserfolg gilt die fortbestehende bakterielle Besiedlung des periapikalen Raumes durch Undichtigkeit der Wurzelfüllung mit nachfolgenden Entzündungsreaktionen.
3. Für die fortbestehend bakterielle Besiedlung wird der Abschluss des Wurzelkanals im apikalen Bereich verantwortlich gemacht.
4. Der passive Penetrationstest ist ein aussagekräftiges Verfahren aufgrund des technisch geringen Aufwandes und der guten Vergleichsmöglichkeit für die Prüfung der Dichtheit.
5. Die spektralphotometrische Analyse ermöglicht eine präzise quantitative Auswertung der Konzentration durchgetretener Farbstoffe.
6. Der polymerverstärkte Zinkoxidzement Diaket™ weist durchschnittlich die höchste apikale Dichtheit auf, gefolgt von Dyract®AP und IRM®. Die Werte sind signifikant im Vergleich zu den Versuchsgruppen ProRoot™MTA, Ketac™ Silver, Amalcap®Plus und Harvard®.
7. Als klinische Konsequenz ergibt sich, dass Dyract®AP, IRM®, ProRoot™MTA und Ketac™ Silver für den Gebrauch als retrogrades Wurzelfüllmaterial am geeignetsten erscheinen, nachdem Diaket™ vom Markt genommen worden ist.

## Tabellarischer Lebenslauf

<b>Name:</b>	Tobias Mohs
<b>Anschrift:</b>	Bismarckstr. 12 39576 Stendal
<b>geboren am:</b>	4. März 1980 in Stendal
<b>Familienstand:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ seit 16.07.2011 verheiratet mit Johanna Mohs, geb. Nerstheimer</li><li>○ Kinder: Johannes Wolfgang, geb. am 03.01.2011 Ferdinand Jonas, geb. am 17.04.2012</li></ul>
<b>Werdegang:</b>	
1986 - 1990	Herman-Matern-Oberschule in Stendal
1990 - 1998	Comenius Gymnasium in Stendal,
1998	Allgemeine Hochschulreife
1998 - 1999	Zivildienst im Johanniter Krankenhaus in Stendal
1999 - 2005	Studium der Zahnmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
10/2005	Staatsexamen
11/2005	Approbation als Zahnarzt
12/2005 – 3/2006	Assistenz Zahnarzt in der Zahnarztpraxis Dr. Mohs in Stendal
3/2006 – 6/2006	Assistenz Zahnarzt in der Praxisgemeinschaft Dr. R. Littinski & J. Littinski in Magdeburg
6/2006 – 10/2006	Assistenz Zahnarzt in der Zahnarztpraxis Dr. Mohs in Stendal
11/2006	Assistenz Zahnarzt in der Praxisgemeinschaft Dr. Krause & Wischer in Magdeburg
12/2006 – 9/2009	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universitätspoliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie bei Herrn Prof. Dr. Hans- Günter Schaller
10/2009 – 3/2010	Vorbereitung der Selbstständigkeit und Praxisgründung in Stendal
seit 4/2010	Tätigkeit als selbstständiger Zahnarzt in eigener Praxis in Stendal

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit, das ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Ich versichere, dass ich für die inhaltliche Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen habe. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Es ist mir bekannt, das ich den Dokortitel nicht führen kann, bevor mir die Promotionsurkunde bzw. eine vorläufige Bescheinigung gemäß § 15 der Promotionsordnung ausgehändigt wurde.

## **Erklärung über frühere Promotionsversuche**

Ich bestätige, dass ich bisher keine Promotionsversuche unternommen habe.

Stendal im März 2012

Tobias Mohs

## Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. Johannes Schubert, danke ich außerordentlich für die Überlassung des Themas und die konstruktive Begleitung bis zur Fertigstellung der Arbeit.

Für die fachlichen Hinweise sowie der Anleitung und Unterstützung bei der Durchführung im wissenschaftlichen Arbeiten möchte ich Frau Dr. Christine Goldbecher herzlich danken.

Zu besonderem Dank bin ich Frau OÄ Dr. Katrin Bekes für die Hilfe bei der statistischen Sicherung verpflichtet.

Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. Peter Hermann und Herrn Dr. Dagobert Glanz (Institut für Physiologische Chemie) für die außerordentliche Hilfe bei der Umsetzung der experimentellen und herleitenden Arbeit.

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Frau bedanken, die mir stets Kraft, Verständnis und Rückhalt gab. Ebenso danke ich meinen Eltern für die fortwährende Unterstützung.

## **Veröffentlichungen der Arbeit**

### **Publikationen (Abstract):**

Mohs T, Dauter K, Goldbecher J, Schubert J: Experimentelle Untersuchungen zur Dichtigkeit von retrograden Wurzelfüllungsmaterialien. Abstracts - Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 2012: 67 (6)

### **Wissenschaftliche Vorträge:**

Mohs T, Dauter K, Goldbecher J, Schubert J: „Experimentelle Untersuchungen zur Dichtigkeit von retrograden Wurzelfüllungsmaterialien“, anlässlich der 62. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Kieferchirurgie in Bad Homburg im Mai 2011