

**Aus der Zahnklinik 1 - Zahnerhaltung und Parodontologie der
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. A. Petschelt**

Über die Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal.
(Einfluss des Spülvolumens)

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**

**vorgelegt von
Jessica Wießner
aus
München**



**Gedruckt mit Erlaubnis der
Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**

Dekan:	Prof. Dr. Dr. h.c. J. Schüttler
Referent:	Prof. Dr. A. Petschelt
Koreferent:	Priv.-Doz. Dr. U. Lohbauer
Tag der mündlichen Prüfung:	21. Dezember 2011

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
1.1. Hintergrund und Ziele.....	1
1.2. Material und Methode.....	1
1.3. Ergebnisse.....	2
1.4. Schlussfolgerung.....	2
1. Summary	3
1.1 Objective.....	3
1.2 Materials and Methods.....	3
1.3 Results.....	4
1.4 Conclusion.....	4
2. Einleitung	5
3. Literaturübersicht	6
3.1 Infektion der Pulpa	6
3.1.1 Bakterieller Biofilm	6
3.1.2 Eliminierung von Bakterien.	7
3.2 Spüllösungen	8
3.2.1 Überblick	8
3.2.2 Natriumhypochlorit	9
3.2.3 Zitronensäure.....	10
3.2.4 Kombination.....	11
3.2.5 Einflussfaktoren.....	12
3.3. Kalziumhydroxid.....	13
3.3.1 Präparate.....	13
3.3.2 Wirkung.....	14
3.3.3 Beeinflussung von Wurzelkanalfüllungsmaterialien.....	15
3.3.4 Entfernbarkeit.....	16
3.4 Radioaktivität.....	17
3.4.1 ¹⁴ C-Atom und β -Strahlung.....	17
3.4.2 Szintillation und Szintillationszähler.....	17
3.4.3 Radioaktivität in zahnmedizinischen Studien.....	20
4. Problemstellung	21

5. Material und Methode	22
5.1 Vorversuche.....	22
5.2 Auswahl und Vorbereitung der Zähne.....	28
5.3 Medikamentenapplikation und Lagerung	29
5.3.1 Gewichtsbestimmung.....	29
5.3.2 Radioaktive Anmarkierung.....	30
5.3.3 Medikamentenapplikation.....	31
5.3.4 Lagerung.....	31
5.4 Entfernung des Medikaments.....	32
5.4.1 Wechselspülung.....	32
5.4.2 Gefrierbruchverfahren.....	33
5.5 Messung.....	34
5.6 Kontrollgruppen.....	35
5.7 Statistik.....	35
5.8 Flowcharts.....	36
6. Ergebnisse	38
6.1 Werte.....	38
6.2 Statistik.....	41
6.3 Auswertung.....	42
7. Diskussion	43
7.1 Studiendesign.....	43
7.1.1 Radioaktivität.....	43
7.1.2 Vorbereitung der Zähne.....	45
7.1.3 Versuchsaufbau	47
7.1.4 Methodenkritik.....	49
7.2 Ergebnisse.....	51
7.3 Vergleich zur aktuellen Literatur.....	52
7.4 Ausblick.....	54
8. Literaturverzeichnis	55
9. Anhang	64
9.1 Materialien und Geräte.....	64
9.2 Tabellen.....	68
10. Danksagung	84

1. Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Die unvollständige Entfernung einer medikamentösen Einlage aus dem Wurzelkanal kann zu einer undichten Wurzelkanalfüllung führen. Durch mangelnde Randständigkeit kommt es zur bakteriellen Reinfektion und damit zum Misserfolg der endodontischen Behandlung. Deshalb ist die effektive Reinigung des Wurzelkanals nach Kalziumhydroxidapplikation von entscheidender Bedeutung.

Ziel dieser Studie war es, eine Methode zu entwickeln, die eine Quantifizierung der Entfernbareit medikamentöser Einlagen ermöglicht. Die Methode sollte anschließend hinsichtlich der Spülung des Wurzelkanals mit unterschiedlichen Volumen angewendet werden.

1.2 Material und Methode

50 gerade, humane Frontzähne wurden maschinell mit FlexMaster®-Instrumenten bis zur Feilengröße .06/#40 unter stetiger Spülung aufbereitet. Das Entfernen der klinischen Kronen und das Einfräsen longitudinaler Kerben erfolgten im Anschluss. Danach konnten die Probenzähne mit Kalziumhydroxid in wässriger Suspension (Calxyl®), welches mit ^{14}C -Glucose radioaktiv markiert war, und einem Guttaperchastift gefüllt werden. Koronal wurden die Zähne mit einem fließfähigen Komposit temporär verschlossen und sieben Tage in physiologischer Ringerlösung bei 35 °C gelagert. Eine Unterteilung der Zähne in fünf Gruppen zu je zehn Zähnen erfolgte randomisiert. Im Anschluss fand die Entfernung des Calxyls® mit einer Wechselfspülung aus Zitronensäure und Natriumhypochlorit statt. Die Spülmengen wurden zwischen 0,5 ml und 8 ml gewählt und in Intervallen von 0,5 ml appliziert. Nach vollständiger Trocknung wurden die Zähne in flüssigem Stickstoff gefroren und entlang der eingefrästen Kerbe gebrochen. Waren alle Kanalfächen der Szintillationsflüssigkeit zugänglich, konnte die Bestimmung der Impulsrate im Flüssigkeitsszintillationszähler vorgenommen werden.

1.3 Ergebnisse

Keine der verschiedenen Spülmengen ist in der Lage die medikamentöse Einlage in Form von Kalziumhydroxid vollständig zu entfernen. Es kann eine eindeutige Abhängigkeit zwischen verwendeter Spülmenge und prozentualer Entfernung des Medikaments gezeigt werden. Die statistische Auswertung weist bei Verdopplung des Spülvolumens jeweils eine signifikante Verbesserung der Reinigungsleistung auf. Bleiben bei Verwendung von 0,5 ml noch durchschnittlich über 20 % des Medikamentes im Kanal, so kann die Entfernung bei 8 ml Spülung auf etwa 95 % gesteigert werden.

1.4 Schlussfolgerung

Bei einer Spülmenge von 8 ml und Intervallen von 0,5 ml einer kombinierten Spülung aus Natriumhypochlorit und Zitronensäure können in vitro gute Ergebnisse erzielt werden, die eine klinische Anwendungsempfehlung rechtfertigen. Die entwickelte Methode ermöglicht eindeutige Ergebnisse und lässt sich präzise anwenden. Die Reinigung des Wurzelkanals von der medikamentösen Einlage korreliert mit der Menge an eingesetzter Spüllösung. Durch höhere Spülvolumen kann Kalziumhydroxid effizienter aus dem Kanallumen entfernt werden.

1. Summary

1.1 Objective

The incomplete removal of an intracanal medication may produce a leaking root canal filling. A lacking seal of the root canal filling results in bacterial re-infection, which might imply the failure in endodontic treatment. Accordingly, the effective removal of calcium hydroxide from the root canal system is of essential importance.

The aim of this study was to develop a method, quantifying the medication removal from the root canal system. Further the irrigation of the root canal with different volumes was aimed to be tested and compared.

1.2 Materials and Methods

50 extracted, human front teeth were prepared with FlexMaster® instruments up to the master file size of .06/#40 by steady irrigation. In addition, the clinical crowns were removed and longitudinal notches were shaped into the exterior surface of the root. The teeth were filled with Calxyl®, which was radioactively marked with ¹⁴C-glucose, and a gutta-percha point. The access cavities were temporarily sealed with a flowable composite and stored at 35 °C and 100 % relative humidity for seven days. Subsequently, the teeth were randomly assigned to five groups per ten teeth. Subsequently, the Calxyl® was removed by combined irrigation with citric acid and sodium hypochlorite with flushing volumes of 0.5 ml to 8 ml and sequences of 0.5 ml. The teeth were dried and frozen in liquid nitrogen and broken longitudinally. When the remnants of the radioactively marked medication were accessible to the scintillation liquid the counting of the impulse rate with the Liquid Scintillation Counter could be realized.

1.3 Results

None of the irrigation volumes was able to remove the calcium hydroxide completely. A clear correlation between the used syringe volume and the proportional removal of the medical insert was observed. The statistical evaluation presented a significant improvement of the achieved removal by doubling the irrigation volume in each case. Using a volume of 0.5 ml, more than 20 % of the intracanal medication still remained. Consequently, the removal rate could be improved with an amount of 8 ml irrigation solution up to approximately 95 %.

1.4 Conclusion

Best results in vitro can be achieved with an irrigation volume of 8 ml and sequences of 0.5 ml, which justifies a clinical recommendation. The developed method produces exact and responsible results. The removal of an intracanal medication correlates with the amount of the used irrigation volume. Higher syringe volumes can remove calcium hydroxide more efficiently out of the root canal system.

2. Einleitung

Die Desinfektion des infizierten Wurzelkanals wird als Voraussetzung für einen vorhersagbaren Behandlungserfolg angesehen [38]. Neben der instrumentellen Entfernung des bakteriell infizierten Dentins der Wurzelkanalwand unter aseptischen Kautelen und der Wurzelkanalspülung kommt es zur Anwendung desinfizierender, bakterizider Einlagen. Da Aufbereitungs- und Reinigungstechniken Bakterien nicht zuverlässig eliminieren, ist eine medikamentöse Behandlung des Wurzelkanalsystems nach dessen Präparation sinnvoll [38, 50, 77].

Die einfachste Form der medikamentösen Einlage bestand früher im Tränken von Watte-, Baumwoll- oder Seidenfasern mit Creosol, Chlorzink oder Silbernitrat. Alternativ dazu wurden aufgrund ihrer antiseptischen Wirkung ätherische Öle und seltene pflanzliche Tinkturen verwendet. Später hielten Phenol, Jodoform, Salicylsäure und andere Substanzen Einzug in die Zahnheilkunde [46]. Heute ist Kalziumhydroxid das gebräuchlichste Präparat [26, 38, 85].

Kalziumhydroxid wird sowohl in freier Form als auch in Kombination mit anderen Substanzen schon seit sehr langer Zeit für zahnärztliche Zwecke eingesetzt [85]. Gebrannte und gelöschte Kalke fanden bereits vor 2000 Jahren zur Behandlung pathologischer Veränderungen in der Mundhöhle ihre Anwendung. Seit dem 18. Jahrhundert liegen genauere Aufzeichnungen über den Gebrauch von Kalziumhydroxid im zahnmedizinischen Fachbereich vor. *Hermann* stellte im Jahre 1920 die bakterizide Wirkung von „Calxyl“ dar [85]. Die Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem werden durch eine 7-tägige Kalziumhydroxidapplikation effektiv eliminiert [84].

In der jüngeren Literatur spielt die Penetrationsproblematik der Dentintubuli durch einen Sealer nach einer Kalziumhydroxideinlage eine zunehmende Rolle. Durch die medikamentöse Einlage werden die Dichtigkeit und die Qualität der definitiven Wurzelkanalfüllung beeinträchtigt [8]. Aus diesem Grund betonen zahlreiche Autoren die Bedeutung sowie die Notwendigkeit einer möglichst vollständigen Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanalsystem [39, 73, 94].

3. Literaturübersicht

3.1 Infektion der Pulpa

3.1.1 Bakterieller Biofilm

Der ätiologische Faktor der apikalen Parodontitis ist die Infektion des Wurzelkanals durch Mikroorganismen. Diese gehören mehrheitlich zur physiologischen Flora der Mundhöhle. Bereits *Kakehashi et al.* stellte dies bei Versuchen an gesunden Ratten, deren Pulpen artifiziell eröffnet wurden, fest [43]. Die Ratten, die keimfrei gehalten wurden, entwickelten keine Pulpitis. Es bildete sich sogar neues Hartgewebe aus. Bei den unter unsterilen Bedingungen gehaltenen Ratten entfalteten sich schwere apikale Parodontitiden.

Die infizierten Wurzelkanäle beherbergen pro Kanal ungefähr 10 bis 30 unterschiedliche Bakterienarten. Molekulare Untersuchungsmethoden und das Anlegen von Kulturen haben gezeigt, dass die meisten isolierten Bakterien in sechs Untergruppen fallen: Spirochäten, Fusobakterien, Actinobakterien, Firmicutes, Proteobakterien und Bacteroides [82, 87]. Der unbehandelte, infizierte Kanal beinhaltet somit eine polymikrobische Bakterienmischung. Während ein ungefähr gleiches Verhältnis an grampositiven zu gramnegativen Bakterien vorliegt, dominieren die obligaten Anaerobier [28, 99]. Die Mikroorganismen liegen einerseits in planktonischer Form, demzufolge frei innerhalb des Kanals, und andererseits organisiert in einem Biofilm an der Kanalwand vor [9, 61, 101].

Ein Biofilm ist eine ein- oder mehrschichtige Agglomeration von Bakterien, die in eine extrazelluläre Matrix integriert ist [87]. Obwohl die strukturelle Organisation von Biofilmen unterschiedlich sein kann, scheint die Errichtung einer Mikrogemeinschaft auf einer Oberfläche im Wesentlichen einheitlichen Entwicklungsschritten zu folgen. Durch die Adsorption von Proteinen bildet sich zunächst ein konditionierter Film. Anschließend kommt es zum Festkleben und zur Koloniebildung von planktonischen Mikroorganismen in der polymeren Matrix. Dies führt zur Koadhäsion anderer Bakterien und befähigt sie zur Absonderung von Biofilm-Mikroorganismen in die Umgebung [87]. Die Ausbildung eines Biofilms,

eine physiologische Modifizierung, eine Stressantwort und die Entwicklung von Subpopulationen von Zellen sind einige der Anpassungsmethoden, die von Bakterien, zusammen mit verschiedenen Mechanismen, einschließlich des Austausches von genetischem Material zwischen Bakterien, genutzt werden, um Resistenzen aufzubauen [9]. All diese Mechanismen erschweren eine vollkommene Reinigung des infizierten Wurzelkanals.

3.1.2 Eliminierung von Bakterien

Für den endodontischen Behandlungserfolg sind die Eliminierung der Mikroorganismen, der dichte Verschluss der Hohlräume und die Verhinderung einer Reinfektion im Wurzelkanal maßgeblich [38]. Die Reinigung der intrakanalären Keimflora gliedert sich in mehrere Schritte. Zunächst wird der Wurzelkanal per Hand oder maschinell mit Instrumenten bearbeitet, um die Keimzahl zu reduzieren und das vorhandene Restpulpagewebe zu entfernen. Die alleinige Aufbereitung des Wurzelkanals ermöglicht jedoch keine vollständige Reinigung. Viele Bereiche des Kanalsystems, wie Seitenkanäle und das apikale Delta, bleiben unbearbeitet [33, 41, 66]. *Peters et al.* stellten fest, dass ca. 1/3 der zu bearbeitenden Kanaloberfläche unberührt bleibt [65]. Deshalb wird der Wurzelkanal mit Instrumenten unter konstanter Spülung gestaltet. Das entzündete und nekrotische Gewebe, die Mikroorganismen im Biofilm sowie die Dentindebris werden aus dem Kanallumen heraus geschwemmt und eliminiert. Die Hauptabsicht der Instrumentierung ist es, eine wirksame Spülung zu ermöglichen sowie eine gute Desinfektion und Füllung zuzulassen [32].

Die während und nach der Aufbereitung verwendeten Spülungen sind chemische Desinfektionsmaßnahmen, die eine signifikante Bakterienreduktion in allen Regionen des Endodonts erreichen [32, 101]. Sie lösen organische wie auch anorganische Bestandteile des Kanalinhalt in Bereichen auf, die einer mechanischen Säuberung nicht zugänglich sind. Der Abtransport von Debris sowie die Eliminierung der durch die Aufbereitung entstandenen Schmierschicht werden ebenfalls durch die Spülungen bewerkstelligt. Weitere Anforderungen sind die Inaktivierung bakterieller Lipopolysaccharide, die Gleitmittelfunktion für die

Wurzelkanalinstrumente und eine niedrige Toxizität [39, 99]. Für die Erfüllung dieser Aufgaben existieren verschiedene Spüllösungen.

3.2 Spüllösungen

3.2.1 Überblick

Die Wurzelkanalspülung wirkt durch ihren antimikrobiellen Effekt wie eine Desinfektion des Wurzelkanals und ist ein integraler Bestandteil der chemomechanischen Kanalaufbereitung [38, 99]. In der klinischen Endodontie werden verschiedene Spüllösungen verwendet, wobei Natriumhypochlorit (NaOCl) die älteste und am häufigsten genutzte Spülung ist [32, 38, 39, 46]. Aus diesem Grund wurde NaOCl auch in dieser Studie verwendet.

Eine weitere Spülung ist Wasserstoffperoxid (H_2O_2). Sie wird als schwach saure Lösung (pH-Wert 5) in einer 3-5%igen Konzentration als Wurzelkanalspülung eingesetzt. H_2O_2 ist ein starkes Oxidationsmittel, das bei Berührung mit vitalem Gewebe beträchtlich schäumt. Als Spüllösung ist H_2O_2 bezüglich seiner antibakteriellen Wirkung und der Gewebeauflösung NaOCl unterlegen. Durch die unkontrollierbare, apikalwärts wirkende Druckausbildung und die Neutralisation der gewebeauflösenden Wirkung von NaOCl wird eine Wechselfspülung von H_2O_2 und NaOCl heute nicht mehr empfohlen [39].

Eine andere, sehr etablierte Spüllösung ist Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA), die zu der Gruppe der Chelatoren zählt. EDTA ist ein Komplexbildner, der Kalziumionen des Dentins selektiv an sich binden kann. Diese Substanz entfernt die Schmierschicht sehr gut und wird in einer Konzentration zwischen 5 % und 17 % verwendet. Der Chelator EDTA ist jedoch nicht in der Lage Gewebe aufzulösen und somit nicht als Ersatz von NaOCl zu sehen. Als zusätzliche Spülung wirkt es als hervorragendes Gleitmittel für Instrumente [38, 40, 46].

Aufgrund eines breiten Spektrums der antibakteriellen Wirkung wird heute auch das Öfteren mit Chlorhexidin (CHX) gespült [32]. CHX wird in einer geringen

Konzentration von 0,2 % - 2 % eingesetzt. Auch bei so niedrigen Konzentrationen konnte eine gute antimikrobielle Wirkung gegen *Enterococcus faecalis* belegt werden. CHX wirkt bakterizid und greift an der Zellwand von Bakterien an. Jedoch wird diese im Wurzelkanal, ähnlich wie bei NaOCl, durch Dentin und Serumproteine reduziert [71]. Im Vergleich zu NaOCl ist die gewebeauflösende und reinigende Wirkung deutlich schlechter. Ein großer Vorteil der CHX-Spülung ist deren Depotwirkung. Daher wird CHX häufig zur Desinfektion bei Revisionsfällen verwendet [38].

Die Anwendung von 70%igem Ethanol wird als Abschlussspülung befürwortet. Es ermöglicht durch seine niedrige Oberflächenspannung eine Diffusion auch in Seitenkanäle und trocknet so das Wurzelkanalsystem vor dem definitiven Abfüllen. Das Trocknen der Wurzelkanäle soll die Adhäsion des Sealers sowie die Penetration in die Dentintubuli und Seitenkanäle fördern [95]. Eine verbesserte Benetzung der Kanalwände mit Sealer konnte allerdings nicht ausnahmslos bewiesen werden [38, 40].

Ein neueres Desinfektionsmittel ist MTAD. Es besteht aus dem Breitbandantibiotikum Tetrazyklin, Zitronensäure und einem Detergens (Tween 80) zur Reduzierung der Oberflächenspannung. Die MTAD-Spülung reduziert die Schmierschicht, lässt jedoch organische Bestandteile zurück. Die Wirksamkeit und Effektivität von MTAD werden durch den kombinierten Einsatz von MTAD und 1,3%iger NaOCl-Spülung deutlich verbessert [38, 89].

Weitere Spüllösungen sind die physiologische Kochsalzlösung, die eine insgesamt sehr geringe Wirkung zeigt und die Jod-Jodkali-Lösung, welche ein gutes Antiseptikum und Lokalanästhetikum zur Behandlung von Kanälen mit Restvitalität ist, jedoch ein Allergie- und Verfärbungsrisiko in sich birgt [38].

3.2.2 Natriumhypochlorit

Das Mittel der Wahl zur Spülung des Wurzelkanals ist Natriumhypochlorit. Bereits im 1. Weltkrieg setzten der Chemiker Henry Drysdale Dakin und der Chi-

rurg Alexis Carrel NaOCl in einer Konzentration von 0,5 % für die Versorgung offener Wunden ein [14]. Als Spüllösung für den Wurzelkanal kam es bereits 1920 zur Anwendung [99].

NaOCl wird in den Konzentrationen zwischen 0,5 %-5,25 % empfohlen, wobei in der Literatur Uneinigkeit darüber herrscht, ob besser eine niedrige oder hohe Konzentration verwendet werden sollte. In den USA bevorzugt man in der Regel NaOCl mit einer Konzentration von 5,25 %, während Schweizer Autoren eine geringere Konzentration für ausreichend befinden [99]. Bei einer höheren Konzentration wird eine effizientere antibakterielle Wirkung sowie eine bessere Gewebeauflösung vermutet [10]. Jedoch hat dies negative Auswirkungen auf den Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit des Dentins [55].

NaOCl dissoziiert je nach pH-Wert in Hypochlorit und hypochlorige Säure. Reine NaOCl-Lösung, wie in der Endodontie gebräuchlich, hat einem pH-Wert von circa 12, so dass hauptsächlich Hypochlorit anfällt. Die Wirkung von NaOCl beruht auf der proteolytischen Reaktion von Hypochlorit mit der kollagenen Matrix des Dentins [99]. NaOCl eliminiert effizient die meisten vorkommenden Mikroorganismen [27, 71]. Allerdings wird diese antibakterielle Reaktion durch ein entzündliches Exsudat, Gewebe- und Dentinreste sowie durch einen bakteriellen Biofilm negativ beeinflusst [32]. Die Spüllösung neutralisiert Lipopolysaccharide und löst sowohl nekrotisches als auch vitales, organisches Gewebe auf. Die Schmierschicht wird von NaOCl nur unvollständig entfernt [38]. Eine Abnahme des pH-Wertes und eine Zunahme der Temperatur sowie der Einwirkzeit steigern die Wirkung von NaOCl [99].

Die Spüllösung NaOCl ist bezüglich ihrer Wirkung anderen Spülungen überlegen.

3.2.3 Zitronensäure

Zur vollständigen Reinigung des Wurzelkanals benötigt man Spüllösungen, die sowohl organisches als auch anorganisches Gewebe auflösen. NaOCl ist nur in

der Lage organisches Material zu beseitigen. Deshalb müssen zusätzliche Substanzen verwendet werden, um eine effektive und vollständige Reinigung des Wurzelkanalsystems zu erreichen. Anorganische Substanzen werden durch Zitronensäure effektiv entfernt [32].

Zitronensäure ist eine farblose, wasserlösliche Carbonsäure, die zu den Fruchtsäuren zählt. Systematisch wird sie nach IUPAC als 2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure bezeichnet (Summenformel: $C_6H_8O_7$) [98]. In der Zahnmedizin wird sie mit einer 5-50%igen Konzentration eingesetzt und ist sehr biokompatibel. Die zur Gruppe der Chelatoren gehörende Zitronensäure ist ein Komplexbildner und nur ungepuffert gut wirksam [99].

Als Spüllösung besitzt sie eine gute antimikrobielle Wirkung und entfernt bereits nach einer kurzen Einwirkzeit die Schmierschicht [97]. Einige Autoren sind der Ansicht, Zitronensäure entferne die Schmierschicht effektiver als EDTA und sei eine stärkere Demineralisierungssubstanz [16, 25, 100]. Darüber hinaus soll Zitronensäure speziell bei der Verwendung von kunststoffbasierten Sealern die Dentinoberfläche besser bearbeiten und so einen dichteren Verschluss durch den Sealer gewähren [25]. Die Wirkung von Zitronensäure, anorganische Partikel des Dentins aufzulösen, beruht auf der selektiven Bindung von Kalziumionen. Hierbei ist die Konzentration der verwendeten Säure nicht ausschlaggebend [34, 97]. Zitronensäure stellt ein sehr wirksames dekalzifizierendes Mittel dar, das EDTA gleichwertig bis überlegen ist [17, 54].

3.2.4 Kombination

Diese Spüllösungen haben eine große Affinität miteinander zu reagieren. Bei Kontakt beider Substanzen kommt es zur Ausbildung von Sauerstoffradikalen und sich verflüchtigendem Chlorgas [3]. Diese sprudelnde Wirkung mag einen positiven Effekt auf die Reinigungsleistung haben. Allerdings reduziert Zitronensäure ebenso wie EDTA die Freisetzung von Chlor aus NaOCl und verringert dadurch dessen antibakterielle Wirkung [31, 38, 100]. Auf der anderen Seite kann NaOCl besser und tiefer in die Dentintubuli hinein wirken, wenn diese

nicht von Dentindebris und der Schmierschicht verstopft sind [101].

Kalziumhydroxid lässt sich gut durch Zitronensäure entfernen [62]. Die Kombination von Zitronensäure und NaOCl bei der Reinigung des Wurzelkanals von Kalziumhydroxid ist nicht signifikant schlechter zu bewerten als Zitronensäure in alleiniger Anwendung [73]. Die singuläre Spülung mit NaOCl jedoch ist nach aktueller Studienlage im Entfernen von Kalziumhydroxid nicht effektiv. Demzufolge sollte eine Kombination der beiden Spüllösungen Zitronensäure und NaOCl eingesetzt werden [73, 76].

3.2.5 Einflussfaktoren

Eine effiziente Wirkung der Spüllösung kann nur gewährleistet werden, wenn ein ausreichend großer räumlicher und zeitlicher Kontakt zum Wurzelkanalgewebe, den darin befindlichen Mikroorganismen und dem Biofilm gegeben ist. Dabei wird die Spüleistung durch eine kontrollierte Eindringtiefe von 1-2 mm vor Aufbereitungslänge deutlich erhöht [37, 39]. Auch die Wahl des Nadeltyps beeinflusst die Effektivität der Reinigung, wobei sich offenendige, flexible, dünne Nadeln bewährt haben [6]. Die Größe des Kanals muss die nötige Eindringtiefe der Spülkanüle ohne Verkeilung zulassen, so dass eine hinreichende Spülung gewährleistet ist [52].

Spüldauer und Spülmenge stehen auch in direkter Korrelation zur besseren Keimreduktion und Debris-Verminderung im Wurzelkanalsystem. Je länger und je mehr gespült wird, desto besser ist die Reinigungsleistung. Allerdings existieren keine gesicherten Daten zur notwendigen Menge. Bei der Gesamteinwirkzeit von initialer Spülung bis zur abschließenden Trocknung des Kanals sollte von 30 min ausgegangen werden [37, 39].

3.3 Kalziumhydroxid

3.3.1 Präparate

Eine weitere Desinfektionsmaßnahme stellt die medikamentöse Einlage dar. Diese wird zum einen bei Vitalexstirpationen zwischen den Sitzungen als temporäres Füllungsmaterial, zum anderen besonders bei infizierten Kanälen als Einlage zur längeren Einwirkung und Desinfektion verwendet [39]. Das gebräuchlichste und wirksamste Mittel ist Kalziumhydroxid [26, 39, 50, 101].

Heute existieren verschiedene Kalziumhydroxidpräparate, die sich aufgrund ihrer Zusammensetzung in ihrer Wirkungsweise unterscheiden. Die bekannteste und am häufigsten verwendete Verbindung ist die wässrige Suspension, bei der Kalziumhydroxid mit Wasser versetzt wird. Kalziumhydroxidpulver kann eigenständig mit Wasser als flüssige Lösung oder visköse Paste angerührt werden oder als fertiges Produkte wie Calxyl® verwendet werden. Es erscheint, als sei keine Paste der anderen biologisch oder klinisch überlegen [26]. Die Calxyl®-Paste ist das wohl älteste und bekannteste Handelspräparat. Hier sind dem Kalziumhydroxid neben Wasser noch kleine Mengen an Kalziumchlorid, Kaliumchlorid, Natriumchlorid und Natriumbikarbonat beigemischt. Zur besseren Röntgenopazität wird auch ein Präparat mit Bariumsulfatzusatz angeboten [26, 85].

Darüber hinaus gibt es noch Lacke (Hydroxylite®), Öle, so genannte Kitte (Pericare™), Zemente (Dycal®) und Kunststoffpräparate (Cav Hycal®), die Kalziumhydroxidanteile aufweisen. Die höchste Ionenfreisetzung in Kombination mit einer ausgeprägten antimikrobiellen Wirkung wurde bei wässrigen Kalziumhydroxidlösungen nachgewiesen, z.B. Calxyl® [26, 85]. Bei Zementen ist die Wirkung wesentlich geringer. Liner, Kitte und mit Kalziumhydroxid gefüllte Kunststoffpräparate zeigen kaum Ionenfreisetzung oder antimikrobielle Wirksamkeit [85].

3.3.2 Wirkung

Hermann verwendete 1920 erstmals Kalziumhydroxid als Wurzelkanaldesinfizierens. Er verdeutlichte die bakterizide Wirkung von Kalziumhydroxid bei der Behandlung von Wurzelkanälen. Besonders die starke alkalische „Ergiebigkeit“ und die Tatsache, dass das von ihm bezeichnete Calxyl gewebesverwandt sei, veranlassten ihn, alternative Medikamente konsequent abzulehnen [85].

Kalziumhydroxid besitzt eine starke antibakterielle Wirkung. Die meisten Mikroorganismen des Wurzelkanals sind nicht in der Lage, in der stark alkalischen Umgebung des Medikaments mit einem pH-Wert von 12,5 zu überleben [81]. Die antibakterielle Aktivität von Kalziumhydroxid beruht auf seiner Dissoziation in Kalziumionen (Ca^{2+}) und Hydroxidionen (OH^-). Die Abgabe letztgenannter in die wässrige Umgebung ist der ausschlaggebende Faktor, während die Kalziumionen mit Kohlenstoffdioxid zu Kalziumkarbonat reagieren, das biologisch unwirksam ist [26, 38]. Hydroxidionen sind hoch oxidativ und besitzen eine große Reaktionsaffinität mit verschiedensten Biostrukturen [81]. Sie vermögen die Zellmembran von Bakterien, der zahlreiche Funktionen wie der Transport von Substanzen, die Lagerung von Enzymen und die Zellernährung zukommen, zu zerstören. Darüber hinaus führt der Kontakt mit Hydroxidionen zu einer Denaturierung von Proteinen sowie Enzymen und zu einer Zersetzung der DNA [38, 81]. Die medikamentöse Einlage ist aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit und ihres spärlichen Diffusionsverhaltens sehr biokompatibel [81].

Die im Kanal befindliche Bakterienzahl wird durch Kalziumhydroxid stark reduziert. Trotz alledem ist es nicht in der Lage diesen immer keimfrei zu gestalten. Zahlreiche Studien zeigen, dass Kalziumhydroxid nur eine geringe Wirkung gegenüber dem Mikroorganismus *Enterococcus faecalis* hat und dass auch *Candida albicans* und *Actinomyces radicidentis* nur unzureichend eliminiert werden [13, 18, 24, 27, 38].

Die Zeitspanne, die Kalziumhydroxid benötigt, um seine antimikrobielle Wirkung vollständig zu nutzen, wird stark diskutiert. Jedoch sprechen sich viele Autoren für eine 7-10tägige Einlage aus [50, 77].

3.3.3 Beeinflussung von Wurzelkanalfüllungsmaterialien

Zahlreiche Studien zeigen eine Beeinträchtigung der Sealereigenschaften beim Vorhandensein von Kalziumhydroxidresten im Wurzelkanal [2, 11, 15, 23, 36, 45, 69]. Die unvollständige Entfernung von Kalziumhydroxid verhindert eine Penetration des Sealers in die Dentintubuli. Dies führt wiederum zu einer Reduktion der Sealeradaptation [8].

Reste des Präparats verändern die physikalischen Eigenschaften des Sealers stark. Die Fließeigenschaften und die Abbindezeit werden nur leicht herabgesetzt. Hingegen wird die Verarbeitungszeit stark verringert und die Filmstärke des Sealers steigt enorm. Nimmt die Filmstärke des Sealers zu, hemmt dies die Kondensation der Guttapercha. Die Adaptation im Kanal wird durch die Minderung von Verarbeitungszeit und Fließfähigkeit erschwert [36].

Kalziumhydroxid reduziert ferner die Haftkraft von kunststoffhaltigen Sealern [2]. Es beeinträchtigt die Eigenschaften von silikon-, eugenol- und polyetherbasierten Sealern [5, 11, 45]. Des Weiteren ist eine Steigerung der apikalen Durchlässigkeit bei mit Guttapercha gefüllten Wurzelkanälen erwiesen, wenn Reste von Kalziumhydroxid vorhanden sind. Dies wird durch eine beschleunigte Abbindung und eine poröse Struktur des Sealers erklärt [56]. Mehrere Untersuchungen zeigen auch eine Verbesserung der apikalen Durchlässigkeit, also eine Verminderung dieser durch Kalziumhydroxid [35, 69]. Dies beruht jedoch auf der Tatsache, dass Methylenblau verwendet wurde, welches durch Kalziumhydroxid entfärbt wird [45, 47]. Darüber hinaus wurden diese Ergebnisse über sehr kurze Zeitspannen und unter Laborbedingungen ermittelt [94]. Die möglichst vollständige Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanalsystem wird daher empfohlen [38, 94].

3.3.4 Entfernbarekeit

Die suffiziente Adaptation des Füllungsmaterials wird erreicht, indem die Dentinwände von Schmierschicht, Debris und eingebrachtem Medikament befreit werden. Es liegen nur wenige Studien zur Effizienz der unterschiedlichen Eliminierungstechniken von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanalsystem vor.

Die Konsistenz und die Trägersubstanzen von Kalziumhydroxid haben keinen signifikanten Einfluss auf dessen Entfernbarekeit [49]. In seinem Verhalten gegenüber Spüllösungen ähnelt das Medikament der Schmierschicht. Das bedeutet, es wird von EDTA und Zitronensäure besser entfernt als von NaOCl [73, 76]. *Nandini et al.* zu Folge scheint Zitronensäure gegenüber EDTA etwas überlegen zu sein [62].

In geraden Wurzelkanälen ist, im Gegensatz zur alleinigen Spülung, eine verbesserte Reinigung durch zusätzliches Instrumentieren mit der apikalen Masterfeile in Kombination mit Spüllösungen möglich. *Kenee et al.* zeigen bei maschinell rotierenden Instrumenten und passiver Ultraschallaktivierung ähnliche Ergebnisse bezüglich der Entfernung [44]. Die passive ultraschallaktivierte Irrigation ist der manuellen Spülung mit NaOCl in künstlich geschaffenen Kanalrinnen überlegen [94]. Eine Untersuchung präsentiert eine bessere Reinigung im apikalen Drittel des Wurzelkanals unter Verwendung einer „Patency“-Feile [48]. Bei all diesen Studien wurde die Entfernbarekeit von Kalziumhydroxid mit Hilfe von optischen Techniken verifiziert.

3.4 Radioaktivität

3.4.1 ^{14}C -Atom und β -Strahlung

Das ^{14}C -Atom ist ein Isotop des ^{12}C -Atoms. Es enthält in seinem Kern 6 Protonen und 8 Neutronen [12]. Es besitzt 2 Neutronen mehr als das ^{12}C -Atom und ist aufgrund seines Protonen-Neutronen-Verhältnisses instabil und somit radioaktiv. Während ^{12}C -Atome stabil sind, zerfällt das ^{14}C -Isotop mit einer physikalischen Halbwertszeit von ca. 5730 Jahren. Die physikalische Halbwertszeit ist das Zeitintervall, in dem die Strahlungsintensität eines radioaktiven Stoffes auf die Hälfte abgeklungen ist [98].

Beta-Strahlung ist eine Teilchenstrahlung, die aus β^- -Teilchen, den Elektronen, oder aus β^+ -Teilchen, den Positronen, besteht. Sie werden bei Umwandlungen im Kern gebildet. Das Spektrum beim β -Zerfall ist kontinuierlich. Im Grundsatz haben β -Teilchen die gleichen Wechselwirkungen mit Materie wie α -Strahler, sind aber um ein Vielfaches schwächer. Aufgrund ihrer sehr geringeren Masse werden β -Teilchen von Elektronen in der Umgebung stark abgelenkt, wodurch sie sich auf "Zick-Zack"-Bahnen bewegen. Verliert ein β -Teilchen beim Zusammenstoß all seine kinetische Energie, wird es absorbiert [12].

3.4.2 Szintillation und Szintillationszähler

Im Jahre 1908 entdeckten *Rutherford* und *Geiger*, dass Zinksulfat-Pulver, wenn es mit α -Strahlung bestrahlt wird, Lichtblitze aussendet [12]. Diesen Vorgang, bei dem β -Teilchen mit bestimmten Molekülen kollidieren und dabei Licht aussenden, bezeichnet man als Szintillation (lat.: scintillare = „funkeln, flackern“). Jener Prozess wird zur Messung von radioaktiver Strahlung ausgenutzt, indem das abgestrahlte Licht detektiert wird. Substanzen, die bei radioaktiver Bestrahlung mit der Emission von Lichtquanten reagieren, nennt man Szintillatoren.

Bei der Flüssigkeitsszintillation wird weiche β -Strahlung (max. Energie von 18,6 keV) gemessen. Hierbei wird die radioaktive Substanz im Szintillator-

system, auch Cocktail genannt, gelöst oder suspendiert. Der Cocktail besteht aus einem Lösungsmittel, einem primären und oft auch einem sekundären Szintillator.

Das β -Teilchen stößt mit einem Lösungsmittelmolekül zusammen und überträgt diesem einen gewissen Teil seiner Energie. Dieser Ablauf wiederholt sich so oft, bis das β -Teilchen so viel Energie transferiert hat, dass es absorbiert werden kann. Die aufgenommene Energie des angeregten Lösungsmittelmoleküls kann durch den Prozess der Phosphoreszenz als Licht abgestrahlt werden. Hierbei muss das Lösungsmittelmolekül, nachdem es durch die Anregung in den Singulett-Zustand versetzt wurde, in den Triplett-Zustand übergehen. Das Molekül verbleibt ca. 10^{-5} bis 10^{-3} Sekunden im Triplett-Zustand, bis es unter Lichtabgabe in den energetischen Grundzustand zurückfällt.

Die vom Lösungsmittel emittierte Strahlung hat üblicherweise eine sehr kurze Wellenlänge, die von handelsüblichen Geräten nicht gemessen werden kann. Aus diesem Grund ist dem Cocktail ein primärer Szintillator beigemischt, der als Fluoreszenz wirkt. Fluoreszenzen nehmen Strahlungen einer gewissen Wellenlänge auf und geben Strahlung einer längeren Wellenlänge ab.

Die Menge an Licht, die von der Szintillationsflüssigkeit nach dem Zusammenstoß mit dem β -Teilchen abgegeben wird, ist sehr klein. Deswegen werden sehr empfindliche Messgeräte wie ein Szintillationszähler benötigt (Abb. 1, S. 19). Das eigentliche Messgerät des Szintillationszählers sind die Photoverstärkerrohre. Ein Ausgangssignal der Photoverstärkerrohre wird nach Anregung durch einen Lichtimpuls abgegeben, das exakt der Zeitabhängigkeit des Lichtimpulses entspricht. Durch eine Koinzidenz-Schaltung wird der Dunkelstrom stark herabgesetzt. Hierbei wird sich zu Nutzen gemacht, dass eine Elektronenfreisetzung aufgrund von Wärme spontan und somit nur in einer der zwei Photoverstärkerrohre auftritt. Die weitergeleiteten Signale werden in einen Impulshöhenanalysator gegeben, der den Wert der Höhe des symmetrischen Impulses bildet.

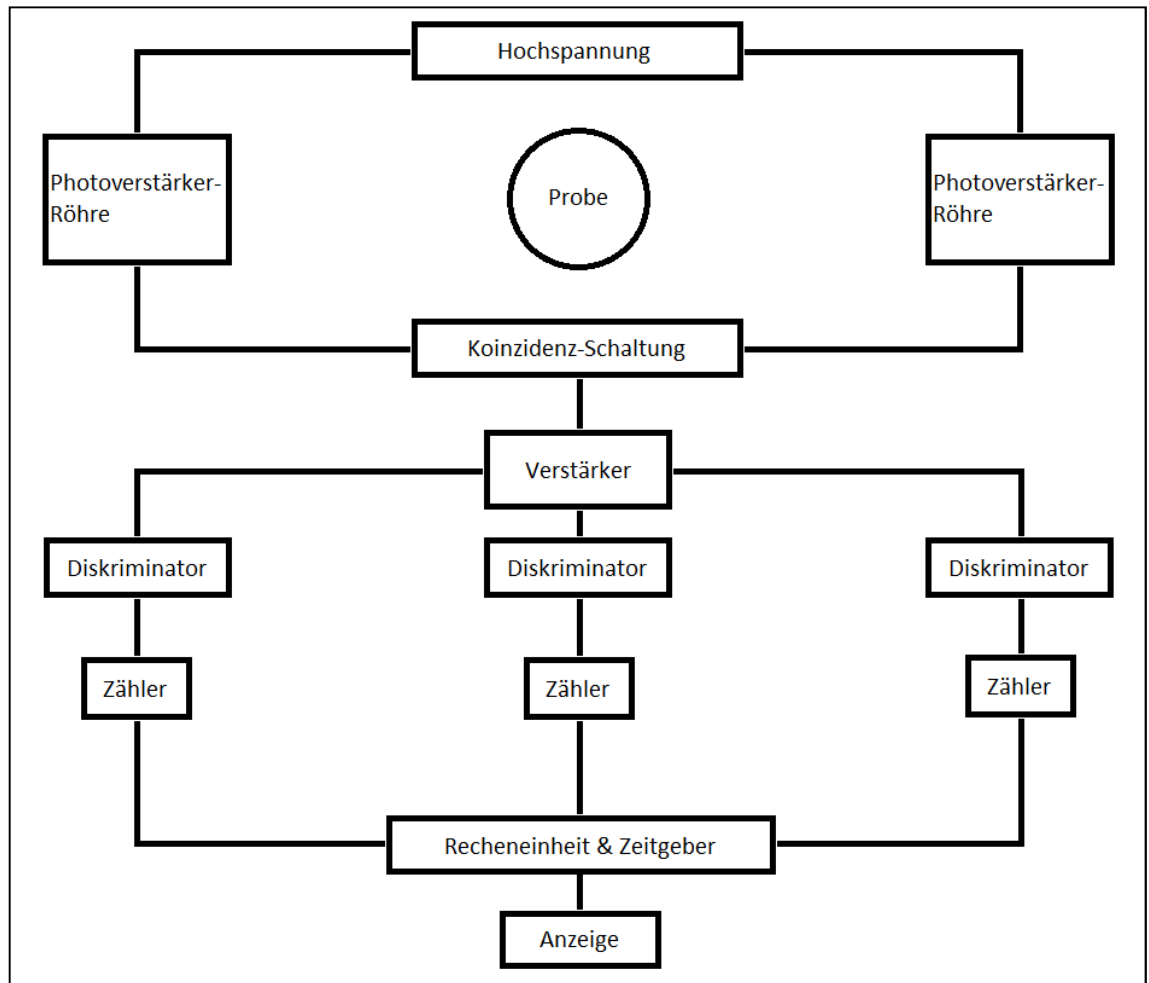


Abb. 1: Aufbau eines Szintillationszählers.

Das Ausgangssignal des Impulshöhen-Analysators wird gleichzeitig in drei identische Schaltungen, den Diskriminatoren, eingespeist. Die Diskriminatoren fungieren als Selektoren und leiten nur Signale mit einer bestimmten Impulshöhe weiter. Die Impulshöhe des Signals eines Diskriminators ist proportional zur Energie des β -Teilchens. Durch die Ergebnisse der Diskriminatoren kann das β -Spektrum erstellt werden. Die Diskriminatoren sind mit einem elektronischen Impulszähler, der an eine Zeituhr und an eine Recheneinheit angeschlossen ist, verbunden. Mittels der Zeituhr kann die Totzeit fast ausgeschlossen werden [12].

3.4.3 Radioaktivität in zahnmedizinischen Studien

Radioaktivität wird in zahnmedizinischen Studien selten verwendet, da stets eine Kontaminationsgefahr besteht. Außerdem wird ein Labor benötigt, welches eine spezielle Zulassung für das Arbeiten mit radioaktiven Stoffen besitzt.

Bereits 1986 erfolgte der Einsatz von ^{14}C -Isotopen in einer Habilitationsschrift [67]. Später wurde die Diffusion verschiedener Stoffe im Dentin ebenfalls mit ^{14}C -Isotopen, unter Anderem mit ^{14}C -Glucose getestet [74]. Die ^{14}C -Markierung wurde eingesetzt, um eine möglichst genaue, quantitative Aussage der jeweiligen Fragestellung zu gewährleisten. Die Messung radioaktiver Impulse ist äußerst sensitiv und geht über die Präzision optischer Verfahren hinaus.

4. Problemstellung

Reste von Kalziumhydroxid beeinträchtigen die Sealereigenschaften sowie Dichtigkeit und Qualität der definitiven Wurzelkanalfüllung. Es kommen im klinischen Alltag diverse Spülungen, Spülmengen und Techniken zur Anwendung, um das Medikament aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen.

Ziel dieser Studie war es zum einen, eine Methode zu entwickeln, die eine exakte, quantitative Messung des verbleibenden Kalziumhydroxids nach der Spülung des Wurzelkanals ermöglicht. Die Methode sollte präzise, reproduzierbar und standardisierbar sein und eine quantitative Messung vorweisen. Zum anderen sollte anschließend mit dieser Methode die Effizienz und Abhängigkeit der Kalziumhydroxid-Entfernung von der Spülmenge getestet werden. Dabei stand die Praxisrelevanz im Vordergrund. Das benötigte Spülvolumen sollte nicht zu hoch sein, da der Versuchsaufbau zeitlich klinischen Anforderungen entsprechen sollte.

Als Nullhypothese dieser Studie wurde angenommen, dass zwischen den einzelnen Spülmengen kein Unterschied hinsichtlich der Entfernbareit des Medikaments aus dem Wurzelkanalsystem besteht.

5. Material und Methode

5.1 Vorversuche

Die Vorversuche stellten einen wesentlichen Teil der Arbeit dar und waren die Grundlage für die Durchführung des Hauptversuchs. Relevante Fragestellungen, die zur Ermittlung der praktikabelsten und präzisesten Methode führten, sollten beantwortet werden. Dabei mussten Fehlerquellen aufgedeckt und analysiert werden.

Im ersten Schritt wurde ein Kalziumhydroxid-haltiges Medikament radioaktiv markiert. Auf diese Weise konnte die nach der Entfernung der Einlage noch im Wurzelkanal verbleibende Menge genau bestimmt werden. Dabei stellte die Übung des Arbeitens mit Radioaktivität einen wesentlichen Teil der Vorversuche dar. Außerdem musste die Höhe der Anmarkierung eruiert werden, welche quantitativ sichere Ergebnisse im Hauptversuch gewährleisten konnte.

Die Methode musste im zweiten Schritt etabliert werden. Sie sollte praxisnahen Voraussetzungen genügen, um eine klinische Relevanz zu erreichen und standardisiert angewendet werden zu können. Auch hier stand neben den Bestrebungen der Durchführbarkeit die Übung im Mittelpunkt. Zum Schluss wurde die angewendete Methode durch einen Vorversuch mit in Formalin eingelegten Zähnen bestätigt (siehe Abb. 4, Seite 25).

Anfangs wurde untersucht welches Kalziumhydroxidpräparat die grundlegend besten Eigenschaften für einen standardisierbaren Versuchsaufbau hatte. Selbstgemischte Pasten ließen sich aufgrund mangelnder Konsistenzstabilität wesentlich schlechter verarbeiten. Außerdem wurde die Viskosität des Fertigpräparates durch Zugabe der geringen Menge an ^{14}C -Glucose kaum verändert. Deshalb wurde Calxyl® (OCO-Präparate® GmbH) favorisiert. Anschließend musste festgelegt werden, welche Substanz zur radioaktiven Markierung genutzt wird und wie hoch die zu verwendende Radioaktivität sein sollte. Die Wahl fiel hierbei auf ^{14}C -Glucose (Perkin Elmer, Boston, MA 02118 USA). Sie lag in Lösung mit Ethanol (1:9) vor und konnte gut dosiert und verdünnt werden. In

den folgenden Kalibrationsversuchen (Abb.2&3, S.23) zeigte sich, dass eine Verdünnung auf $100\mu\text{l}=100\text{kBq}$ ausreichend ist um kleinste Mengen der verbleibenden Paste reproduzierbar zu detektieren. Zusätzlich konnte bei dieser Verdünnung die effektive Menge der ^{14}C -Glucose so gering gewählt werden, dass sie weder das Medikament noch dessen Diffusionsverhalten entscheidend beeinflusste.

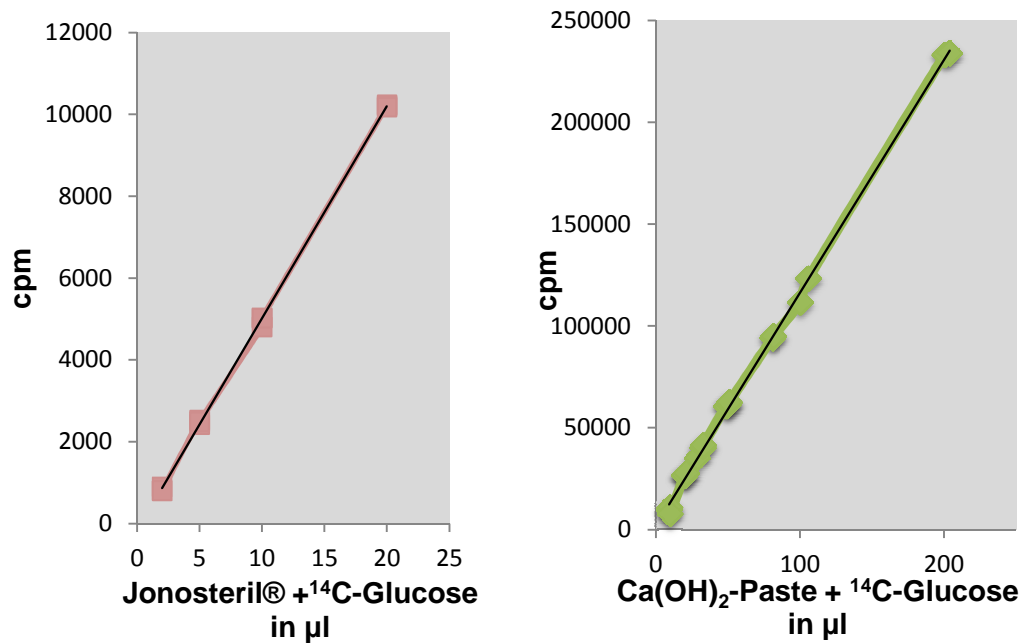


Abb.2 & 3: Kalibrationskurven ^{14}C -Glucose ($100\mu\text{l}=100\text{kBq}$) mit Jonosteril® und ^{14}C -Glucose ($100\mu\text{l}=100\text{kBq}$) mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Paste.

Anschließend wurden das Mischen der einzelnen Komponenten sowie die Verarbeitung der radioaktiven Paste geprüft. Hierbei stellte sich heraus, dass die ursprüngliche Idee die gesamte, benötigte Menge herzustellen nicht praktikabel war, da keine exakte Homogenität dieser großen Menge gewährleistet werden konnte. Deshalb wurde auf einer Alufolie, welche im Anschluss verworfen werden musste, jede Probe im exakt gleichen Mengenverhältnisverhältnis direkt vor Versuchsbeginn angemischt. Darüber hinaus wurde beschlossen die Homogenität jeder einzeln angemischten ^{14}C -Glucose-Kalziumhydroxid-Paste zu bestimmen und die exakte radioaktive Markierung zu detektieren indem von jeder Paste drei Proben (je 20 mg) entnommen und gemessen wurden. Als Nächstes mussten die Probenzähne präpariert werden. Hierbei folgte vieles dem Grundsatz der Standardisierung. So sollten alle Zähne auf eine einheitliche Länge

gekürzt und bis zur Größe .06/#40 maschinell aufbereitet werden. Zusätzlich wurde eine Längskerbe in oro-vestibulärer Richtung eingefräst, die die spätere Spaltung des Zahnes erleichtern sollte.

Nun konnte der Versuchsablauf, welcher sich in zwei Teile gliederte, festgelegt werden. Anfangs erfolgte das Auftauen und Trocknen der präparierten Zähne. Ein Ständer aus Silikon musste angefertigt werden, damit der Zahn während des Versuches stand. Nun wurden der Probenzahn und die auf Arbeitslänge gekürzten Guttaperchaspitze gewogen, um deren Gewicht vom gefüllten Zahn zu subtrahieren und die Menge des eingebrachten Kalziumhydroxids zu ermitteln. 197 mg des Calxyls® sollten mit 5 µl ¹⁴C-Glucose (100µl =100kBq) auf einer Alufolie vermengt und mit einem Lentulo #25 eingebracht werden. Zusätzlich wurde der Guttaperchastift eingebracht und der Zahn mit Schaumstoffpellets versäubert. Nun konnte das Endgewicht des gefüllten Zahnes bestimmt werden. Gleichzeitig wurden drei Standards entnommen, die zur Ermittlung der exakten radioaktiven Markierung jeder Probe dienen sollten. Abschließend wurden die Zähne koronal adhäsiv mit einem fließfähigen Komposit verschlossen und für sieben Tage in Cups mit Jonosteril® bei 35°C inkubiert. Nach Ablauf der Inkubationszeit wurden die Zähne erneut getrocknet und der adhäsive Verschluss entfernt. Nun konnte die Guttapercha entfernt und in festgelegten Intervallen abwechselnd mit Natriumhypochlorit und Zitronensäure gespült werden. Danach wurde der Kanal mit Papierspitzen getrocknet und der Zahn in flüssigen Stickstoff eingelegt, um ihn entlang der Kerbe zu brechen. Abschließend wurde der Zahn zusammen mit 10 ml Szintillationsflüssigkeit in dafür vorgesehene Fläschchen gegeben und die Impulsrate des im Zahn verbliebenen radioaktiv markierten Calxyls® im Szintillationszähler gemessen bis konstante Ergebnisse messbar waren.

Nach Festlegung des Versuchsablaufs sollte dieser nun anhand zweier Vorversuche bestätigt werden. Dieser wurde an Zähnen, welche in Formaldehyd gelagert waren, vollzogen.

Im 1.Versuch wurden sechs Zähne wie oben beschrieben aufbereitet, abgefüllt, verschlossen, gelagert und eröffnet. Anschließend sollte mit einer Wechselspü-

lung die medikamentöse Einlage entfernt werden. Hierbei wurden 2 ml Natriumhypochlorit und 2 ml Zitronensäure verwendet, wobei in acht Intervallen zu je 0,5 ml gespült wurde. Initial wurde Zitronensäure verwendet. Dies geschah unter der Annahme, dass sich der Kanal besser trocken lässt, wenn NaOCl abschließend verwendet wird.

Es wurde eine Paste von 202 mg aus radioaktiver ^{14}C -Glucose und Calxyl® angemischt. In dieser Paste war $5\mu\text{l}$ ^{14}C -Glucose enthalten, so dass sich in 1 mg Paste $0,02475\mu\text{l}$ ^{14}C -Glucose befinden. Dies entspricht der physiologischen Glucosekonzentration im Blutplasma. Es war anzumerken, dass die theoretischen Counts pro $1\mu\text{l}$ ^{14}C -Glucose bei 60000 lagen, allerdings konnte diese vom Szintillationszähler nicht gemessen werden, da die Zählhausbeute beachtet werden musste. Dazu kamen auch eventuelle Fehler im Mischen des radioaktiven Calxyls®. Um den Prozentsatz zu ermitteln, der bei der jeweiligen Mischung und so bei dem jeweiligen Zahn von den 60000 Counts gemessen wurde konnte wurden drei Standards gemessen. Dieser Wert wurde bei der Berechnung der ursprünglich im Zahn befindlichen Counts angewandt.

Es konnten aus den 6 Zähnen durchschnittlich 86,7 % entfernt werden (Abb. 4, S.25)

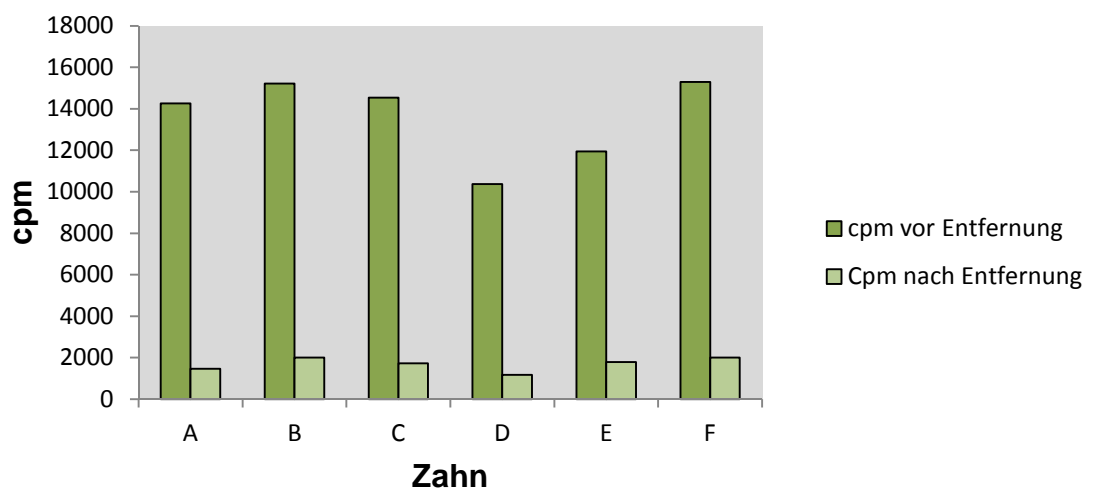


Abb. 4: Reinigungsleistung mit 4 ml Wechselpülung (Vorversuch 1).

Zahn	eingebraachte Menge in mg	% im Kanal	% entfernt	cpm vor Entfernung	cpm nach Entfernung
A	10,3	10,3	89,7	14256,8	1461,4
B	11,7	13,2	86,8	15221,6	2014
C	10,7	11,9	88,1	14540,3	1735,7
D	7,4	11,2	88,8	10374,7	1166,4
E	9,5	15	85	11950,2	1791,1
F	10,8	13,1	86,9	15301,8	2002,4

Tab. 1: 1. Vorversuch: Reinigungsleistung mit 4 ml Wechselspülung,
 % im Kanal = verbliebendes Calxyl®, % entfernt = entferntes Calxyl®,
 cpm vor Entfernung = errechnete Impulsrate nach Applikation, cpm nach
 Entfernung = gemessene Impulsrate nach Entfernung.

Im zweiten Versuch wurden fünfzehn in Formaldehyd gelagerte Zähne verwendet (Abb. 5, S. 27). Diese wurden randomisiert in drei Gruppen zu je fünf Stück aufgeteilt. Als Auswahlkriterium war hier die Karies-, und Füllungsfreiheit der Wurzeln entscheidend. Der Versuchsaufbau und dessen Durchführung sowie die radioaktive Markierung wurden genau wie Vorversuch 1 vollzogen. Der Unterschied belief sich hauptsächlich in der Spülmenge. So wurde die erste Gruppe (A-E) mit insgesamt 1 ml Spüllösung, d.h. mit 0,5 ml Zitronensäure und 0,5 ml NaOCl, die zweite Gruppe mit insgesamt 2 ml (F-J) und die dritte Gruppe insgesamt mit 4 ml (K-O) gespült. Darüber hinaus wurde in jedes Szintillationsfläschchen noch 2 ml Wasser zur besseren Löslichkeit von Calxyl® hinzugegeben. Ziel des Versuches war es zu ermitteln, ob und wie sich die unterschiedlichen Spülmengen auf die Quantität des im Wurzelkanal verbleibenden Materials auswirken. Die Zugabe von destilliertem Wasser sollte die Löslichkeit von Calxyl® vereinfachen und beschleunigen. Allerdings wurden dadurch die Ergebnisse schlechter. Das heißt, dass die Werte der Standards fast alle weit unter einer Zählausbeute von 90 % lagen. Grund hierfür war, dass beigemischtes Wasser wesentlich mehr Szintillationsflüssigkeit erfordert, was in diesem Versuch nicht erfolgte. Es wurden weiterhin 5 ml Szintillationsflüssigkeit verwendet. Demnach musste im Hauptversuch von einer Wasserzugabe absehen werden. Auf die Gesamtergebnisse hatte dies keinen großen Einfluss, da durch die Berechnung über die Standards dieser Fehler rechnerisch aufgehoben wurde.

Zahn	% im Kanal	% entfernt	Zahn	% im Kanal	% entfernt	Zahn	% im Kanal	% entfernt
Gruppe 1 1 ml Spüllösung			Gruppe 2 2 ml Spüllösung			Gruppe 3 4 ml Spüllösung		
A	8,3	91,7	F	7,3	92,7	K	7,5	92,5
B	11,0	89,0	G	8,2	91,8	L	14,1	85,9
C	8,2	91,8	H	9,3	90,7	M	7,0	93,0
D	10,9	89,1	I	14,6	85,4	N	15,4	84,6
E	17,1	82,9	J	17,3	82,7	O	18,9	80,1

Tab. 2: 2. Vorversuch: Reinigungsleistung mit 1, 2 und 4 ml Wechselspülung, % im Kanal = verbliebenes Calxyl®, % entfernt = entferntes Calxyl®.

Die Ergebnisse dieses Versuches wiesen keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Spülvolumen auf. Die Spülmenge beeinflusste die Reinigungsleistung nicht im angenommenen Maße.

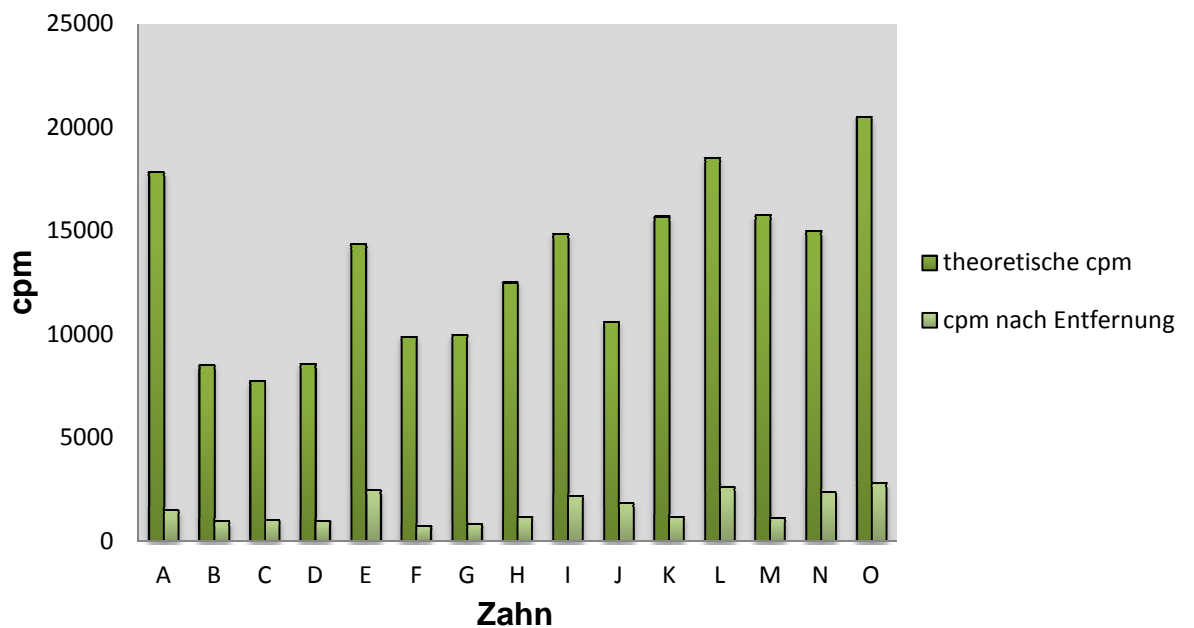


Abb. 5: Reinigungsleistung mit 1 (A-E), 2 (F-J) und 4 ml (K-O) Wechselspülung (2. Vorversuch).

5.2 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Für die in vitro Studie wurden 50 extrahierte, einwurzelige menschliche Zähne verwendet, die weder kariöse Läsionen im Wurzelbereich, ein nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, vorherige endodontische Behandlung noch eine Fraktur aufwiesen. Zusätzlich wurden 20 Zähne, die dieselben Kriterien erfüllten, für die Kontrollgruppen ausgewählt.

Die Zähne lagerten unmittelbar nach der Extraktion für 2-4 Wochen in ChloraminT, um vorhandene Bakterien zu eliminieren. Anschließend wurden die Zähne bis zu deren Aufbereitung eingefroren.

Die aufgetauten Zähne wurden mit Scalern von Zahnstein und Weichgewebsresten gesäubert. Danach folgte die Kürzung des Zahnes mit einer diamantierten Trennscheibe (Dicke 0,2 mm) auf eine Länge von 15 mm. Die Probenzähne wurden mit einem zylinderförmigen Diamantschleifer sowie einem roten Winkelstück trepaniert, wodurch anschließend der Wurzelkanal mit einem Kerr-Räumer ISO-Größe 10 und 15 gängig gestaltet werden konnte. Es folgte die maschinelle Aufbereitung der Zähne bis 1 mm vor Apex unter Wechselspülung. Diese setzte sich aus 3%iger NaOCl und 40%iger Zitronensäure zusammen und fand bei jedem Instrumentenwechsel statt. Mit FlexMaster® Nickel-Titan-Instrumenten konnte der Kanal nach der Crown-Down-Technik bis zu einer ISO-Größe 40, Taper.06 erweitert werden. An der vestibulären und oralen Wurzelfläche musste je eine Längsrille als Sollbruchstelle für den später durchzuführenden Gefrierbruch angelegt werden. Dies geschah mit der Trennscheibe (Dicke 0,2 mm), ohne den Wurzelkanal zu perforieren. Anschließend lagerten die vorbereiteten Zähne in Jonosteril®.

Vor Versuchsbeginn wurde die Kanalgängigkeit mit einem Kerr Räumer ISO-Größe 10 erneut kontrolliert und eine Abschlusspülung (2 ml 40%ige Zitronensäure, 2 ml 3%iges NaOCl, 2 ml 70%iges Ethanol) vorgenommen. Die Wurzelkanäle konnten nach der Ethanolspülung mit Papierspitzen der ISO-Größe 40, Taper.04 getrocknet werden, bis diese augenscheinlich keine Flüssigkeit mehr aufnahmen. Es folgten noch 2 weitere Papierspitzen, um einen

möglichst trockenen Kanal zu gewährleisten. Anschließend wurde die Apikalregion von außen mit fließfähigem Komposit (GandioFlow WO) verschlossen, um beim Abfüllen und Entfernen des Medikaments eine Extrusion zu vermeiden (Abb. 6, S.29).



Abb. 6: Ein vorbereiteter Probenzahn vor Medikamentenapplikation.

5.3 Medikamentenapplikation und Lagerung

5.3.1 Gewichtsbestimmung

Die Menge des Medikaments, die in den Wurzelkanal eingebracht werden konnte, ließ sich durch Wiegen mittels einer Präzisionswaage (Typ R160P, Sartorius GmbH Göttingen) bestimmen. Nach gründlichem Trocknen des Probenzahnes wurde dieser in einen vorher angefertigten Silikonständer gestellt. Das Eigengewicht des Zahnes vor Medikamentenapplikation (Abb. 7, S.30) wurde ebenso wie das Gewicht des Guttaperchastifts gemessen. Nachdem das Calxyl® und die Guttapercha in den Zahn eingeführt worden waren, musste dieser erneut gewogen werden. Auf diese Weise konnte durch Subtraktion die in den Kanal eingebrachte Menge an Calxyl® bestimmt werden. Durch weitere Berechnungen über Standards war es möglich, die Menge an Radioaktivität zu ermitteln.



Abb. 7: Einwiegen des Probenzahnes im Silikonständer.

5.3.2 Radioaktive Anmarkierung

In dieser Studie galt es das verwendete Kalziumhydroxidpräparat Calxyl® radioaktiv anzumarkieren, um es mittels eines Szintillationszählers messen zu können. Das Calxyl® (Abb. 8, S.30) wurde für jeden Zahn neu abgewogen und mit Glucose D-[^{14}C (U)] (Abb. 9, S.30) versetzt.



Abb. 8: Calxyl®.



Abb. 9: Glucose D-[^{14}C (U)].

Ein nahezu gleiches Mischungsverhältnis bei allen Zähnen konnte erreicht werden, indem immer die gleiche Calxyl®-Menge von 197 mg verwendet wurde. Zur radioaktiven Markierung mussten anschließend 5 μl ^{14}C -Glucose

hinzupipettiert werden. Die beiden Komponenten wurden mit einem Anrührspatel auf einer mit Alufolie beschichteten Glasplatte manuell vermengt. Um Abweichungen der Mischungsverhältnisse zu korrigieren, wurden von jeder Anmarkierung 3 Probemengen von etwa 20 mg entnommen und diese als Standards im Szintillationszähler mit 10 ml Szintillationsflüssigkeit gemessen. Über Mittelwertberechnung konnte die individuelle Markierung jeder einzelnen Probe bestimmt werden.

5.3.3 Medikamentenapplikation

Das radioaktiv anmarkierte Calxyl® wurde mit einem Lentulo ISO-Größe 25, Taper.02 in den Wurzelkanal eingebracht. War der Kanal mit dem Medikament vollständig ausgefüllt, wurde ein abgemessener Guttaperchastift ISO-Größe 40, Taper.04 in diesen eingeführt. Der Kanaleingang wurde koronal mit einem Schaumstoffpellet versäubert. Damit der Kanal für die Lagerung optimal abgedichtet werden konnte, erfolgte ein koronal adhäsiver Verschluss mit flüssigem Komposit (GaudioFlow WO).

5.3.4 Lagerung

Die gefüllten und adhäsiv verschlossenen Zähne lagerten einzeln in kleinen Cups mit Jonosteril® (Abb. 10, S.32). Jonosteril® ist eine isotone Infusionslösung. Die Cups wurden für 7 Tage in einem Inkubator bei 35 °C gelagert. Auf diese Weise sollte das Mundmilieu simuliert werden.

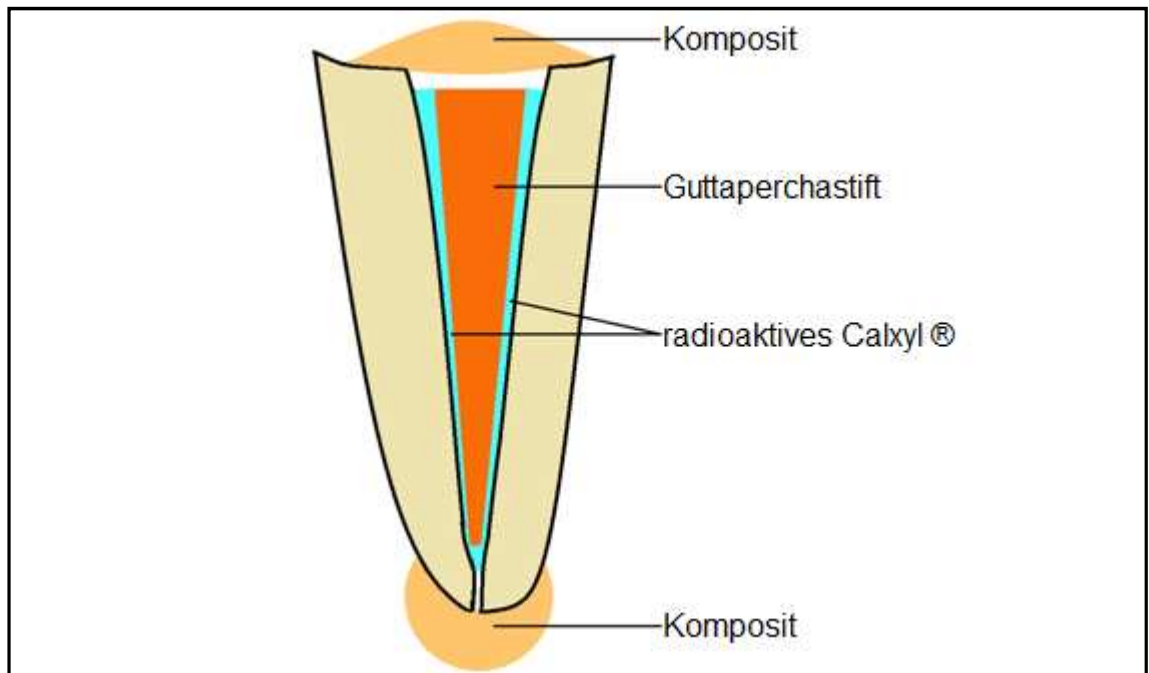


Abb. 10: Schematische Darstellung eines abgefüllten und mit Komposit verschlossenen Probenzahnes.

5.4 Entfernung des Medikaments

5.4.1 Wechselspülung

Die 50 Probenzähne wurden in 5 Gruppen zu je 10 Zähnen randomisiert eingeteilt. Der koronale, adhäsive Verschluss musste mit Hilfe eines Scalers ebenso wie die Guttapercha entfernt werden. Die Entfernung des radioaktiven Calxyls® erfolgte wie dargestellt (Tab.3, S.32) durch eine Wechselspülung aus 40%iger Zitronensäure und 3%igem NaOCl. Dabei wurde in Intervallen von je 0,5 ml gespült (ausgenommen Gruppe 1, hier wurde ein Intervall von 0,25 ml gewählt).

Gruppen	Spülmenge in ml	Spülintervall in ml
1	0,5	0,25
2	1,0	0,5
3	2,0	0,5
4	4,0	0,5
5	8,0	0,5

Tab. 3: Gruppeneinteilung der Probenzähne.

Bei der Spülung musste darauf geachtet werden, dass die Kanüle (Durchmesser 0,3 mm) nur bis 3 mm vor anatomischen Apex, also 2 mm vor Arbeitslänge, eingeführt wurde. Dies konnte mit einem justierten Gummistopper kontrolliert werden. Für jeden Wurzelkanal wurden neue Endo-Kanülen und Luer-Lock-Spritzen verwendet. Abschließend erfolgte die Trocknung des Wurzelkanals mit Papierspitzen ISO-Größe 40, Taper.02.

5.4.2 Gefrierbruchverfahren

Die Probenzähne erhielten, wie bereits erläutert, auf der Wurzelaußenfläche kontralateral Längsrillen als Sollbruchstellen. Nachdem die Zähne nun gespült und getrocknet worden waren, wurden sie für 2 min in flüssigen Stickstoff bei -196°C getaucht und mit einer spitzen Furrerzange entlang dieser Sollbruchstelle halbiert. Im Idealfall lagen zwei Wurzelhälften mit offenem Kanal vor. Resultierten mehrere Fragmente und der Kanal war an allen Stellen offen, war dies für diese Studie irrelevant (Abb. 11, S.33). Lag der Kanal an einer Stelle noch nicht offen, wurde der Zahn mit einer Beißzange nochmals gebrochen, bis alle Kanalwände für die Szintillationsflüssigkeit zugänglich waren. Es folgte das Einlegen der Fragmente in Plastikadapter, so genannte Szintillationsfläschchen mit 10 ml Szintillationsflüssigkeit.



Abb. 11: Längsspaltung des Probenzahnes nach dem Gefrierbruchverfahren.

5.5 Messung

Die Messung des nach Entfernung im Kanal verbliebenen Calxyls® erfolgte über die eingesetzten radioaktiven ^{14}C -Isotope in dem LKB Wallac 1409 Liquid Scintillation Counter (EG&G Berthold, Bad Wildbach, Deutschland). Die Probenzähne und Standards befanden sich in Szintillationsflüssigkeit, die es ermöglichte, die radioaktiven Ereignisse zu messen (Abb. 12, S.34). Der Szintillationszähler gibt die Anzahl an Zerfällen, die vom Detektor aufgefangen werden in Impulsen pro Minute (cpm = counts pro minute) wieder. Nach 10 Tagen wurden die Proben mehrmals gemessen, um sichere, konstante Ergebnisse zu erhalten. Dies dauerte pro Zahn und Standard je 10 min. Die Impulsrate, die sich vor Entfernung des Medikaments im Kanal befand und durch Berechnung ermittelt worden war, wurde zu der abschließend durch den Szintillationszähler gemessenen ins Verhältnis gesetzt. So konnte ein prozentueller Wert für die Reinigungsleistung ermittelt werden. Auf diese Weise können mit diesem Versuchsaufbau verschiedenste Entfernungsmethoden gegeneinander getestet und ihre Effizienz eindeutig überprüft werden.



Abb. 12: Messen der Proben im Szintillationszähler - Plastikadapter & Raketts.

5.6 Kontrollgruppen

Zur Verifizierung der Methode wurden mit jeweils 10 Zähnen eine Positivkontrolle und eine Negativkontrolle durchgeführt. Letztere bestand darin die Zähne im präparierten Zustand in 10 ml Szintillationsflüssigkeit zu geben und anschließend die Impulsrate zu bestimmen. Die Positivkontrolle erfolgte hinsichtlich Aufbereitung und Abfüllen äquivalent zum angegebenen Versuchsaufbau. Allein die möglichen Entfernungsmethoden wurden ausgespart. Nach Durchführung des Gefrierbruchverfahrens wurde die radioaktive Strahlung der gesamten eingebrachten radioaktiven Kalziumhydroxidpaste gemessen.

5.7 Statistik

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch das Statistikprogramm SPSS win® 17.0 (SPSS Inc, Chicago, USA).

Für die Analyse der verbliebenen Menge an radioaktivem Calxyl® im Wurzelkanal wurden folgende Testprogramme herangezogen:

- Kolmogorov-Smirnov-Test
- Oneway-ANOVA-Test
- Student-Newman-Keuls-Prozedur

Der allgemeine Signifikanz-Wert wurde bei $p \leq 0.05$ festgelegt.

5.8 Flowcharts (Abb. 13, S.37)

1. Leergewicht des getrockneten Probenzahnes bestimmen
2. Gewicht der auf Kanallänge gekürzten Guttapercha bestimmen
3. 197 mg Calxyl abwiegen (auf Glasplatte mit Alufolie)
4. 5 µl ^{14}C -Glucose hinzu pipettieren und mit Spatel homogen vermengen
5. 3x 20 mg für Standards in Szintfläschen entnehmen, mit jeweils 10 ml Szintillator versetzen und gut mischen
6. Calxyl® mit Lentulo in Kanal einbringen und adaptieren
7. Guttapercha einbringen und mit Schaumstoffpellet versäubern
8. Endgewicht des abgefüllten Zahnes bestimmen
9. Koronal adhäsiv mit Flowable Komposit verschließen
10. Probenzahn in Cup mit Ringerlösung geben und verschließen
11. Cups im Inkubator für 7 Tage bei 35°C lagern

Während dieser Lagerungszeit werden die Standards im Flüssigkeitsszintillationszähler gezählt und ausgewertet. Die Menge des eingebrachten Calxyls® kann berechnet werden.

12. Cups aus Inkubator nehmen und Zähne trocknen
13. Adhäsive Verschluss mit Scaler entfernen
14. Medikamentöse Einlage mit festgelegtem Volumen Wechselfspülung entfernen
15. Kanal mit Papierspitzen trocknen
16. Zahn für ca. 30 s in flüssigen Stickstoff werfen
17. Herausnehmen und mit Furrerzange der Kerbe entlang knacken
18. Zahn in Szintillationsfläschchen geben und 10 ml Szintillator dazugeben

Jetzt kann das im Kanal verbliebene Calxyl® bestimmt werden und somit die prozentuale Entfernung.

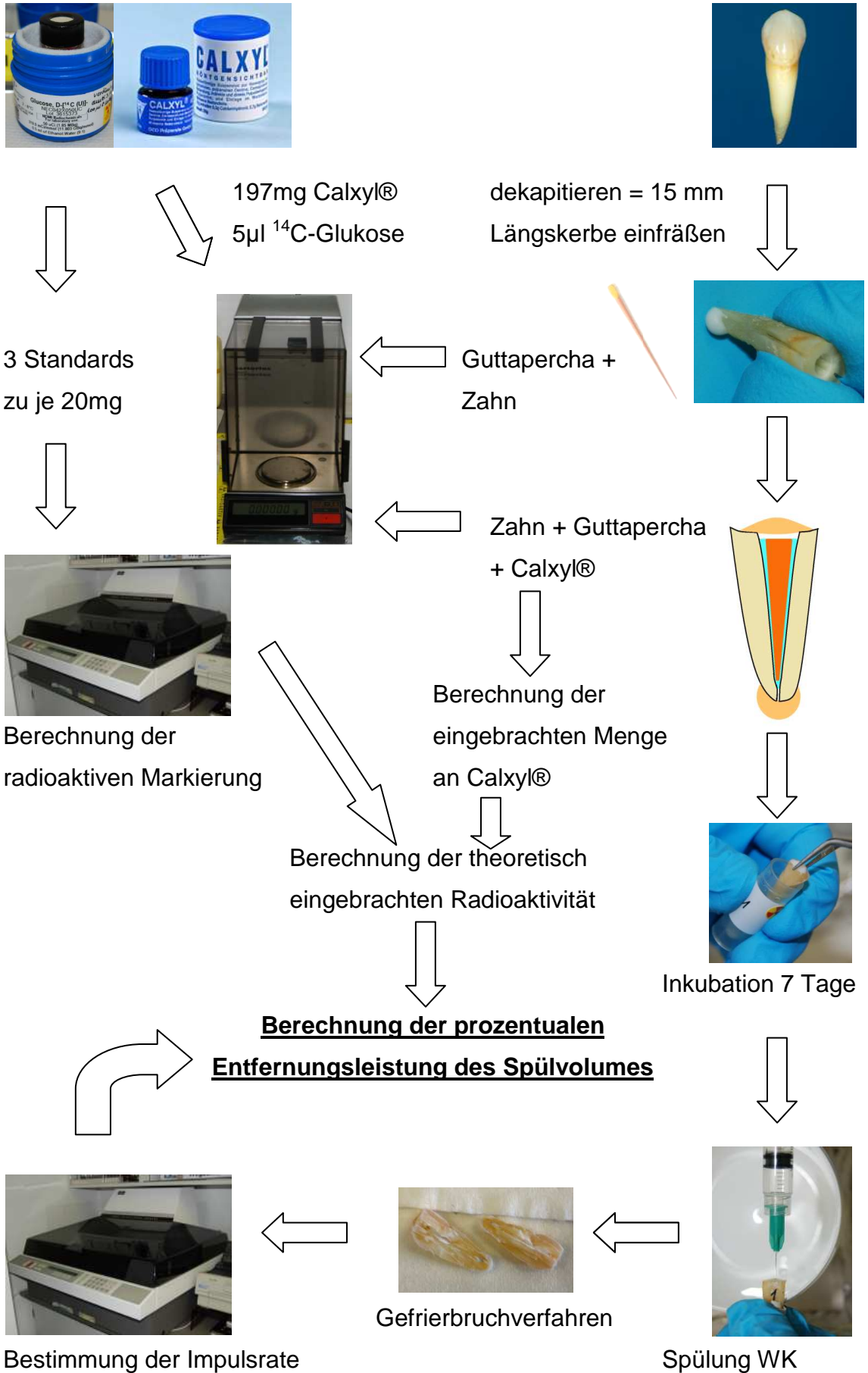


Abb.13: Flowcharts zum verwendeten Versuchsaufbau

6. Ergebnisse

6.1 Werte

Nachdem die Impulsrate der ^{14}C -Glucose im verbliebenen Calxyl® aller 70 Probenzähne ausgezählt war, konnte die Auswertung erfolgen. Dabei wurden die Einzelwerte hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die jeweilige Gruppe und die Gruppen untereinander verglichen. Im Mittelpunkt stand die Abhängigkeit der Reinigungsleistung von dem eingesetzten Spülvolumen.

Bei der Negativkontrolle konnte gezeigt werden, dass praktisch keine radioaktive Strahlung von den Probenzähnen abgegeben wurde (Mittelwert 0,0001 %). In der Auswertung der Positivkontrolle wurde deutlich, dass im Mittel 98,55 % der theoretisch errechneten Impulsrate auch praktisch nachweisbar waren. Somit konnte erwiesen werden, dass die Methode quantitativ eindeutige Ergebnisse mit geringer Streuung aufzeigt (Abb.14, S.38).

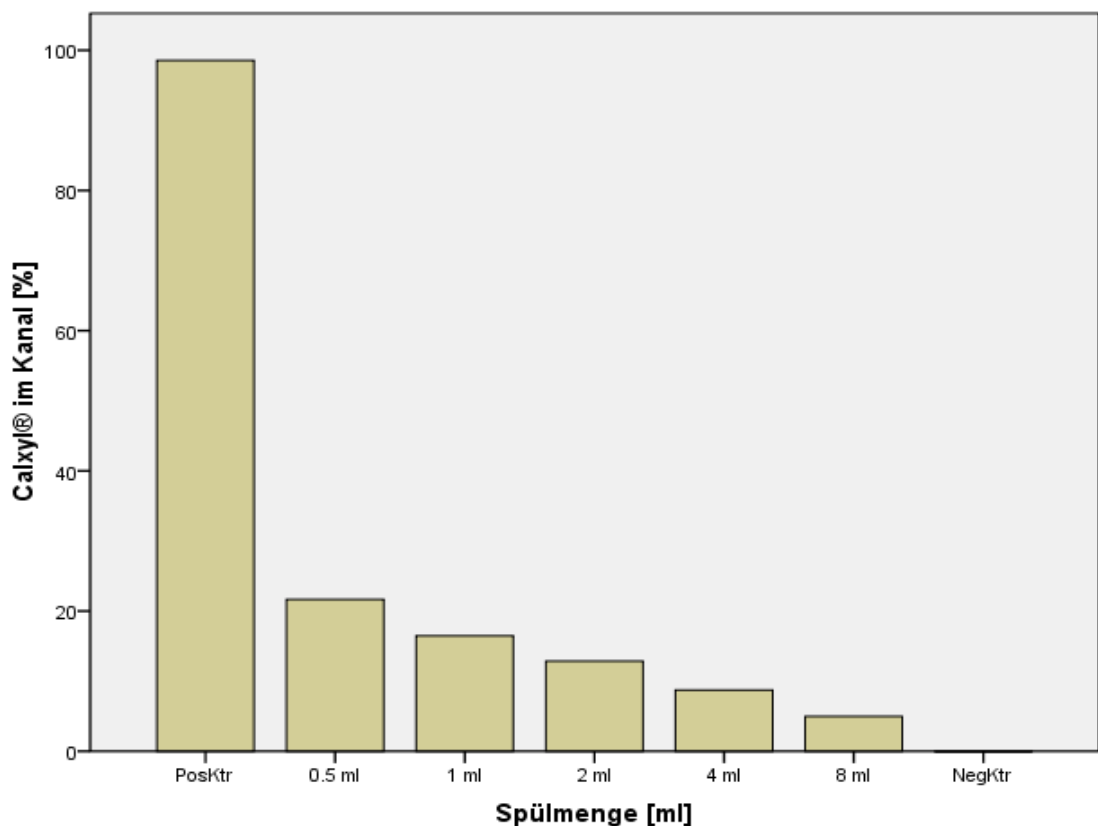


Abb. 14: Restmenge an Calxyl® im Kanal der Gruppen1-5 (Gruppe 1: 0,5 ml , Gruppe 2: 1 ml, Gruppe 3: 2 ml, Gruppe 4: 4 ml, Gruppe 5: 8 ml Wechselspülung) mit Kontrollgruppen (Positiv- und Negativkontrollgruppe).

Die in Gruppe 1 applizierten 0,5 ml Wechsspülung (0,25 ml Zitronensäure & 0,25 ml Natriumhypochlorit) wiesen in den Ergebnissen nicht nur die schlechteste Reinigungsleistung, sondern auch die größte Streuung der Einzelwerte auf. Schon während des Gefrierbruchverfahrens konnten rein visuell große Rückstände erkannt werden, die nach radiographischer Messung zwischen 15 % - 30 %, im Mittel bei ca. 22 % lagen (Abb. 15, S.40).

Das doppelte Spülvolumen, das in Gruppe 2 (1 ml: 0,5 ml Zitronensäure & 0,5 ml Natriumhypochlorit) angewendet wurde, zeigte eine bessere Reinigungsleistung bei deutlich geringerer Streuung der Einzelwerte (12 % - 20 %). Nichtsdestotrotz wurde hier ein Calxyl®-Rest von gemittelt 17 % bestimmt.

In Gruppe 3 (2 ml: 1 ml Zitronensäure & 1ml Natriumhypochlorit in Intervallen zu je 0,5 ml) konnten wiederum weniger Rückstände von 11 % - 15,5 % gemessen werden (Mittelwert 13 %). Außerdem stellte sich hier die geringste Streuung der Werte untereinander dar.

Gruppe 4 (4 ml Spülung: 2 ml Zitronensäure & 2 ml Natriumhypochlorit, in Intervallen zu je 0,5 ml) zeigte eine durchschnittliche Reinigung von 91,3 % bei vergleichsweise größerer Abweichung der einzelnen Werte voneinander.

In Gruppe 5 ergab sich eine mittlere Reinigungsleistung von etwa 95 %. Selbst die Einzelwerte liegen einheitlich über 90 %. Die Streuung nahm hier erneut leicht ab.

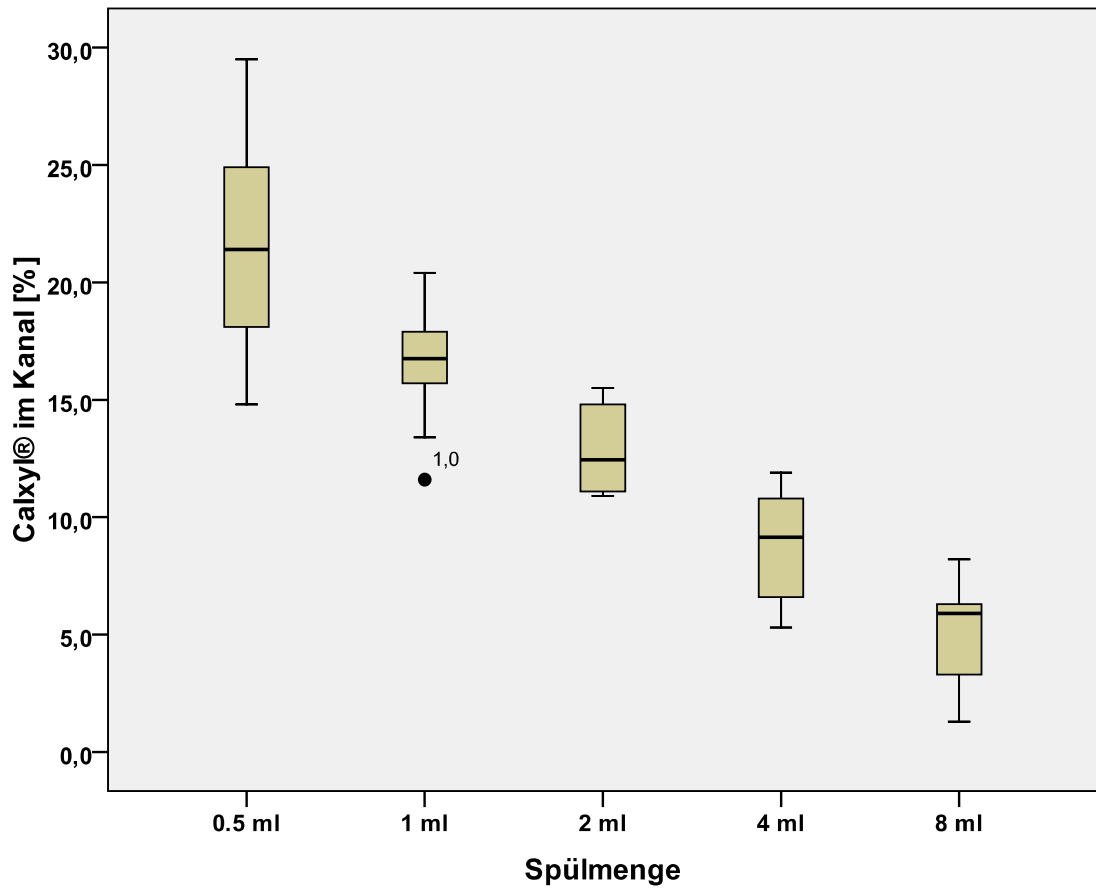


Abb. 15: Restmenge an Calxyl® im Kanal nach den Spülungen mit 0,5 ml, 1 ml, 2ml, 4 ml und 8 ml.

Gruppe 2, 3, 4 und 5 verdeutlichen im Diagramm den nahezu direkt proportionalen Zusammenhang zwischen Reinigungsleistung und Spülvolumen. Die Mittelwerte dieser Gruppen unterschieden sich prozentual mit zunehmender Spülmenge deutlich.

6.2 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte durch Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest, Oneway-ANOVA und Student-Newman-Keuls-Prozedur. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zeigt eine Normalverteilung der Einzelwerte für die Entfernung innerhalb der Gruppen. Im Oneway-ANOVA sowie in der Student-Newman-Keuls-Prozedur kann eine deutliche Signifikanz zwischen den Gruppen und damit zwischen den unterschiedlichen Spülmengen erkannt werden (Tab.4, S.41).

Gruppe	N	Prozentualer Rückstand der Einlage im Kanal (Mittelwert in %)				
		1	2	3	4	5
8 ml	10	4,98				
4 ml	10		8,73			
2 ml	10			12,87		
1 ml	10				16,48	
0.5 ml	10					21,68
Signifikanz		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Standardabweichung		2,2543	2,3688	1,8821	2,5063	4,8159

Tab. 4: Statistische Auswertung Student-Newman-Keuls-Prozedur für homogene Untergruppen.

6.3 Auswertung

Kleine Spülvolumen wie 0,5 ml oder 1 ml können weder reproduzierbar noch ausreichend die medikamentöse Einlage entfernen. Bei den vorliegenden Ergebnissen lässt sich für diese Spülmengen der Erfolg der Entfernung ausschließen. Trotzdem wird schon hier eine deutliche Verbesserung der Entfernung von 0,5 ml zu 1 ml erreicht. Steigert man die Spülmenge weiter, so erhält man bei jeder Verdopplung statistisch signifikant bessere Ergebnisse, die sich nicht zuletzt durch ihre geringere Standardabweichung bzw. Streubreite der Einzelwerte auszeichnen. Ab einem Volumen von 4 ml wird im angewendeten Versuchsaufbau im Mittelwert über 90% des eingebrachten Medikaments reproduzierbar entfernt.

Bei Gruppe 5 (8 ml Gesamtpülung) können sogar 95% der Einlage entfernt werden. Da die Reinigungsleistung zwischen den einzelnen Gruppen zwar signifikant größer wird, aber prozentual nicht konstant bleibt, sondern abnimmt, kann man vermuten, dass sich das Kalziumhydroxidpräparat durch reine Wechselfspülung mit Zitronensäure und Natriumhypochlorit nicht vollständig entfernen lässt. Vielmehr wird sich ab einer gewissen Spülmenge die Reinigungsleistung asymptotisch an einen Wert größer 0 annähern (Abb. 16, S.42).

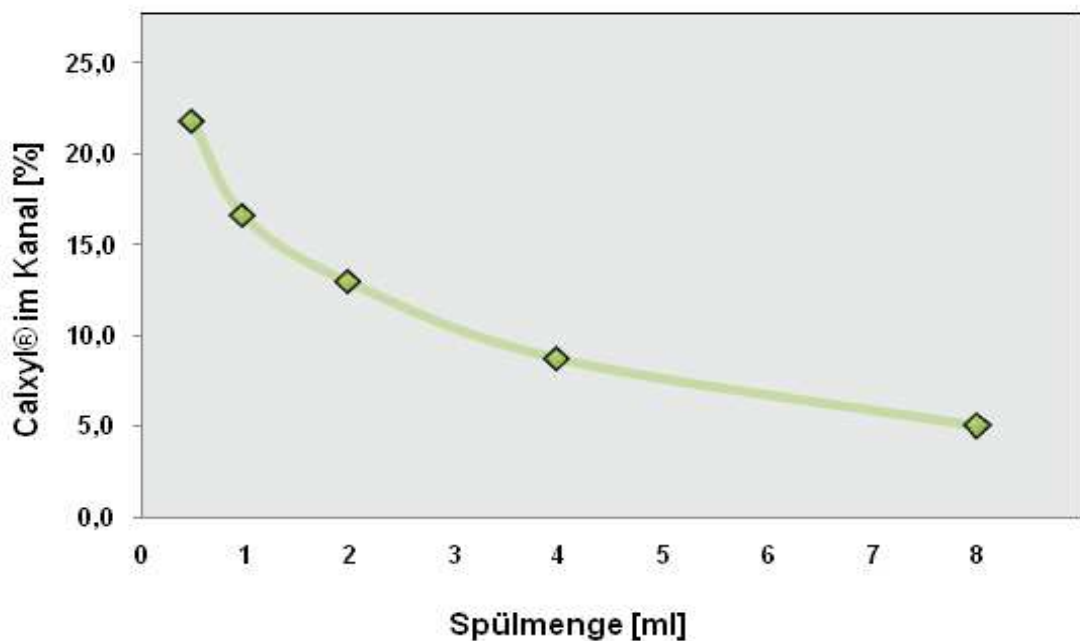


Abb. 16: Mittelwerte der einzelnen Gruppen.

7. Diskussion

7.1 Studiendesign

7.1.1 Radioaktivität

Der Nachweis von radioaktiver ^{14}C -Glucose ist die Basis der gewählten Methode. In der vorliegenden Studie wurde die Mengenanalyse des nach Entfernung noch im Kanal befindlichen Medikaments durch Szintillation vorgenommen. Hierfür wurde radioaktive ^{14}C -Glucose mit Calxyl® versetzt und in den Kanal eingebracht. Durch Gewichtsbestimmung des Medikaments und zusätzliche Entnahme von 3 Standards, die über Mittelwertbestimmung die genaue radioaktive Markierung verdeutlichen, war es möglich, die Impulsrate der eingebrachten Einlage zu berechnen. Nach der Entfernung der medikamentösen Einlage wurde der Zahn longitudinal geteilt, um ihn in der Szintillationsflüssigkeit der Messung des Zählers zugänglich zu machen. Über das Verhältnis der gemessenen, noch im Wurzelkanal befindlichen Radioaktivität und der errechneten Impulsrate der eingebrachten ^{14}C -Glucose, konnte auf die Reinigungsleistung der verschiedenen Spülmengen geschlossen werden.

^{14}C -Glucose wurde als radioaktive Anmarkierung in sehr geringen Mengen verwendet. In dieser Studie orientierte man sich an der physiologischen Plasmakonzentration von körpereigener Glucose und der Glucosekonzentration von venösen Infusionslösungen. Die radioaktive Glucose verschiebt das Diffusionsgleichgewicht nicht und die Gefahr der Diffusion ins Dentin aus dem Medikament heraus ist äußerst gering und konnte in den Vorversuchen ausgeschlossen werden [74].

Bei der Verwendung von radioaktiven Stoffen ist immer auf ein sauberes und besonders aufmerksames Arbeiten zu achten, da stets Kontaminationsgefahr besteht. Aus diesem Grund und da ein etwaiges Depot an vorgefertigtem markierten Medikament nicht konsistenzstabil und außerdem nicht homogen bleibt, wurde jede einzelne medikamentöse Einlage neu angemischt.

Trotz der Verwendung immer gleicher Mengen unterscheiden sich die hergestellten radioaktiven Konzentrationen minimal. Es konnte nicht davon ausgegangen werden, dass trotz gleicher Mengen und möglichst homogenen Mischens auch immer dieselbe Konzentration an ^{14}C -Glucose in der jeweilig verwendeten Portion Calxyls® vorhanden ist. Um diesen Fehler auszuschließen wurden von jeder angemischten Menge drei Proben als Standards entnommen und ausgezählt. Über Mittelwertberechnung konnte eine konkrete Aussage zur Homogenität der Mischung und zu deren Anmarkierung getroffen werden.

Letztlich wurde die Menge des eingebrachten Calxyls® berechnet, d.h. indirekt bestimmt. Der Rückschluss von theoretischen Werten auf praktische birgt ein gewisses Fehlerpotential, ergibt aber im Versuch eindeutige, reproduzierbare Ergebnisse. Dies konnte bereits in den Vorversuchen erfolgreich getestet und somit als Fehlerquelle ausgeschlossen werden. Das Medikament, das sich nach Entfernung noch im Kanal befindet, wird direkt gezählt, wodurch lediglich der Fehler des Zählers einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Diese Ungenauigkeit nennt man Zählhausbeute. Ein Szintillationszähler kann niemals alle ausgesendeten Lichtquanten absorbieren. Daher konnte bei diesen Geräten von einer Zählhausbeute von ca. 90 % ausgegangen werden [12]. In Kalibrierungen, die im Rahmen der Vorversuche absolviert wurden, ließ sich für das verwendete Gerät eine Zählhausbeute von 92,5 % ermitteln. Der Fehler, der in jedem Wert der Zählhausbeute zu finden ist, konnte dadurch entsprechend korrigiert werden.

Bei der Anwendung von Radioaktivität ist es von Vorteil, dass der Zahn erst nach dem vollständigen Versuchsablauf gebrochen werden musste. Demgemäß war der Wurzelquerschnitt und dessen Kanaloberfläche während der gesamten Prozedur unverändert und entsprach den physiologischen Bedingungen. In den meisten früheren Studien zu diesem Thema wurden die Zähne vor der Entfernung geteilt, längsgerichtet in Sektoren aufgeteilt und Fotos aufgenommen. Es folgte die Analyse mittels digitaler Bildgebung, um später nach der Eliminierung die Flächen zu messen, die noch von Kalziumhydroxid bedeckt waren [48, 49, 73, 94]. Nachteil der optischen Untersuchung ist, dass nur die oberflächlich bedeckten Flächen beurteilt werden können. Hingegen können bei der Analyse durch die Messung von Radioaktivität alle Reste vom verbleiben-

den Medikament erfasst werden. Das Medikament löst sich in der Szintillationsflüssigkeit und wird somit messbar.

Ein weiteres Problem der optischen Auswertung liegt im Zählsystem. Der rein visuelle Nachweis durch einen oder mehrere Beobachter birgt die Gefahr subjektiver Fehler [73, 94]. Bei der bildgebenden Analyse ist eine menschliche Beurteilung zwischengeschaltet. Diese erfolgt nicht so genau wie die maschinelle Auswertung über den Szintillationszähler. Durch eine objektivierbare maschinelle Quantifizierung, die durch den Flüssigkeitsszintillationszähler gewährleistet wird, muss lediglich ein wiederkehrender, immer gleich großer Fehler ermittelt und nivelliert werden. Die Zählung kann mehrfach wiederholt werden. So lassen sich etwaige Fehler oder Schwankungen auf ein Minimum reduzieren. Darüber hinaus ist die Messung von Radioaktivität extrem genau und selbst geringste Mengen werden zuverlässig nachgewiesen und mit konkreten Zahlenwerten wiedergegeben [12].

7.1.2 Vorbereitung der Zähne

Grundvoraussetzung bei der Gestaltung der Zähne ist die Standardisierung, um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsergebnisse zu erreichen. Diese Studie basiert – wie viele andere ebenso [44, 48, 49, 62, 73, 76, 94] – auf der Untersuchung menschlicher Zähne. Auf diese Weise konnte mit den in vivo auftretenden Einflüssen wie Schmierschicht, Kanalbeschaffenheit sowie Interaktion zwischen Medikament und Dentinoberfläche gearbeitet werden. Es wurde angestrebt, in Form und Anatomie ähnliche Zähne zu verwenden. Um dies zu gewährleisten wurden einwurzelige Ober- und Unterkieferfrontzähne ausgewählt.

Es musste ausgeschlossen werden, dass sich die extrahierten Zähne im Laufe des Versuches degenerativ verändern. Deshalb wurden die Zähne konserviert und somit vorhandene Bakterien eliminiert. In einigen Studien wird dies durch eine Lagerung in Formaldehyd-Lösung erreicht. Jedoch degeneriert Formaldehyd die kollagene Eiweißstruktur des Dentins nach etwa 2 Wochen und verän-

dert so die Dentintubuli. Alternativ ist die Aufbewahrung in ChloraminT möglich, das heute als Standardlösung zur Konservierung extrahierter Zähne zählt. Es bewirkt erst nach mehr als 4 Wochen einen Dentinumbau [42, 58]. Um diesen zu verhindern, wurden die Zähne zusätzlich nach der Lagerung in ChloraminT eingefroren. Hierdurch sollten jegliche Umbauprozesse gestoppt werden. Eine Rissbildung im Zahn ließ sich durch vorherige Trocknung desselben vermeiden.

Anschließend erfolgte die Dekapitierung der Zähne. So wurden alle Kanäle auf eine einheitliche Länge von 15 mm gekürzt. Zusätzlich erleichterte diese den Zugang zum Kanal und reduzierte damit die Kontaminationsgefahr beim Umgang mit radioaktiven Stoffen.

Ein möglichst gleiches Volumen der Wurzelkanäle sollte durch die maschinelle Aufbereitung mit FlexMaster® Nickel-Titan-Instrumenten erreicht werden. Den Herstellerangaben gemäß wurde nach der Crown-Down-Technik bis zu einer ISO-Größe 40, Taper.04 aufbereitet. Der konvexe Dreikantquerschnitt der Instrumente mit deren scharfen Schneidekanten garantiert einen schnellen und effektiven Dentinabtrag. Mögliche Abweichungen erklären sich durch die Verwendung von NiTi-Instrumenten, die dem Kanalverlauf folgen und weniger zur Kanalbegradigung führen als Stahlinstrumente. Die bewährten Instrumente von FlexMaster® zeigen nur geringe Abweichungen im Wurzelkanal. Sie hinterlassen einen kreisrunden Querschnitt und sind vom Behandler nicht wesentlich beeinflussbar [30, 78].

Die eingefrästen Längskerben dienen dem späteren Gefrierbruchverfahren, bergen jedoch die Gefahr der Perforation des Kanals. Deshalb wurden die Zähne im Anschluss daran visuell mit Hilfe einer Polymerisationslampe kontrolliert und perforierte Zähne aussortiert.

Ein apikaler Verschluss mit Flowable-Komposite verhindert die Extrusion der Einlage beim Abfüllen. Außerdem garantiert dieser, dass während der Lagerung und der Spülung keine Flüssigkeit durch den Apex dringen kann. Besonders wichtig war der apikale Verschluss zur Vermeidung von radioaktiver Kontamination.

Die Anzahl der Zähne wurde auf 10 pro Gruppe festgelegt und ist, wie andere Studien zeigen ausreichend, um eine Signifikanz zu erzeugen [62, 76]. Die Einteilung erfolgte randomisiert.

7.1.3 Versuchsaufbau

Im Hinblick auf die Standardisierung bot sich die Verwendung von Calxyl® für diese Untersuchung an, da so ein gleichbleibendes Mischungsverhältnis der einzelnen Komponenten gewährleistet werden konnte. Durch Zugabe von flüssiger, radioaktiver ^{14}C -Glucose zur Calxyl®-Paste wurde deren Konsistenz kaum verändert. Darüber hinaus weist die industrielle Mischung des Medikaments in den Vorversuchen auch eine bessere Viskositäts- und Konsistenzstabilität als eigenhändig angemischte Präparate auf. Trotz allem reagiert Kalziumhydroxid mit dem CO_2 -Anteil der Luft, so dass auf eine zügige Verarbeitung geachtet werden musste.

Das radioaktiv anmarkierte Substrat wurde mit einem Lentulo eingebracht. Die Lentulo-Spirale ist in der Beförderung der Kalziumhydroxidpaste bis auf Arbeitslänge am effektivsten [8]. Das Einbringen des Medikaments mit dem Lentulo stellt eine etablierte Methode dar und wird von vielen Autoren favorisiert [19, 64, 80, 90]. Für jeden Probenzahn wurde ein neuer Lentulo verwendet. Im Falle einer Wiederverwendung hätte nicht ausgeschlossen werden können, dass radioaktive ^{14}C -Glucose der vorangegangenen Probe mit eingebracht worden wäre.

Um die Menge an radioaktiver Calxyl®-Paste auf den relevanten Anteil zu beschränken, wurde in jedem Kanal zusätzlich zur Einlage ein gekürzter Guttaperchastift eingeführt. Es konnte davon ausgegangen werden, dass der Teil der Calxyl®-Paste schwerer zu entfernen ist, der die Kanalwand penetriert. Der ungebundene Teil in der Mitte des Kanals würde keine Probleme beim Entfernen darstellen, sondern lediglich die prozentuale Reinigungseffizienz steigern.

Die Säuberung des Kanaleingangs und die adhäsive Abdeckung erfolgten so, dass ein absolut dichter Verschluss garantiert werden konnte. Die Verwendung von Komposit zum Verschließen der Kanäle nach Applikation der medikamentösen Einlage wird von einigen Autoren bevorzugt [38, 101]. Für diese Untersuchung war es aufgrund der verwendeten Radioaktivität besonders wichtig, dass kein Austausch mit der Umgebung stattfand. Aufgrund des leichteren und verlustärmeren Entfernens des Verschlusses nach der Lagerung wurde auf jegliches Anätzen oder Dentinbonding verzichtet.

Die Probenzähne lagerten in der Infusionslösung Jonosteril® bei 35 °C für 7 Tage. Durch das Einlegen in die physiologische Flüssigkeit und die nachempfundene Temperatur, die etwas niedriger als die des Körpers ist, sollte das Mundmilieu simuliert werden. Die Lagerungszeit orientierte sich an den Aussagen von *Hülsmann* zu der empfohlenen Verweildauer von Medikamenten im Wurzelkanal von 7-10 Tagen [38]. Auch andere Studien halten sich an diesen Zeitrahmen [48, 62, 73].

Das eingebrachte Calxyl® konnte unter Verwendung einer Wechselfspülung aus 40%iger Zitronensäure und 3%iger NaOCl-Lösung entfernt werden. Zitronensäure erlangt in vielen Studien sehr gute Ergebnisse bei der Entfernung von Debris und Kalziumhydroxid, da sie anorganische Substanzen gut lösen kann [16, 25, 73, 100]. Eine zusätzliche Spülung mit Natriumhypochlorit verbessert diese nicht [73]. Zitronensäure zeigt bessere Ergebnisse als EDTA [62]. Durch Spülung in Intervallen sollte die bei Kontakt von Zitronensäure und NaOCl auftretende Chlorgasreaktion, die zu einer starken Bläschenbildung führt, einen mechanischen Effekt auf die Kalziumhydroxid-Entfernung ausüben.

Die Wechselfspülung wurde in unterschiedlichen, sich steigernden Mengen durchgeführt. Somit ließen sich signifikante und reproduzierbare Ergebnisse ermitteln. Für die Spülungen kamen Luer-Lock-Spritzen zum Einsatz. Nach *Haapasalo et al.* werden Spritzengrößen mit einem Fassungsvermögen zwischen 1 ml und 5 ml favorisiert [32]. Argument hierfür ist die Maximierung von Sicherheit und Kontrolle über die Spülung. Dadurch kann eine apikale Extrusion oder ein Emphysem vermieden werden. In dieser Studie wurden Spritzen mit

einer Größe von 3 ml eingesetzt. Die Kanülen hatten einen Durchmesser von 0,30 mm und verfügten über ein gerades, offenes Ende. In der aktuellen Literatur werden Kanülen mit einem etwas breiteren Durchmesser bevorzugt, da dadurch eine bessere Spülleistung garantiert werden kann [32]. Auch die hier verwendete Nadelform ist eine der effektivsten [6]. Das Vordringen der Kanüle in die Apikalregion ist für eine ausreichende Spülwirkung entscheidend. Bei der verwendeten Spülkanüle und der Aufbereitungsgröße von ISO-Größe 45, Taper.04 war dies unproblematisch. Die Kanüle wurde bis auf 2 mm vor Aufbereitungsgröße zurückgezogen, um einen Abfluss der Spülflüssigkeit nach koronal zuzulassen. Dies ist in vivo besonders wichtig, da sonst die Gefahr einer Injektion ins periapikale Gewebe besteht [38].

Die Auswertung des nach Spülung und Trocknung noch verbliebenen radioaktiven Calxyls® erfolgte durch Szintillations-Spektrometrie. Der Flüssigkeitsszintillationszähler ist jedoch nur in der Lage Radioaktivität zu messen, die direkten Kontakt zur Szintillationsflüssigkeit hat [12]. Deshalb mussten die Innenflächen der Wurzelkanäle mit Hilfe des Gefrierbruchverfahrens so frei gelegt werden, dass dies möglich war. Eventuelle Versprengungen abgesplitteter Fragmente wurden durch Abdecken mit Alufolie während des Spaltens vermieden. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der Verwendung einer Trennscheibe war, dass keine Kontaminationsgefahr bestand und kein radioaktives Calxyl® verloren gehen konnte. Die halbierten Zähne wurden für mehrere Tage in 10 ml Szintillationsflüssigkeit eingelegt. Währenddessen sollten sich die radioaktiven ^{14}C -Glucose-Moleküle in der Szintillationsflüssigkeit lösen. So konnte deren β -Strahlung erfasst werden. Die einzelnen Werte wurden so lange gemessen, bis eine reproduzierbare Stabilität der Ergebnisse nachgewiesen werden konnte.

7.1.4 Methodenkritik

Der angewandte Versuchsaufbau soll einer endodontischen Behandlung in den relevanten Punkten entsprechen. Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine in vitro Studie, bei der die Realität bestmöglich simuliert wurde. Die

einzelnen Schritte sind, wenn möglich, äquivalent zur klinischen Behandlung übernommen worden.

Aus diesem Grund wurde die Entfernung der medikamentösen Einlage aus dem gesamten Wurzelkanalsystem am menschlichen Zahn untersucht. Andere Studien haben die Reinigungsleistung verschiedener Spülprotokolle an Rillen und Mulden erforscht [73, 94]. Definierte Mulden lassen sich besser standardisieren als das komplexe System des gesamten Wurzelkanals. Die Entfernung des Calxyls® in Wurzelkanälen zu bestimmen, ist allerdings wesentlich näher an der Praxis. In diesem Punkt wurde dem möglichst klinisch orientierten Versuchsaufbau der Vorzug vor einer absolut standardisierten Untersuchung gegeben.

Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte immer nach dem gleichen Verfahren auf eine einheitliche Länge und Größe. Jedoch konnten nicht in allen Kanälen die gleichen Mengen an Kalziumhydroxidpaste appliziert werden. Dies mag einer individuellen Abweichung bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle geschuldet oder die Folge eines blasigen Einbringens sein. Letztlich hatten die unterschiedlich eingeführten Mengen an Calxyl® keinen Einfluss auf das spülmengeabhängige Ergebnis der Entfernung, weil dieses relativ zur eingebrachten Masse betrachtet wurde.

Die ausgewählte Wechsellösung aus Zitronensäure und NaOCl deckt nicht das gesamte Spektrum der Spüllösungen ab und kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder maximale Effektivität erheben. Die Reinigungsleistung sollte hinsichtlich der Spülmenge beurteilt werden. Folglich mussten die gleichen Spüllösungen zur Anwendung kommen, um standardisierte und signifikante Ergebnisse zu erhalten. In anderen Studien wurde bereits festgestellt, dass besonders Zitronensäure, aber auch die Kombination mit NaOCl gute Ergebnisse bei der Entfernung von Kalziumhydroxid erlangen [73, 76]. Es müssten weitere Untersuchungen unternommen werden, um die effektivste Spüllösung oder Kombination zu ermitteln.

Das Verfahren der radioaktiven Anmarkierung ist nicht das gebräuchlichste in zahnmedizinischen Studien. Die Messung der Radioaktivität über Szintillations-

Spektrometrie ist ein kompliziertes Verfahren und stellt hohe Anforderungen an das Arbeiten mit radioaktiven Stoffen. Die Methode und der zeitliche Ablauf der einzelnen Schritte mussten deswegen in Vorversuchen entwickelt werden. Das erarbeitete Versuchsprotokoll wurde anschließend in kleinen Testreihen auf mögliche systematische und individuelle Fehlerquellen geprüft. Nachdem die Methode in ihrem Aufbau und ihrer Durchführung funktionierte und hinreichend eindeutige sowie reproduzierbare Ergebnisse lieferte, konnte sie für diese Studie eingesetzt werden. Darüber hinaus können mit Hilfe dieses Versuchsprotokolls andere Entfernungsmethoden getestet werden.

7.2 Ergebnisse

Die vollständige Entfernung der medikamentösen Einlage konnte durch keine der angewendeten Spülmengen erreicht werden. Mit zunehmendem Spülvolumen wurde allerdings eine signifikante Verbesserung der Reinigungsleistung erreicht. Geringe Spülmengen zwischen 0,5 ml und 2 ml pro Kanal erwiesen sich in ihrer Reinigungsleistung als ineffektiv. Eine Restmenge von 15 % des ursprünglich in den Wurzelkanal eingebrachten Calxyls® ist nicht zufriedenstellend. Die meisten Studien, die sich der Problemstellung der Entfernung von Kalziumhydroxid widmen, verwenden größere Spülvolumen. Abhängig von der jeweiligen Methode reichen sie bis zu 50 ml pro Kanal [48, 49, 73, 76, 94]. Des Weiteren werden in vielen Studien meist zusätzliche Irrigationstechniken, wie Ultraschallaktivierung oder erneutes Instrumentieren, gebraucht [49, 94].

Die Praxisrelevanz und die Umsetzbarkeit im Behandlungsalltag standen im gegenwärtigen Versuchsaufbau im Vordergrund, so dass bis zu einem maximalen Gesamtvolumen von 8 ml gespült wurde. Selbst bei einer Spülmenge von 8 ml pro Kanal ist die Durchführung zeitintensiv. Jedoch zeigt die Wechselspülung mit diesem Volumen das signifikant beste Ergebnis mit einer Entfernung von 95% der eingebrachten medikamentösen Einlage. Es stellt sich die Frage, wie stark eine verbleibende Menge von 5 % Kalziumhydroxid im Wurzelkanal die definitive Wurzelfüllung beeinflusst. Die Beeinträchtigung durch Kalziumhydroxid im Besonderen bezüglich der Sealer wird kontrovers diskutiert [8, 45,

56, 69]. Einerseits soll ein Rest von 5 % medikamentöser Einlage in Form von Kalziumhydroxid die Wurzelkanalfüllung und die Sealereigenschaften kaum beeinflussen [11, 56]. Andererseits wird berichtet, dass sich unabhängig von der Entfernungsmethode nach Kalziumhydroxidapplikation insbesondere die Sealereigenschaften verschlechtern [69]. Dementsprechend garantieren die ermittelten Daten nicht, dass eine Spülmenge von 8 ml, bei alleiniger Wechselfspülung die medikamentöse Einlage ausreichend entfernt. Nichtsdestotrotz stellt das Ergebnis die Notwendigkeit eines ausreichenden Spülvolumens zur Entfernung der temporären medikamentösen Einlage heraus. Diesbezüglich sollte berücksichtigt werden, dass die ermittelten Daten sich ausschließlich auf gerade Wurzelkanäle beziehen und die Ergebnisse bei gekrümmten Wurzelkanälen vermutlich schlechter wären.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass eine vollständige Entfernung des Calxyls® nicht erzielt werden konnte. Jedoch konnte der größte Teil des Medikaments entfernt werden. Vermutlich beeinflusst jegliches im Kanalsystem verbleibendes Kalziumhydroxid die Qualität der Wurzelkanalfüllung negativ.

7.3 Vergleich zur aktuellen Literatur

Die Problemstellung dieser Studie wurde in den letzten Jahren mehrfach auf unterschiedliche Arten untersucht und kontrovers diskutiert. Die Ergebnisse divergieren mehr oder minder. Alle Studien sind sich in einem Punkt einig: Es gibt momentan kein Verfahren, mit dem es möglich ist, die temporäre medikamentöse Einlage in Form von Kalziumhydroxid vollständig aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen.

Um eine Standardisierung zu erreichen, wurden einwurzelige, einkanalige Frontzähne oder Unterkiefer-Prämolaren genutzt. Die Anzahl der verwendeten Probenzähne ist meist relativ ähnlich. Abhängig von den getesteten Parametern werden, wie im angewendeten Versuchsprotokoll, häufig 10 Zähne in einer Gruppe zusammengefasst [48, 62, 76].

Trotzdem gibt es einige Unterschiede, die sich auf die Vorgehensweise beziehen und zu hinterfragen sind. Mehrere Untersuchungen bedienen sich des Studiendesigns von *Lee et al.* (2004), wobei Kerben in den Wurzelkanal der Probenzähne gefräst werden. Dies dient, abhängig von der Fragestellung der jeweiligen Studie, dem standardisierten Nachweis von zurückgebliebenem Debris oder Kalziumhydroxids [51, 52, 73, 94]. Obwohl die Standardisierung der Methode erfolgreich ist, entsprechen diese Kerben nicht der natürlichen Komplexität des Wurzelkanalsystems [73].

In nahezu allen Studien werden die Probenzähne vor dem Entfernen des Kalziumhydroxidpräparates der Länge nach gebrochen. Dies geschieht entweder vor oder nach dem Abfüllen [44, 48, 49, 62, 73, 76, 94]. Ob ein Wurzelkanal aus reponierten Zahnhälften physiologisch exakten Bedingungen entspricht, ist fraglich. Deshalb wurden die Zähne in der vorliegenden Untersuchung erst nach dem Entfernen des Medikamentes longitudinal gebrochen.

Die Aufbereitung des Wurzelkanals erfolgt in den erwähnten Studien immer maschinell. Abhängig von den verwendeten NiTi-Feilen kommt die Step-back- oder die Crown-Down-Technik zum Einsatz. Die finale Aufbereitungsgröße wird systemabhängig bestimmt und abschließend die apikale Gängigkeit ebenfalls mit einer K-Feile kontrolliert. Simultan dazu wurden hier die Kanäle mit einem Endostepper® und FlexMaster®-Feilen bis zur Master-Feilengröße .06/#40 präpariert. Auch in Verschluss, in der Lagerung bei ca. 35 °C und der Lagerungsdauer von 7-10 Tagen stimmen alle herangezogenen Studien überein [44, 48, 49, 62, 73, 76, 94].

Vergleicht man die aktuelle Literatur, fällt auf, dass alle Verfahren zur Auswertung rein optisch durchgeführt werden. Während in mehreren Fällen Beobachter das Ergebnis mikroskopisch evaluieren [73, 76, 94], werden in anderen Arbeiten Flachbrettscanner, Computerprogramme oder Computertomographie zur Analyse herangezogen [48, 49, 62]. Optische Nachweismethoden haben den Nachteil, dass lediglich die oberflächliche Schicht des zurückgebliebenen Kalziumhydroxids beurteilt werden kann [73]. Um dieses Problem zu bewältigen, wird das Medikament in dieser Studie radioaktiv markiert. Somit kann über den

Nachweis der zurückbleibenden Radioaktivität indirekt eine sehr präzise Aussage über die prozentuale Entfernung gegeben werden. Zudem wird die Objektivität gesteigert, da die maschinelle Auswertung durch den Flüssigkeitsszintillationszähler reproduzierbarer ist als die durch mehrere Beobachter [73]. Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Untersuchung mit anderen aktuellen Studien ist schwierig, da die optische Auswertung meist mit Hilfe eines Scores und nicht mittels prozentualer Zahlenangaben erfolgt.

7.4 Ausblick

Die Entfernung medikamentöser Einlagen mit Hilfe einer Spülung bestehend aus der Kombination Zitronensäure und Natriumhypochlorit ist ab einem Gesamtvolumen von 8 ml pro Kanal zu empfehlen. Durch die häufigen Spülintervalle und die damit verbundenen Standzeiten im Kanal können gute Ergebnisse bezüglich der Reinigungsleistung erzielt werden. Auch wenn das Resultat zufriedenstellend ist, muss die Alltagstauglichkeit hinterfragt werden. Der zeitliche Aufwand könnte im Behandlungsalltag unter Umständen zu hoch sein. Eine Verringerung der Spülmenge sollte jedoch nicht erfolgen, da bei alleiniger Spülung ein ausreichendes Volumen über den Erfolg der Entfernung entscheidet.

Zusätzlich zur Spülung sind verschiedene Systeme zur mechanischen Manipulation bekannt. Beispielsweise wird das zusätzliche Instrumentieren mit der apikalen Masterfeile auf Arbeitslänge empfohlen [39]. Auch die passive Ultraschallaktivierung ist sehr gut untersucht und wird zur Reinigung des Wurzelkanalsystems angewendet [93]. Seit kurzem wird auch die Verwendung von Kanalbürstchen diskutiert und untersucht [68]. Die Liste der Methoden ließe sich noch weiterführen, wobei die genannten 3 Systeme zu den umsetzbaren zählen, die im finanziellen und zeitlichen Rahmen einer endodontischen Behandlung im Praxisalltag liegen dürften. Es wäre interessant zu prüfen, ob man mit Hilfe dieser Methoden einerseits eine noch bessere Reinigungsleistung erreichen kann und andererseits, ob eine zusätzliche mechanische Manipulation das notwendige Spülvolumen bei gleichguten Ergebnissen reduzieren kann. Diese Fragestellung sollte in einer weiteren Studie überprüft werden.

8. Literaturverzeichnis

1. **Balvedi RP, Versiani MA, Manna FF, Biffi JC:** A comparison of two techniques for the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J* 43, 763-768 (2010).
2. **Barbizam JV, Trope M, Teixeira EC, Tanomaru-Filho M, Teixeira FB:** Effect of calcium hydroxide intracanal dressing on the bond strength of a resin-based endodontic sealer. *Barz Dent J* 19, 224-227 (2008).
3. **Baumgartner JC, Ibay AC:** The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endod* 13, 47-51 (1987).
4. **Baumgartner JC:** Microbiological and molecular analysis of endodontic infections. *Endod Topics* 7, 35-51 (2004).
5. **Böttcher DE, Hirai VH, Da Silva Neto UX, Grecca FS:** Effect of calcium hydroxide dressing on the long-term sealing ability of two different endodontic sealers: An in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 110, 386-389 (2010).
6. **Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW:** Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod* 36, 875-879 (2010).
7. **Çalışkan MK, Türkün M, Türkün LŞ:** Effect of calcium hydroxide as an intracanal dressing on apical leakage. *Int Endod J* 31, 173-177 (1998).
8. **Çalt S, Serper A:** Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod* 25, 431-433 (1999).
9. **Chávez de Paz L:** Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *J Endod* 33, 652-662 (2007).
10. **Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR:** The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J Endod* 32, 434-437 (2006).
11. **Contardo L, De Luca M, Bevilacqua L, Breschi L, Di Lenarda R:** Influence of calcium hydroxide debris on the quality of endodontic apical seal. *Minerva Stomatol* 56, 509-517 (2007).
12. **Cooper TG:** Biochemische Arbeitsmethoden. 1. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin (1981).

13. **Cwikla SJ, Bélanger M, Giguère S, Progulske-Fox A, Vertucci FJ:** Dentinal tubule disinfection using three calcium hydroxide formulations. *J Endod* 31, 50-52 (2005).
14. **Dakin HD:** On the use of certain antiseptic substances in the treatment of infected wounds. *Br Med J* 2, 318-320 (1915).
15. **de Souza RS, de Souza V, Holland R, Gomes-Filho JE, Murata SS, Sonoda CK:** Effect of calcium hydroxide-based materials on periapical tissue healing and orthodontic root resorption of endodontically treated teeth in dogs. *Dent Traumatol* 25, 213-218 (2009).
16. **De-Deus G, Paciornik S, Mauricio MH, Prioli R:** Real-time atomic force microscopy of root dentine during demineralization when subjected to chelating agents. *Int Endod J* 39, 683-692 (2006).
17. **De-Deus G, Reis C, Fidel S, Fidel RA, Paciornik S:** Longitudinal and quantitative evaluation of dentin demineralization when subjected to EDTA, EDTAC, and citric acid: a co-site digital optical microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105, 391-397 (2008).
18. **Delgado RJ, Thaís HG, Sipert CR, Pinheiro CR, Moraes IG, Garcia RB, Bramante CM, Campanelli AP, Bernardineli N:** Antimicrobial effects of calcium hydroxide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 36, 1389-1393 (2010).
19. **Deveaux E, Dufour D, Boniface B:** Five methods of calcium hydroxide intracanal placement An in vitro evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 89, 349-355 (2000).
20. **Duarte MA, Midena RZ, Zeferino MA, Vivian RR, Weckwerth PH, dos Santos F, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M:** Evaluation of pH and calcium ion release of calcium hydroxide pastes containing different substances. *J Endod* 35, 1274-1277 (2009).
21. **Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Bernardes RA, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, de Moraes IG:** Influence of calcium hydroxide association on the physical properties of AH Plus. *J Endod* 36, 1048-1051 (2010).
22. **Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S:** Effect of EDTA and citric acid solutions on the microhardness and the roughness of human root canal dentin. *J Endod* 31, 107-110 (2005).

23. **Erdemir A, Ari H, Güngüneş H, Belli S:** Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod* 30, 113-116 (2004).
24. **Estrela C, Pimenta FC, Ito IY, Bammann LL:** Antimicrobial evaluation of calcium hydroxide in infected dentinal tubules. *J Endod* 25, 416-418 (1999).
25. **Farhad AR, Barekatin B, Koushki AR:** The effect of three different root canal irrigant protocols for removing smear layer on the apical micro-leakage of AH26 sealer. *Iranian Endod J* 3, 62-67 (2008).
26. **Fava LR, Saunders WP:** Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J* 32, 257-282 (1999).
27. **Ferguson JW, Hatton JF, Gillespie MJ:** Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*. *J Endod* 28, 68-71 (2002).
28. **Figdor D, Sundqvist G:** A big role for the very small — understanding the endodontic microbial flora. *Aust Dent J* 52, 38-51 (2007).
29. **Freire LG, Carvalho CN, Ferrari PH, Siqueira EL, Gavini G:** Influence of dentin on pH of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide alone or in combination. *Dent Traumatol* 26, 276-280 (2010).
30. **Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM:** Comparative study of six rotary nickel–titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 38, 743–752 (2005).
31. **Haapasalo HK, Sirén EK, Waltimo TM, Ørstavik D, Haapasalo MP:** Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *Int Endod J* 33, 126-131 (2000).
32. **Haapasalo M, Shen Y, Quin W, Gao Y:** Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am* 54, 291-312 (2010).
33. **Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM:** Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endod Topics* 10, 77-102 (2005).
34. **Haznedaroğlu F:** Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 340-344 (2003).

35. **Holland R, Alexandre A, Murata SS, dos Santos CA, Dezan E Jr:** Apical leakage following root canal dressing with calcium hydroxide. *Endod Dent Traumatol* 11, 261-263 (1995).
36. **Hosoya N, Kurayama H, Iino F, Arai T:** Effect of calcium hydroxide on physical and sealing properties of canal sealers. *Int Endod J* 37, 178-184 (2004).
37. **Huang T-Y, Gulabivala K, Ng Y-L:** A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J* 41, 60–71 (2008).
38. **Hülsmann M:** *Endodontie - Checkliste der Zahnmedizin*. 1. Auflage, Thieme, Stuttgart (2008).
39. **Hülsmann M, Schäfer E, Bargholz C, Barthel C:** *Probleme in der Endodontie - Prävention, Identifikation und Management*. 1. Auflage, Quintessenz, Berlin (2007).
40. **Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon Á:** Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 36, 810-830 (2003).
41. **Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM:** Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 10, 30-76 (2005).
42. **Jaffer S, Oesterle LJ, Newman SM:** Storage media effect on bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136, 83-86 (2009).
43. **Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ:** The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 18, 340-349 (1965).
44. **Kenee DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK:** A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques. *J Endod* 32, 563-565 (2006).
45. **Kim SK, Kim YO:** Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J* 35, 623-628 (2002).
46. **Koçkapan C:** *Curriculum Endodontie*. 1. Auflage Quintessenz, Berlin (2003).

47. **Kontakiotis EG, Wu M-K, Wesselink PR:** Effect of calcium hydroxide dressing on seal of permanent root filling. *Endod Dent Traumatol* 13, 281-284 (1997).
48. **Lambrianidis T, Kosti E, Boutsoukis C, Mazinis M:** Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal. *Int Endod J* 39, 55-61 (2006).
49. **Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P:** Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endod* 25, 85-88 (1999).
50. **Law A, Messer H:** An Evidence-Based Analysis of the Antibacterial Effectiveness of Intracanal Medicaments. *J Endod* 30, 689-694 (2004).
51. **Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR:** The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from differentsized simulated plastic root canals. *Int Endod J* 37, 607-612 (2004).
52. **Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR:** The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J* 37, 672-678 (2004).
53. **Leonardo MR, Hernandez ME, Silva LA, Tanomaru-Filho M:** Effect of a calcium hydroxide-based root canal dressing on periapical repair in dogs: a histological study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102, 680-685 (2006).
54. **Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP:** Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J* 37, 365-369 (2004).
55. **Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M:** Effect of sodium hypochlorite on human root dentine – mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J* 40, 786-793 (2007).
56. **Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G:** Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem. *J Endod* 23, 43-48 (1997).
57. **Mizuno M, Banzai Y:** Calcium ion release from calcium hydroxide stimulated fibronectin gene expression in dental pulp cells and the differentiation of dental pulp cells to mineralized tissue forming cells by fibronectin. *Int Endod J* 41, 933-938 (2008).

58. **Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H:** Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *J Prosthet Dent* 104, 92-97 (2010).
59. **Molander A, Reit C, Dahlén G:** The antimicrobial effect of calcium hydroxide in root canals pretreated with 5% iodine potassium iodide. *Endod Dent Traumatol* 15, 205-209 (1999).
60. **Naaman A, Kaloustian H, Abboud NN, Ounsi HF, Ricci C, Medioni E:** Influence of calcium hydroxide intracanal medication on the sealing ability of warm gutta-percha. *Gen Dent* 56, 348-352 (2008).
61. **Nair PNR:** Light and Electron Microscopic Studies of Root Canal Flora and Periapical Lesions. *J Endod* 13, 29-39 (1987).
62. **Nandini S, Velmurugan N, Kandaswamy D:** Removal efficiency of calcium hydroxide intracanal medicament with two calcium chelators: volumetric analysis using spiral CT, an in vitro study. *J Endod* 32, 1097-1101 (2006).
63. **Negri MR, Panzarini SR, Poi WR, Sonoda CK, Gulinelli JL, Saito CT:** Analysis of the healing process in delayed tooth replantation after root canal filling with calcium hydroxide, Sealapex and Endofill: a microscopic study in rats. *Dent Traumatol* 24, 645-650 (2008).
64. **Peters CI, Koka RS, Highsmith S, Peters OA:** Calcium hydroxide dressings using different preparation and application modes: density and dissolution by simulated tissue pressure. *Int Endod J* 38, 889–895 (2005).
65. **Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F:** Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod* 27, 1-6 (2001).
66. **Peters OA:** Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 30, 559-567 (2004).
67. **Petschelt A:** Aufbereitung und Füllung von Wurzelkanälen mit besonderer Berücksichtigung von Feuchtigkeit und Schmierschicht ("Smear-Layer"). Habilitationsschrift Erlangen (1987).
68. **Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Somma F:** Mechanical properties and dimensional characterisation of Roeko CanalBrush™. *Int Endod J* 42, 1159 (2009).

69. **Porkaew P, Retief DH, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ:** Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal. *J Endod* 16, 369-374 (1990).
70. **Portenier I, Haapasalo H, Orstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M:** Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *J Endod* 28, 634-637 (2002).
71. **Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M:** The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *J Endod* 31, 380-386 (2005).
72. **Ricucci D, Langeland K:** Incomplete calcium hydroxide removal from the root canal: a case *Int Endod J* 30, 418-421 (1997).
73. **Rödig T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M:** Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J* 43, 519-527 (2010).
74. **Rügheimer S:** Die Diffusion von Glucose und Formaldehyd durch Dentin - eine in vitro Studie. *Med Diss Erlangen* (1999).
75. **Sahebi S, Moazami F, Abbott P:** The Effect of short-term calcium hydroxide application on the strength of dentine. *Dent Traumatol* 26, 43-46 (2010).
76. **Salgado RJ, Moura-Netto C, Yamazaki AK, Cardoso LN, de Moura AA, Prokopowitsch I:** Comparison of different irrigants on calcium hydroxide medication removal: microscopic cleanliness evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 107, 580-584 (2009).
77. **Sathorn C, Parashos P, Messer H:** Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J* 40, 2–10 (2007).
78. **Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G:** Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 30, 432-435 (2004).
79. **Sevimay S, Oztan MD, Dalat D:** Effects of calcium hydroxide paste medication on coronal leakage. *J Oral Rehabil* 31, 240-244 (2004).

80. **Sigurdsson A, Stancill R, Madison S:** Intracanal placement of Ca(OH)₂: a comparison of techniques. *J Endod* 18, 367-370 (1992).
81. **Siqueira JF Jr, Lopes HP:** Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J* 32, 361-369 (1999).
82. **Siqueira JF Jr, Rôças IN:** Exploiting molecular methods to explore endodontic infections: Part 1--current molecular technologies for microbiological diagnosis. *J Endod* 31, 411-423 (2005).
83. **Siqueira JF Jr, Rôças IN:** Exploiting molecular methods to explore endodontic infections: Part 2--Redefining the endodontic microbiota. *J Endod* 31, 488-498 (2005).
84. **Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G:** The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 119-125 (1991).
85. **Staehele HJ:** Calciumhydroxid in der Zahnheilkunde. 1. Auflage, Carl Hanser München, Wien (1990).
86. **Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB:** Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod* 32, 785-788 (2006).
87. **Svensäter G, Bergenholtz G:** Biofilms in endodontic infections. *Endod Topics* 9, 27-36 (2004).
88. **Tatsuta CT, Morgan LA, Baumgartner JC, Adey JD:** Effect of calcium hydroxide and four irrigation regimens on instrumented and uninstrumented canal wall topography. *J Endod* 25, 93-98 (1999).
89. **Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S:** A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod* 29, 170-175 (2003).
90. **Torres CP, Apicella MJ, Yancich PP, Parker MH:** Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of techniques, revisited. *J Endod* 30, 225-227 (2004).
91. **van der Sluis LW, Cristescu R:** Ultraschall in der Endodontie. *Quintessenz* 60, 1281-1292 (2009).

92. **van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR:** The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 39, 472-476 (2006).
93. **van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink P:** Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence Int* 40, 875-879 (2009).
94. **van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR:** The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies. *Int Endod J* 40, 52-57 (2007).
95. **Wilcox LR, Wiemann AH:** Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *J Endod* 21, 256-258 (1995).
96. **Windley W 3rd, Ritter A, Trope M:** The Effect of short-term calcium hydroxide treatment on dentin bond strengths to composite resin. *Dent Traumatol* 19, 79-84 (2003).
97. **Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H:** Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod* 22, 27-29 (1996).
98. **Zeeck A, Grond S, Papastavrou I, Zeek SC:** *Chemie für Mediziner*. 6. Auflage Urban&Fischer, München (2005).
99. **Zehnder M:** Root canal irrigants. *J Endod* 33, 389-398 (2006).
100. **Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T:** Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod* 31, 817-820 (2005).
101. **Zirkel C, Schlichting R:** Antimikrobielles Konzept der modernen Endodontie. *Der freie Zahnarzt* 5, 53-63 (2009).

9. Anhang

9.1 Materialien und Geräte

Anrührspatel	HuFriedy®, Leimen, Deutschland
Alufolie	
Beißzange	Artikelnr.534161, LUX®, Wermelskirchen, Deutschland
Calxyl®	CALXYL®-Röntgensichtbar 100000200 Originalpackung zu 20 g blau = mit Kontrastzusatz OCO-Präparate® GmbH, Dirmstein, Deutschland
ChloraminT	Chloramin T-Trihydrat ≥ 98%, p.a. Artikelnr. 0271 Carl Roth GmbH+CoKG, Karlsruhe, Deutschland
Cups zum Inkubieren	5012 Bulk-packed Sterile Cryogenic Vials 1 ml, Nalgene®, Rochester, NY 14625 U.S.A
D-[¹⁴ C (U)] Glucose	Glucose, D-[¹⁴ C (U)]- NEC042X050UC Lot 3615373 50 uCi (1.85 MBq) 319.0 mCi/mmol (11.803 GBq/mmol) 0.5 ml of Ethanol:Water (9:1) Perkin Elmer, Boston, MA 02118 USA

Diamantierte Trennscheibe	0,2 mm Dicke
Einmal Spülkanülen Endo	0,3 x 23 mm transcojet ®, Neumünster, Deutschland
Endostepper	S.E.T. EndoStepper®, S.E.T. - Systemvertrieb für endodontische Geräte GmbH, Olching, Deutschland
Ethanol	70 % Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland
FlexMaster®-Instrumente	VDW® Densply GmbH, Münschen, Deutschland
Flüssiger Stickstoff	Nikolaus Fieber Zentrum für Molekulare Medizin, Erlangen, Deutschland
Furrerzange	Aesculap, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland
Glasplatte	70 x 95 x 6 mm ORBIS Dental Handels-GmbH, Offenbach a. Main, Deutschland
GrandioFlow WO	(NDT) Voco, Cuxhaven, Deutschland
Guttapercha .02/#40	Antaeos® Guttaperchastifte 525, pink ISO standardized color coded ends VDW® GmbH, München, Deutschland
Inkubator	Memmert Labor Center, Nürnberg, Deutschland

Jonosteril®	freeflex® 500 ml 1/1 E, Infusionslösung zur periphervenösen Infusion Fresenius Kabi Deutschland GmbH, Bad Homburg v. d. H, Deutschland
K-Feilen #10,#15	VDW® GmbH Densply, München, Deutschland
Lentulo	Densply A 002222500100 25 mm (XL), Maillefer Swiss Made, Ballaigues, Schweiz
Luer-Lock Solo	3 ml Spritzen Omnifix®, B. Braun Melsungen AG Melsungen, Deutschland
Metalllineal	HuFriedy®, Leimen, Deutschland
Natriumhypochlorit 3%	3 % Chlor-aktiv, Chem.-Pharm. Laboratorium Dr. Seeger GmbH Stuttgart, Hedinger Aug. GmbH & Co KG Stuttgart, Deutschland
Papierspitzen .02/#40	Roeko Papier-Spitzen color 341540, Länge: 28 mm Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland
Pipetten	2-20 µl, 100-1000 µl Gilson, Inc., Middleton,USA
Plastikadapter (Szintfläschchen)	Typ Vial, aus LDPE, Fassungsvermögen 20 ml Nulleffekt 5 bis 10 cpm Carl Roth Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland
Polymerisationslampe	ESPE Epilar® TriLight, Neuss, Deutschland

Präzisionswaage	Typ R160P, Sartorius GmbH Göttingen, Deutschland
Raketts	LKB Wallac 1409 Liquid Scintillation Counter EG&G Berthold, Bad Wildbach, Deutschland
Rotes Winkelstück	KaVo GmbH, Biberrach, Deutschland
Rotilabo [®] -Dispenser	Carl Roth Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland
Scaler	HuFriedy [®] , Leimen, Deutschland
Schaumstoffpellets	900-1011 #25 mm 1000 Foam Pellets, Henry Schein [®] , Henry Schein INC., Melville NY 11747 USA
Silikonständer	selbst angefertigt aus Affinis [®] , Hamburg, Deutschland
SPSS win [®] 17.0	SPSS Inc., Chicago USA
Szintillationsflüssigkeit	Rotiszint [®] eco plus, LSC-Universalcocktail Für hydrophile und hydrophobe Proben Carl Roth Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland
Szintillationszähler	LKB Wallac 1409 Liquid Scintillation Counter EG&G Berthold, Bad Wildbach, Deutschland
Zahnärztliche Pinzette	HuFriedy [®] , Leimen, Deutschland
Zitronensäure 40%	500 ml Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland

9.2 Tabellen

Ansatz	Inhalt der Szintillationsfläschchen/Ansätze	Erwartete cpm	Gemessene cpm
1	2 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	1080	827,2
2			854,0
3			747,6
4	5 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	2700	2519,5
5			2444,9
6			2558,7
7	10 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	5400	4936,7
8			4944,0
9			5011,3
10	20 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	10800	10256,4
11			10319,1
12			10171,8
13	50 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	27000	24237,9
14			24895,1
15			25760,4
16	100 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	54000	49036,8
17			51314,2
18			49739,9
19	200 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	108000	97577,3
20			98225,5
21			97699,2
22	500 μ l 14 C-Glucose-Verdünnung + 5ml Szintillationsflüssigkeit	270000	224303,9
23			225665,0
24			225740,3
25	0,5 g Calxyl+ 5ml Szintillationsflüssigkeit	0	57,6
26	0,5 g angemischtes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 5ml Szintillationsflüssigkeit	0	49,6

Tab.5: Ansätze zur Kalibration von 14 C-Glucose mit Jonosteril®

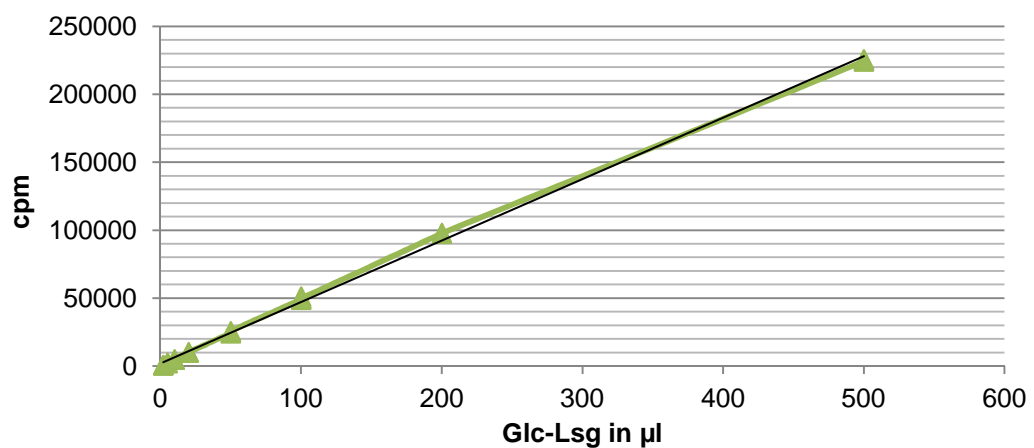
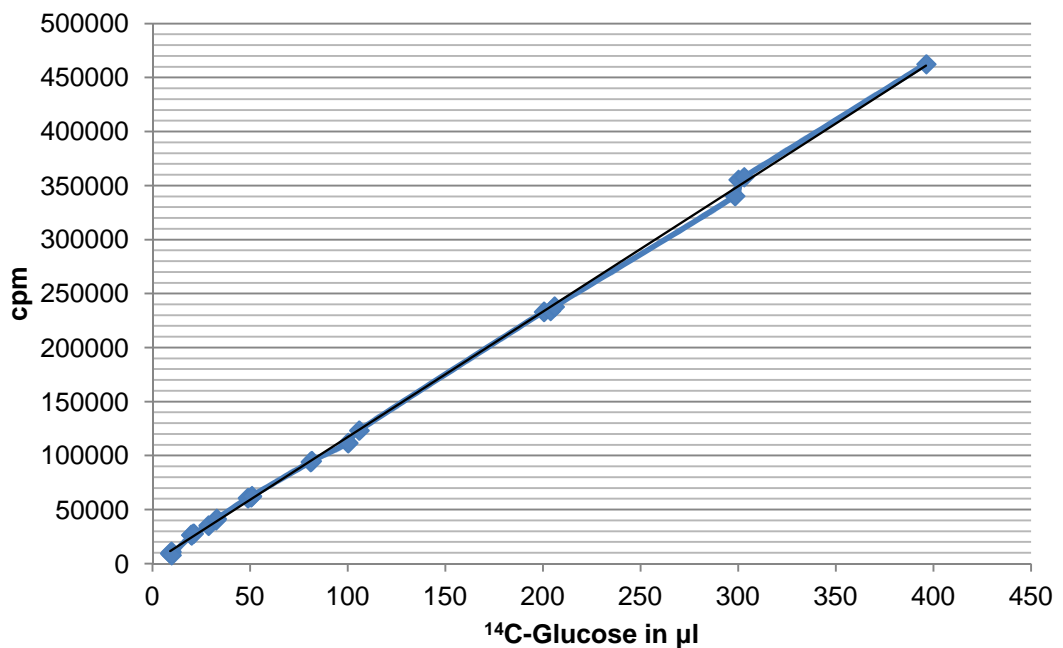


Abb.17: Kalibration von 14 C-Glucose mit Jonosteril®

Ansatz	rad. Ca(OH) ₂ in mg	cpm	Erwartete cpm
1	9,1	9542	12194
2	9,7	11024,9	12998
3	9,8	7831,6	13132
4	19,8	26595,6	26532
5	20,1	26449,3	26934
6	21	27825,1	28140
7	28,7	35254,2	38362
8	32,6	40170,3	43575
9	32,9	41439,9	43976
10	48,9	60726,6	65428
11	50,5	61467,1	67569
12	50,9	62528	68104
13	81	94175,7	108337
14	81,6	95026,3	109140
15	100,2	111663,2	134268
16	105,9	123319,8	141906
17	200,5	233151,7	268670
18	203,9	234025,1	273226
19	205,9	237906,9	275906
20	298,4	340369,4	398861
21	300,1	355508,3	401134
22	303	357826,9	405010
23	396,3	462420,7	530051

Tab.6: Ansätze zur Kalibration mit Ca(OH)₂Abb.18: Kalibration von ¹⁴C-Glucose mit Ca(OH)₂

Erster Versuch mit Formaldehyd-gelagerten Zähnen

Zahn-Standard	entnommene Menge in mg	cpm	theoretische cpm	%
A1	20,1	25778,8	29851,5	86,4
A2	20,1	28289,7	29851,5	94,8
A3	20,5	30229,2	30445,5	99,3
B1	20,1	26076,1	29851,5	87,4
B2	20,3	28172,7	30148,5	93,4
B3	21,5	31539,4	31930,7	98,8
C1	20,6	27575,9	30594,1	90,1
C2	20,6	27823,8	30594,1	90,9
C3	20,0	27797	29703	93,6
D1	20,5	27962,7	30445,5	91,8
D2	20,8	29586,2	30891,1	95,8
D3	20,3	28885,5	30148,5	95,8
E1	20,6	26223,7	30594,1	85,7
E2	20,5	26213,3	30445,5	86,1
E3	20,8	24684,8	30891,1	79,9
F1	20,5	28273,7	30445,5	92,9
F2	20,1	28408,3	29851,5	95,2
F3	20,1	29279,5	29851,5	98,1

Tab. 7: Standards zur Bestimmung der eingebrachten Radioaktivität

Zweiter Versuch mit Formaldehyd-gelagerten Zähnen

Zahn-Standard	Menge in mg	theoretische cpm	cpm
A1	20,5	30445,5	21726,4
A2	20,7	30742,5	25303
A3	20,4	30297	25649,6
B1	20,2	30000	24097,3
B2	20,4	30297	25041,1
B3	20,3	30148,5	22214,4
C1	20,5	30445,5	20880,2
C2	20,6	30594,1	22012,3
C3	20,9	31039,6	27885,1
D1	20,8	30891,1	21751,3
D2	20,3	30148,5	20933,8
D3	20,8	30891,1	24507,7
E1	20,7	30742,6	23253,1
E2	20,7	30742,6	21872,4
E3	22,2	32970,3	25104,5
F1	21,0	31188,1	21410,2
F2	20,4	30297	22018
F3	20,3	30148,5	24139
G1	20,6	30594,1	19859,2

G2	20,8	30891,1	22256,6
G3	20,6	30594,1	24250,6
H1	19,4	28811,9	24008
H2	20,2	30000	23319,9
H3	24,0	35643,6	30752,3
I1	20,7	30742,6	18477,5
I2	20,2	30000	18532
I3	20,3	30148,5	19036,2
J1	20,0	29702,9	25998,4
J2	20,0	29702,9	24240
J3	19,7	29257,4	25076,9
K1	20,3	30148,5	22140,5
K2	19,8	29405,9	21739,6
K3	20,4	30297	22908,5
L1	20,2	30000	20109,5
L2	20,5	30445,5	24039
L3	21,0	31188,1	24276,1
M1	20,4	30297	22614,2
M2	20,0	29702,9	21542,7
M3	20,3	30148,5	22118,4
N1	19,9	29554,5	22539,5
N2	20,5	30445,5	22495,9
N3	20,2	30000	24776,9
O1	20,3	29405,9	21229
O2	20,8	30297	22281,9
O3	20,9	30000	22025,3

Tab.8: Standards zur Bestimmung der eingebrachten Radioaktivität

Zahn	% im Kanal	% entfernt	theoretische cpm	cpm nach Entfernung
A	8,3	91,7	17828,5	1473,6
B	11	89	8499,8	938,8
C	8,2	87,1	7719,2	994,5
D	10,9	89,1	8553,1	936,1
E	17,1	82,9	14345	2448,2
F	7,3	92,7	9864,4	721,6
G	8,2	91,8	9958,4	818,4
H	9,3	90,7	12482,4	1157,9
I	14,6	85,4	14844,7	2172,2
J	17,3	82,7	10591,5	1832
K	7,5	92,5	15669,2	1172,2
L	14,1	85,9	18502,3	2616
M	7	93	15740,2	1103,8
N	15,4	84,4	14982,2	2341,3
O	18,9	80,1	20490,6	2808,8

Tab.9: Reinigungsleistung mit 4 ml Wechselpfingung,
 % im Kanal = verbliebendes Calxyl®, % entfernt = entferntes Calxyl®,
 cpm vor Entfernung = errechnete Impulsrate nach Applikation, cpm
 nach Entfernung = gemessene Impulsrate nach Entfernung

Positivkontrollgruppe

Zahn	Standard	Gewicht	cpm Standards	Calxyl im Zahn in mg	cpm in Zahn
1	1	19,9	38093,7		
	2	19,5	38885	19,9	40453,5
	3	20,1	44007,1		
2	1	20	37378,7		
	2	20,6	39082,3	26,7	50437,3
	3	19,9	37777,5		
3	1	20,1	31311,1		
	2	20	35460	15,5	27912,3
	3	20,4	42283,2		
4	1	20,2	34489,3		
	2	20,4	34719,4	23,9	41047,2
	3	20,1	35082,8		
5	1	20,5	34685,3		
	2	20,5	38944,8	15,6	28908,2
	3	20,1	39541		
6	1	20	34279,1		
	2	20	35708,2	20,7	36498,5
	3	20,1	35977,2		
7	1	20	34609,5		
	2	20,7	36839	18	32090,8
	3	19,8	36424,3		
8	1	20,1	36018,2		
	2	20,1	31520,6	21	36032,3
	3	19,7	35214,7		
9	1	19,8	35899,5		
	2	19,5	34628,9	18,1	32831
	3	20,3	37563		
10	1	20	32916,1		
	2	20,4	33098,3	17	28168,9
	3	20,4	34798,9		

Tab.10: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
Cpm Standards: Impulsrate der Proben
Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Zahn	cpm	cpm in Zahn	% in Zahn
1	40453,5	40089,4	99,1
2	50437,3	49428,6	98
3	27912,3	27744,8	99,4
4	41047,2	40308,4	98,2
5	28908,2	28214,4	97,6
6	36498,5	36425,5	99,8
7	32090,8	31384	97,8
8	36032,3	35635,6	98,9
9	32831	32437	98,8
10	28168,9	27577,4	97,9

Tab.11: Korrelation zwischen errechneter und gemessener Impulsrate.

Mittelwert: 98,7% +/-1,1

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spülung

Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spülung

Negativkontrollgruppe

Zahn	cpm
11	72,8
12	38,2
13	38,8
14	44,2
15	42,9
16	38,5
17	34,1
18	32,3
19	32,8
20	32,5

Tab.12: Impulsrate der aufbereiteten Zähne.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne

cpm: Impulsrate

Gruppe 1:

Zahn	Standard	Gewicht Standards [mg]	cpm Standards	Calxyl® im Zahn [mg]	cpm im Zahn
1	1	19,8	36431,6		
	2	20,4	37630,6	19,7	36827,7
	3	20,6	39668,3		
2	1	20,7	34396,1		
	2	20,6	32888,1	17,2	28359,8
	3	20,2	34106,9		
3	1	19,9	40274,8		
	2	19,9	41189,3	15,4	32262
	3	20,8	44614,3		
4	1	20,5	34290		
	2	20,6	34385	18,9	31564,3
	3	20,4	33936,6		
5	1	20,3	36008,2		
	2	20,3	36328,7	13,2	23813,6
	3	20,4	37708,9		
6	1	20	34541,4		
	2	19,9	35153,3	23,7	42407,8
	3	20,1	37636,8		
7	1	20,9	41999,6		
	2	20,1	42284,4	19,1	40075,7
	3	20	43628,3		
8	1	20,8	35688,7		
	2	20,4	33636,3	16,8	29923,9
	3	20,4	40348,8		
9	1	20,3	35963,1		
	2	21	34740,9	21,6	40732,6
	3	22,3	49764,5		

10	1	20	33462		
	2	20,2	34029,2	19,8	34423,2
	3	20,3	34647,7		

Tab.13: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
 Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
 Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
 Cpm Standards: Impulsrate der Proben
 Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
 cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Citro	NaOCl
0,25ml	0,25ml

Zahn	eingebrachte Calxyl®-Menge in mg	cpm im Zahn	cpm nach Entfernung	Rückstand in %
1	19,7	36827,7	7738,9	21
2	17,2	28359,8	8378,2	29,5
3	15,4	32262	7427,8	23
4	18,9	31564,3	4672	14,8
5	21,2	23813,6	4315,4	18,1
6	23,7	42407,8	7175,9	16,9
7	19,1	40075,7	9967,3	24,9
8	16,8	29923,9	5561,4	18,6
9	21,6	40732,6	11472,2	28,2
10	19,8	34423,2	7514,7	21,8

Tab.14:Entfernung mit 0,5 ml Wechselpflegung (0,25 ml NaOCl & 0,25 ml Zitronensäure).

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spflegung
 Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spflegung

Gruppe 2:

Zahn	Standard	Gewicht Standards [mg]	cpm Standards	Stan-	Calxyl® im Zahn [mg]	cpm in Zahn
11	1	20,6	36913			
	2	19,9	37646,3		22,2	42916,1
	3	20,2	42631,6			
12	1	20,3	34707,7			
	2	19,9	35971,5		17,3	31266,9
	3	20,5	38877,2			
13	1	20,4	33178,2			
	2	19,9	34899,8		29,3	51087,5
	3	20,6	37979,5			
14	1	20,8	39019,8			
	2	20,4	39572,5		19,1	37110,6
	3	20,6	41515,8			
15	1	20,1	38139,8			
	2	20,8	38561,2		13,7	26103,7
	3	20,6	40445,9			
16	1	20,7	38812,5			
	2	20,4	40781,5		22,8	45305,5
	3	20,6	43071,2			
17	1	20,6	35915,1			
	2	20,3	35636		14,1	25322,1
	3	19,9	37490,3			
18	1	20,5	36205,4			
	2	20,6	38359,9		24,3	44632,9
	3	20,6	38564,5			
19	1	20,5	34706,3			
	2	19,9	36674,1		23,8	41614,4
	3	20,1	34301,7			

20	1	20,6	38285,6		
	2	20,4	37291,8	24,7	45690,5
	3	20,5	38165,1		

Tab.15: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
 Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
 Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
 Cpm Standards: Impulsrate der Proben
 Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
 cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Citro	NaOCl
0,5ml	0,5ml

Zahn	eingebrachte Calxyl®-Menge in mg	cpm im Zahn	cpm nach Entfernung	Rückstand in %
11	22,2	42916,1	7137,8	16,6
12	17,3	31266,9	4191,5	13,4
13	29,3	51087,5	9140,7	17,9
14	19,1	37110,6	7556,3	20,4
15	13,7	26103,7	4406,1	16,9
16	22,8	45305,5	8130,3	17,9
17	14,1	25322,1	3980,8	15,7
18	24,3	44632,9	5158,8	11,6
19	23,8	41614,4	7570,9	18,2
20	24,7	45690,5	7380,3	16,2

Tab.16: Entfernung mit 1 ml Wechselspülung (0,5 ml NaOCl & 0,5 ml Zitronensäure).

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spülung
 Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spülung

Gruppe 3:

Zahn	Standard	Gewicht Standards [mg]	cpm Standards	Stan-	Calxyl® im Zahn [mg]	cpm in Zahn
21	1	19,8	34797,1			
	2	20,2	36558,7		25,3	46965,8
	3	20,3	40652,4			
22	1	20,8	38440,1			
	2	20,6	38171,5		24,3	45347,7
	3	20,8	39492,2			
23	1	20	35397,3			
	2	20	37266,6		23,5	44008,4
	3	20,4	40521,7			
24	1	20,3	36695,4			
	2	20,7	38652,9		30,2	57690,5
	3	23,3	47869,9			
25	1	19,9	33010,5			
	2	20,2	38495,5		22,7	41249
	3	20,3	36102,7			
26	1	20	34607			
	2	20,6	37511,6		16,6	29784,7
	3	20	36646,4			
27	1	20,6	40080,5			
	2	20,6	39974,7		22,1	43445,1
	3	20,5	41238,5			
28	1	20,5	35515,7			
	2	20,3	36196,3		21,6	38614,8
	3	20,9	38603			
29	1	20,3	35550,2			
	2	20,8	38311		28,1	51704,4
	3	22,2	42798,7			

30	1	20,6	36971,8		
	2	20,2	35385,8	21,2	37761,2
	3	20,6	37051		

Tab.17: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
 Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
 Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
 Cpm Standards: Impulsrate der Proben
 Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
 cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Citro	NaOCl	Citro	NaOCl
0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml

Zahn	eingebrachte Calxyl®-Menge in mg	cpm im Zahn	cpm nach Entfernung	Rückstand in %
21	25,3	46965,8	7269,1	15,5
22	24,3	45347,7	5090,1	11,2
23	23,5	44008,4	5384,6	12,2
24	30,2	57690,5	6343,8	11
25	22,7	41249	4563,7	11,1
26	16,6	29784,7	4583,4	15,4
27	22,1	43445,1	6422	14,8
28	21,6	38614,8	5370,8	13,9
29	28,1	51704,4	6568,8	12,7
30	13,2	37761,2	4102,9	10,9

Tab.18: Entfernung mit 2 ml Wechselspülung (1 ml NaOCl & 1 ml Zitronensäure).

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spülung
 Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spülung

Gruppe 4:

Zahn	Standard	Gewicht Standards [mg]	Cpm Standards	Calxyl® im Zahn [mg]	cpm in Zahn
31	1	19,9	33335,2		
	2	20,5	35369	20,3	35030,2
	3	20,5	36412,8		
32	1	20,6	33991,3		
	2	19,9	32909,2	19,6	34398,8
	3	19,8	38877,7		
33	1	20,8	37961,2		
	2	20,3	37789,9	21,3	39923,3
	3	20,2	39109,9		
34	1	20,9	37885,9		
	2	20,7	39423,3	25,1	47619,9
	3	20,8	41074,2		
35	1	20,6	37916		
	2	20,5	37964,1	19,6	36672,8
	3	20,2	38837,8		
36	1	20,8	36196,3		
	2	20,8	37132,7	22,3	40667,9
	3	20,1	39145,5		
37	1	20,8	35922,4		
	2	19,9	34239	12	21256,6
	3	20	37128,4		
38	1	20,9	38250		
	2	20,3	37872,3	30,7	57592,1
	3	20,1	38810,2		
39	1	20,6	34738,4		
	2	19,8	35402,9	15,4	27581,3
	3	20,4	38742,9		

40	1	20,9	35935,5		
	2	20,2	38115,8	25,4	46985,4
	3	20,1	39028,5		

Tab.19: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
Cpm Standards: Impulsrate der Proben
Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl
0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml

Zahn	eingebrachte Calxyl®-Menge in mg	cpm im Zahn	cpm nach Entfernung	Rückstand in %
31	20,3	35030,2	3578,3	10,2
32	19,6	34398,8	3698,9	10,8
33	21,3	39923,3	2217,8	5,6
34	25,1	47619,9	5224,2	11
35	19,6	36672,8	1945,8	5,3
36	22,3	40667,9	3411,5	8,4
37	12	21256,6	1608,3	7,6
38	30,7	57592,1	3814,3	6,6
39	15,8	27581,3	2724,6	9,9
40	25,4	46985,4	5596,8	11,9

Tab.20:Entfernung mit 4 ml Wechselspülung (2 ml NaOCl & 2 ml Zitronensäure).

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spülung
Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spülung

Gruppe 5:

Zahn	Standard	Gewicht Standards [mg]	cpm Standards	Calxyl® im Zahn [mg]	cpm in Zahn
41	1	20	39028,8		
	2	20,7	38510,5	16,7	32447,5
	3	20,2	40725,9		
42	1	20,8	37725,8		
	2	20,4	37873,8	28,5	53325,3
	3	20,7	40246,5		
43	1	20,4	34973,7		
	2	20,3	38454,6	12,3	22994
	3	20,8	41552,6		
44	1	20,5	36706,2		
	2	20,5	36450,3	23,6	42884,4
	3	20,2	37987,2		
45	1	20,5	37094,5		
	2	20,5	36597,3	19,7	35025
	3	20	34821,1		
46	1	20,4	35814,7		
	2	20,1	36310,5	19,5	35370,4
	3	20,2	38030,1		
47	1	20,1	35517,4		
	2	20,4	37485,4	16,6	30951,1
	3	19,9	39375,2		
48	1	20,2	35427,5		
	2	20,2	36737,9	17,3	31634,4
	3	20	38258,2		
49	1	20,8	35446,1		
	2	20,1	35733,5	12,2	22089,3
	3	20,3	39524,9		

50	1	20,5	38665,6		
	2	20,2	36464,9	18,5	36458,8
	3	20,5	45450,9		

Tab.21: Bestimmung der Calxyl®-Menge, die in den Zahn eingebracht wurde.

Zahn: Nummerierung der Probenzähne
Standard: jeweils 3 Proben des markierten Calxyls®
Gewicht Standards [mg]: Masse der entnommenen Standards (20mg)
Cpm Standards: Impulsrate der Proben
Calxyl® im Zahn [mg]: Masse des eingebrachten Calxyls®
cpm im Zahn: errechnete eingebrachte Impulsrate vor Entfernung

Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl
0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml
Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl	Citro	NaOCl
0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml

Zahn	eingebrachte Calxyl®-Menge in mg	cpm im Zahn	cpm nach Entfernung	Rückstand in %
41	16,7	32447,5	2050,1	6,3
42	28,5	53325,3	1755,5	3,3
43	12,3	22994	508	2,2
44	23,6	42884,4	1491,9	3,5
45	19,7	35025	2174	6,2
46	19,5	35370,4	2009	5,7
47	16,6	30951,1	1876,5	6,1
48	17,3	31634,4	2211,9	7
49	12,2	22089,3	295,2	1,3
50	18,5	36458,8	2973,9	8,2

Tab.22: Entfernung mit 8 ml Wechselspülung (4 ml NaOCl & 4 ml Zitronensäure).

cpm nach Entfernung: Impulsrate im Zahn nach Spülung
Rückstand [%]: prozentualer Rückstand nach Spülung

10. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. A. Petschelt. Zum einen für die Überlassung dieses Promotionsthemas, sowie der Bereitstellung der laboratorischen Einrichtung der Zahnklinik 1- Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, als Grundlage der praktischen Durchführung meiner Dissertation. Ganz ausnehmend möchte ich ihm für die Unterstützung bei der Lösung sämtlicher Probleme danken.

Außerordentlich möchte ich mich bei Herrn OA Dr. J. Ebert für die Unterstützung bei meiner Arbeit bedanken. Für fachliche Erklärungen und für die Beantwortung statistischer Fragen hat er sich stets Zeit genommen.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des werkstoffwissenschaftlichen Labors für die Hilfestellungen und guten Tipps bedanken.

Für die gemeinsame Durchführung unserer Doktorarbeiten und Unterstützung möchte ich mich bei meinem Mann bedanken.

Herzlichster Dank gilt letztlich meinen Eltern, die mir mit viel Geduld und Zuspruch halfen, diese Dissertation und mein Studium zu bewältigen.