

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND-
UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

**Einfluss verschiedener medikamentöser Einlagen
auf den Haftverbund des Sealers *Acroseal*
zum Wurzelkanalentin**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Romina Viola Holler
aus Frankenberg (Eder)

Marburg, 2015

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 20.07.2015

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Prof. Dr. R. Frankenberger

Korreferent: Prof. Dr. H. Korbmacher-Steiner

gewidmet
meinen Eltern und meinem Bruder Leon
in Liebe und Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	6
1.1 Einleitung	6
1.2 Material und Methode	6
1.3 Ergebnisse	7
1.4 Schlussfolgerung	7
2 Summary	8
2.1 Introduction	8
2.2 Material and Methods	8
2.3 Results	9
2.4 Conclusion	9
3 Einleitung	10
4 Literaturübersicht	12
4.1 Die medikamentöse Einlage	12
4.2 Spüllösungen in der Endodontie	13
4.3 Sealer in der Endodontie	15
4.4 Methoden zur Untersuchung des Haftverbunds	18
5 Versuchsplanung und Zielsetzung	20
5.1 Nullhypothesen	20
6 Material und Methoden	21
6.1 Untersuchte Materialien in der Übersicht	22
6.2 Auswahl und Vorbereitung der Versuchszähne	23
6.3 Medikamenteneinlage	25
6.4 Herstellung der Kunststoffblöcke	26
6.5 Spülprotokoll	28
6.6 Befestigung der Spreader mittels Sealer	28
6.7 Messreihe	29
6.8 Auswertung der Frakturmodi	31
6.9 Statistische Auswertung	31

7 Ergebnisse	33
7.1 Haftfestigkeiten des Wurzelkanalsealers <i>Acroseal</i> am Wurzelkanalentin	33
7.2 Frakturanalyse	37
7.3 Auswertung der Spreader	39
8 Diskussion	40
8.1 Diskussion der Methodik	41
8.2 Diskussion der Ergebnisse	46
9 Literaturverzeichnis	50
10 Anhang	57
10.1 Spreader-Auswertung	57
10.2 Materialliste	60
10.3 Abkürzungen	62
10.4 Übersicht der Tabellen	63
10.5 Übersicht der Abbildungen	63
11 Verzeichnis der akademischen Lehrer	65
12 Danksagung	66

1 Zusammenfassung

1.1 Einleitung

Eine Wurzelkanalbehandlung dient in häufigen Fällen der Zahnerhaltung. Eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung setzt einen dichten Verschluss des Wurzelkanals voraus. Dieser ist gewährleistet durch einen festen Verbund zwischen Zahnhartsubstanz und Sealer, sodass eine Bakterieneinwanderung in den Kanal unterbunden wird. Ziel dieser Arbeit ist es, den Verbund zwischen Sealer und Dentin unter Berücksichtigung der verschiedenen medikamentösen Einlagen zu untersuchen. Hier wird die Haftkraft des Sealers *Acroseal* überprüft.

1.2 Material und Methode

In dieser Studie wurden 60 extrahierte humane Zähne mit gerader Wurzel verwendet, die nicht endodontisch vorbehandelt waren und deren Krone mit einer diamantierten Trennscheibe abgetrennt. Diese wurden auf einer Arbeitslänge von 8 mm mit einem maschinellen System (*BioRaCe*, FKG Dentaire) auf ISO-Größe 60 mit einer Konizität von 2% (.02/#60) unter Spülung mit NaOCl (3%) chemomechanisch aufbereitet.

Die 60 aufbereiteten Wurzeln wurden in 6 verschiedene Gruppen unterteilt. 40 Wurzeln wurden den 4 zu untersuchenden Medikamenten zugeteilt und 20 dienten als Kontrollgruppe in einer feuchten und einer trockenen Gruppe. Die 4 Medikamente verblieben 14 Tage im Wurzelkanal.

Alle 6 Gruppen unterlagen dem gleichen Spülprotokoll vor Einbringung des Sealers:

1.) NaOCl (3%) + 1 min Aktivierung mittels *EndoActivator*, 2.) EDTA + 1 min Aktivierung mittels *EndoActivator*, 3.) NaOCl (3%), 4.) Aqua dest..

Nach Trocknung der Kanäle mit Papierspitzen erfolgte die Verklebung der Stahlspreader (.02/#55) unter Verwendung des Sealers *Acroseal*. Abschließend wurden die Wurzeln in einer Prüfmaschine bis zum Versagen des Verbunds am Kanalwanddentin belastet und die jeweiligen Haftkräfte ermittelt.

1.3 Ergebnisse

Acroseal zeigte bei Feuchtigkeit im Wurzelkanal die höchsten Haftwerte (1,58 MPa). Calciumhydroxid, unabhängig davon, ob als Paste oder Stift, bewirkte vergleichbare Haftwerte bei *Acroseal* (0,96 MPa und 1,03 MPa). Nach der Einlage von *Activ Point* resultieren insgesamt die geringsten Haftwerte (0,38 MPa), wohingegen der Einsatz von Chlorhexidindiglukonat-Gel etwas höhere Haftwerte aufweist (1,32 MPa). Die Unterschiede der Haftwerte nach den medikamentösen Einlagen waren insgesamt nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,061$).

1.4 Schlussfolgerung

Außer Chlorhexidindiglukonat-Gel reduzierten alle medikamentösen Einlagen den Haftverbund von *Acroseal* auf das Wurzelkanalentin. Als der Wurzelkanal während der Wurzelkanalfüllung mit dem Sealer *Acroseal* feucht belassen wurde, konnten die besten Haftwerte erzielt werden. Daher wird empfohlen, auf eine medikamentöse Einlage zu verzichten und den Kanal während der Sealer-Applikation feucht zu belassen.

2 Summary

2.1 Introduction

A root canal treatment is used in cases of dental preservation. A successful root canal treatment requires a tight seal of the canal. This is ensured by a firm bond between the dental structure and the sealer, so that a bacterial immigration is suppressed. Aim of the study is to investigate the bond strength between sealer and dentine under consideration of various temporary medical fillings. Therefore the adhesive force of the sealer *Acroseal* is examined.

2.2 Material and Method

60 extracted human teeth with straight roots that were not previously endodontically treated were selected for the study. Their dental crown was detached by a diamond cutting disc.

Root canals were prepared with *BioRaCe* instruments to a working length of 8 mm to ISO size 60. During the preparation the canals were rinsed with NaOCl (3%).

The 60 roots were subdivided into 6 categories. 40 of the roots were assigned to the 4 medicaments and 20 roots served as a reference. The reference groups were subdivided into wet and dry storage with 10 roots each. The 4 medicaments stayed within the dentine for 14 days. All 6 groups were subject to the same irrigation protocol before applying the sealer.

1.) NaOCl (3%) + 1 min activation through the *endodontic activator*, 2.) EDTA + 1 min activation through the *endodontic activator*, 3.) NaOCl (3%), 4.) Aqua dest..

After drying the canals with paper points, the steel spreaders were glued in with *Acroseal*. The last step was to strain the roots until the bonding failure between the dentine and sealer was determined.

2.3 Results

Acroseal revealed the highest bond-strength values (1,58 MPa) under moist conditions within the root canal. Calcium hydroxide, either used as point (0,96 MPa) or paste (1,03 MPa), showed comparable bond-strength results with *Acroseal*. After root canals were dressed with *Activ Points*, the lowest bond strength in the whole study were obtained (0,38 MPa). The application of chlorhexidine digluconate gel showed a high bond strength values (1,32 MPa). Differences in terms of bond strength after the medical insertion were not significant between the groups (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,061$).

2.4 Conclusion

Except for chlorhexidine digluconate gel, all medicaments reduce the bond-strength of *Acroseal* to the root canal dentine. When the root canal were moist during the root canal filling, the highest bond strength values were achieved. Therefore, moisture during placement of *Acroseal* results in an increase in terms of bond strength.

3 Einleitung

Die Endodontie stellt als eine Maßnahme zur Erhaltung stark destrukturierter Zähne einen Schwerpunkt in der konservierenden Zahnmedizin dar. Eine verbesserte Methodik von Wurzelkanalbehandlungen kann neben einem adäquaten Spülprotokoll und einer suffizienten Wurzelfüllung zu einer längeren Verweildauer der Zähne im Patientenmunde führen.

Die Gründe für die Notwendigkeit der Einleitung einer endodontischen Behandlung sind vielschichtig. So muss ein Zahn u.a. aus prothetischen Gründen, aufgrund eines Traumas oder bei irreversibler Schädigung der Pulpa endodontisch behandelt werden. Der Hauptgrund aller Pulpaerkrankungen ist mit 95% die Dentinkaries, daneben können aber auch mechanische, chemisch-toxische, osmotische oder thermische Faktoren eine Rolle spielen. Dringen die Toxine der Karies verursachenden Bakterien über die Dentinkanälchen zur Pulpa kann es zu einer akuten Entzündung der Pulpa kommen. Bei fehlender Beseitigung dieses Reizes wird die Pulpa irreversibel geschädigt und kann durch nachfolgende bakterielle Besiedelung der Pulpakammer nekrotisch werden. Tritt dieser Fall ein ist eine Trepanation mit nachfolgender Wurzelkanalbehandlung unumgänglich.

Wesentliche Aufgaben einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung sind die adäquate Reinigung des Kanals und der bakteriendichte Verschluss des Wurzelkanalsystems nach Abfüllen des Kanals. Allerdings wird der Zahn im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung zentral geschwächt, in dem Zahnhartsubstanz bei der Instrumentierung nachfolgend abgetragen wird.

Eine wichtige Behandlungsaufgabe ist es daher, die geschwächte Zahnhartsubstanz zu stabilisieren. Dies erreicht man durch endodontische wie restaurative Stabilisierung. Folglich sind bei Wurzelfüllmaterialien nicht nur Eigenschaften der Formstabilität und Dichtigkeit von Bedeutung, sondern auch die Haftfestigkeit des Sealers zum Wurzelkanaldentin. Dieser Haftverbund ist nicht nur vom Sealer, sondern auch von der Vorbehandlung des Wurzelkanaldentins abhängig.

Bei der chemomechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals werden Spüllösungen verwendet, um die Entfernung von nekrotischem Gewebe, abgetragener Dentinspäne und der Schmierschicht zu erleichtern. Ferner soll eine antimikrobielle Wirkung entfaltet werden.

Die bei der Wurzelkanalaufbereitung entstehende Schmierschicht nimmt Einfluss auf den Haftverbund von Wurzelkanalsealern. Als effektive Spüllösungen in der Entfernung der Schmierschicht erwiesen sich EDTA und Zitronensäure.

Die Wurzelkanalaufbereitung ist zwar in der Lage die Keime im Kanal zu reduzieren, jedoch stellt diese keine absolute Keimfreiheit sicher. Daher wird bei einer infizierten, nekrotischen Pulpa eine medikamentöse Einlage empfohlen.

Als Mittel der Wahl gilt nach wie vor Calciumhydroxid (*Calxyl*), insbesondere in Kombination mit einer NaOCl-Spülung. Calciumhydroxid besitzt eine hohe antimikrobielle Wirkung, es stimuliert die Hartgewebsbildung und hemmt resorptive Prozesse. Einzig kritisch zu betrachten ist die Entfernung des Calciumhydroxids, da häufig Reste am Wurzelkanalentin zurückbleiben. Nur durch intensive Spülung in Verbindung mit Ultraschall können diese Reste auf ein Minimum reduziert werden.

In der Praxis wird auch häufig ein Kortikosteroid (*Ledermix*) eingesetzt. Vorteil hier ist die schnelle Schmerzlinderung durch die Unterdrückung der Entzündungsreaktion. Umstritten ist allerdings der Einfluss auf die periapikale Heilung. Daher wird auch nach einer Kortikosteroid-Einlage immer noch eine Calciumhydroxid-Einlage empfohlen.

Zur Wurzelfüllung werden Guttaperchastifte in Kombination mit einer Wurzelfüllpaste (Sealer) verwendet. Das Kernmaterial Guttapercha erfüllt die Funktion eines „Makrofüllers“, der den Sealer in möglichst geringer Menge und Schichtdicke gleichmäßig auf der Wurzelkanalwand verteilt, um Unregelmäßigkeiten entlang der Kanalwand auszugleichen. Alle Sealer werden nach dem Anmischen ihrer Ausgangskomponenten in cremiger, pastenartiger Form in den Kanal eingebracht und erhärten dort nach einer gewissen Zeit. Die Schwachstelle des dauerhaften dichten Verschlusses des Wurzelkanals ist immer noch vorhanden, aufgrund der mangelnden Verbundfestigkeit zwischen Sealer und Wurzelkanalentin, als auch zwischen Sealer und Guttapercha.

Zahlreiche Studien haben sich mit Hilfe verschiedener Messungen zur Scherhaftkraft mittels Push-out-Test mit der Verbundfestigkeit von Sealern am Wurzelkanalentin befasst.

Acroseal wird als weiterentwickelter epoxidharzbasierter Sealer mit Calciumhydroxid vom Hersteller vorgestellt. Dieser ist eugenolfrei für verbesserte Kompatibilität mit modernen Adhäsiv-Restorationstechniken. Die absolute Unlöslichkeit in Wasser minimiert die Gefahr von Misserfolgen bei der Wurzelkanalbehandlung.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Haftverbund des Sealers *Acroseal* zum Wurzelkanalentin in Abhängigkeit verschiedener medikamentöser Einlagen zu beurteilen.

4 Literaturübersicht

4.1 Die medikamentöse Einlage

Die medikamentöse Einlage (Med) spielt eine entscheidende Rolle bei der Wurzelkanalfüllung, da für den Erfolg oder Misserfolg das Ausmaß der Keimreduktion im Kanal entscheidend ist. Zwar reduziert die Wurzelkanalaufbereitung die Mehrzahl der Keime, jedoch kann dadurch keine absolute Keimfreiheit sichergestellt werden. Daher wird bei einer infizierten, nekrotischen Pulpa eine medikamentöse Einlage empfohlen, um eine weitere Keimfreiheit zu erzielen [74]. Eine Med sollte demnach in der Lage sein, den Wurzelkanal effektiv zu desinfizieren. Des Weiteren soll das Medikament schmerzreduzierend wirken und keine Reizung auf das periradikuläre Gewebe ausüben, somit keine Allergien auslösen. Endotoxine sollen neutralisiert werden und somit das Risiko einer mikrobiellen Rekontamination verringert oder besser noch verhindert werden. Das einwirkende Medikament sollte möglichst auch gewebeauflösend sein, sodass das verbliebene infizierte Gewebe entfernt wird. Für den Behandler spielt die einfache Handhabung eine entscheidende Rolle und für die spätere Füllung sollte das Medikament keinen negativen Einfluss auf das Füllungsmaterial haben. Die genannten Ziele einer Med wurden in der Stellungnahme des Endodontie-Beirats der DGZ zusammengefasst [88].

Grundsätzlich sollten zur temporären intrakanalären Versorgung nur Medikamente Anwendung finden, die eine ausgeprägte und lang andauernde Wirksamkeit gegen die Bakterienspezies im Wurzelkanal aufweisen. Andererseits sollten dabei keinerlei Irritationen auf das periapikale Gewebe entfaltet werden [85, 78].

Man kann die medikamentösen Einlagen unterscheiden in Flüssigkeiten/Gele, Pasten und Stifte. Vertreter der Flüssigkeiten und Gele sind phenol- und formaldehydhaltige Präparate und CHX-Gel. Nach Stellungnahmen der DGZMK und der DGZ sollen jedoch phenol- und formaldehydhaltige Präparate keine Anwendung mehr in der Praxis finden. Begründet wird diese Tatsache darin, dass deren Toxizität höher ist als die antimikrobielle Wirksamkeit und sie durch das hohe Diffusionsvermögen, über welches sie verfügen, periapikale Entzündungen hervorrufen können. Die Anwendung dieser Präparate wird daher als obsolet bezeichnet [89].

CHX-Gel wird aufgrund seiner guten antimikrobiellen Wirkung sowohl als Spüllösung als auch als Med-Einlage verwendet. Im Gegensatz zu Calciumhydroxid besitzt es jedoch keine gewebeauflösende Wirkung [74]. Allerdings ist Chlorhexidin insbesondere auch gegen *Candida albicans* und *Enterococcus faecalis* wirksam. Diese beiden Keime gelten in der Endodontie als Problemkeime, da sie gegen Calciumhydroxid resistent

sind. Sie sind häufig bei Revisionsbehandlungen anzutreffen und die Ursache für das Scheitern einer Wurzelkanalbehandlung [25, 33].

Goldstandard unter den Pasten ist eine Calciumhydroxidpaste (*CalxyI*). Calciumhydroxid besitzt eine hohe antimikrobielle Wirkung, es induziert die Hartgewebsbildung und hemmt resorptive Prozesse. Es ist am geringsten toxisch und zugleich das effizienteste Wurzelkanalmedikament. Zur Applikation wird das Einrotieren mit einem Lentulo empfohlen, da es so zu einer homogenen Suspensionsverteilung kommt [104]. Einzig kritisch zu betrachten ist die Entfernung der Calciumhydroxideinlage. Häufig bleiben Reste an der Wurzelkanalwand oder in den Öffnungen der Dentinkanälchen zurück. Jedoch sollten diese durch intensive Spüllösungen in Kombination mit der Anwendung von Ultraschall auf ein Minimum reduziert werden [74]. Inzwischen gibt es auf dem Markt auch Calciumhydroxid-Stifte, die zur Anwendung kommen (*Roeko Calciumhydroxid Plus Points*).

Bei einer infizierten Pulpa und somit anhaltenden Schmerzen wird häufig eine Kortikosteroid-Paste (z.B. *Ledermix*) verwendet. Vorteil hier ist die schnelle Schmerzlinderung durch die Unterdrückung der Entzündungsreaktion. Hier wiederum ist der Einfluss auf die periapikale Heilung und die antibakterielle Wirkung durch das enthaltene Antibiotikum umstritten [74].

4.2 Spüllösungen in der Endodontie

Neben der mechanischen Aufbereitung des Kanals (Erweiterung und Formgebung) trägt das ausgiebige Spülen mit antibakteriellen und gewebeauflösenden Lösungen zur Reinigung des Wurzelkanals bei [81]. Durch die Spülung wird die Entfernung nekrotischen Gewebes und anfallender Dentinspäne erleichtert, des Weiteren wird auch die Anzahl der Keime im Wurzelkanalsystem reduziert. Die Instrumentierung wird ebenfalls erleichtert, da die Spüllösung als Schmiermittel dient [6, 37, 38].

Bei der Instrumentierung des Kanals entsteht eine Schmierschicht, die 1975 erstmals von McComb und Smith beschrieben wurde [61]. Dieser Smear layer besteht aus einem zähen, 1-5 µm dicken, oberflächigen Film und einem 20-40 µm messenden, tiefen Anteil. Weitere Bestandteile sind Dentinpartikeln, Geweberückständen, Bakterien und Wasser [40, 83].

Problematisch zu sehen ist, dass die Schmierschicht die Dentintubuli verbolzt, sodass der Sealer und das Wurzelfüllmaterial nicht mehr in die Tubuli eindringen können und somit nicht die geforderte Dichtigkeit zum Wurzeldentin erfüllt. Dadurch wird auch der Zutritt von medikamentösen Einlagen oder Spüllösungen in die Tubuli verhindert, was den Einsatz chemischer Spüllösungen erforderlich macht [48, 46, 19, 7, 61, 83, 91, 70, 71]. Die Spülwirkung ist jedoch nur effektiv, wenn die Spülkanüle auch genügend tief in

den Wurzelkanal hineinragt. Damit dies der Fall ist, wird eine Aufbereitungsgröße von mindestens #35-40 empfohlen. Einen weiteren Vorteil bringen dünne Kanülen von 0,3 - 0,4 mm mit sich, da diese tiefer in den Kanal eindringen können. Das Verkleben der Kanüle im Kanal sowie die Spülung unter hohem Druck sollte unterbunden werden, da die Spüllösung sonst in periapikales Gewebe überpresst wird, was wiederum zu Gewebedestruktionen führen kann [38]. Von Vorteil für die Auflösung des Biofilms können auch eine Aktivierung durch Ultraschall und eine längere Einwirkzeit im Kanal sein [14, 87].

Man unterscheidet zwischen Lösungen, die die Schmierschicht entfernen und wiederum anderen, die sie nur auflösen. Unterschiedliche Autoren stellten fest, dass man zur Entfernung der Schmierschicht sowohl organische (z.B. NaOCl), als auch anorganische (z.B. EDTA) Lösungen benötigt. Daher ist eine Wechselspülung mit einer Kombination aus beiden Spüllösungen empfehlenswert [9, 46, 61, 83].

Natriumhypochlorit (NaOCl)

Natriumhypochlorit gilt in Konzentrationen von 1 bis 5,25%iger Lösung schon seit Jahren als Mittel der Wahl zur Desinfektion des Wurzelkanals [16, 67, 6]. Natriumhypochlorit ist das Natriumsalz der hypochlorigen Säure (HOCl) und hat eine stark oxidierende (pH 12 bis 13) und chlorierende Wirkung. Die Prozentangaben beziehen sich auf die enthaltene Menge an Chlor, die maximal 12,5% beträgt.

Natriumhypochlorit erweist sich als effizient in der Auflösung des nekrotischen, sowie vitalen Gewebes. Die Wirkungsweise ist außerdem erfolgreich im Abtöten von Bakterien und in der Neutralisierung von Lipopolysacchariden [3, 11, 102, 37].

Ethylendiamintetraacetat (EDTA)

EDTA ist eine Chelatverbindung. Chelatoren binden Calciumionen aus dem Dentin (anorganische Komponente des Dentins), reduzieren somit die Härte des Dentins und lösen die Schmierschicht auf [37]. Bereits einminütiges Spülen mit einer 17%igen Lösung führt zu einer effektiven Auflösung der Schmierschicht [29, 60]. Die Effizienz wird jedoch nicht durch längeres Spülen verstärkt, sondern im Gegenteil dazu geschwächt. Es können bei längerer Spülung negative Begleiteffekte auftreten, etwa intratubuläre Erosionen des Dentins [12]. Durch eine kombinierte Anwendung mit NaOCl wird die Wirkung auf die Auflösung der Schmierschicht und hinzukommend die Auflösung der Debris gesteigert [37]. Die Spülung mit NaOCl sollte die Wechselspülung abschließen [44].

4.3 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer) in der Endodontie

Der Begriff „Sealer“ stammt aus dem englischen Sprachgebrauch und verdeutlicht die Eigenschaft des Materials, luft- und wasserdicht abzudichten oder zu versiegeln („to seal“).

Nachdem der Wurzelkanal aufbereitet, gesäubert und getrocknet wurde, muss dieser mit einer Füllung dicht verschlossen werden. Wichtig hierbei ist, dass möglichst das gesamte Wurzelkanalsystem mit den akzessorischen Seitenkanälen und offenen Dentintubuli dicht verschlossen werden. Nur so kann ein Wiedereintritt von Mikroorganismen und Flüssigkeiten minimiert bzw. verhindert werden [35].

Für Sealer gibt es noch weitaus mehr Anforderungen, die erfüllt werden sollten. Diese lassen sich anhand verschiedener Lehrbücher wie folgt zusammenfassen (siehe Tab. 1) [7, 39].

Tab. 1 Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterialien

Biologische Anforderungen	Physikalische Anforderungen	Praktische Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • biokompatibel • bakteriostatisch oder bakterizid • steril oder sterilisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • dimensionsstabil • undurchlässig für Feuchtigkeit • unlösbar in Körperflüssigkeiten • verformbar • flüssig oder halbfest und aushärtend • Haftung an der Kanalwand 	<ul style="list-style-type: none"> • ausreichende Verarbeitungszeit • Röntgenopazität • keine Verfärbung der Zahnhartsubstanz • leicht einzubringen • aber auch leicht entfernbar

Als Standardmethode dient nach aktueller Literatur ein Kernmaterial in Form eines oder mehrerer Wurzelstifte in Kombination mit einem erhärtenden Sealer [77, 103]. Der Sealer hat die Aufgabe, Unregelmäßigkeiten im Kanalsystem auszufüllen, Inkongruenzen zwischen der Form des Kanals und des Kernmaterials auszugleichen und einen guten Verbund zwischen dem Kernmaterial und dem Wurzelkanalentin herzustellen [79, 38, 7]. Durch den Verschluss der Durchtrittsmöglichkeiten werden die Passage von Flüssigkeiten und Bakterien auf ein Minimum reduziert.

Wurzelkanalfüllpasten lassen sich in unterschiedliche Materialgruppen einteilen:

- Glas-Ionomer-Zement-Basis (GIZ)
- Calciumsalicylate (Ca(OH)_2 -haltig)
- Zinkoxid-Eugenol-Pasten (ZOE)
- Epoxidharz-Basis
- Silikon-Basis

Wurzelkanalfüllpasten (WF-Pasten) auf der Basis von Glasionomer-Zementen wie *Ketac Endo* (3M ESPE) oder *Endion* (Voco) gelten als gewebeverträglich [50, 72, 107]. Bei diesen wird feinstteiliges Calcium-Aluminium-Fluoro-Silikatglas mit einer wässrigen Lösung einer Polycarbonsäure vermischt. Sie er härten durch eine Säure-Base-Reaktion unter Bildung eines Calcium-Aluminium-Carboxylats. Die vom Hersteller beschriebene chemische Bindung an Zahnhartsubstanz erweist sich nicht unbedingt als vorteilhaft gegenüber anderen Sealern. Vergleichsstudien mit anderen Sealern (*Tubli-Seal*, *AH Plus* und *Fibrefill*) zeigen bessere Werte [17]. Eine Entfernung der Schmierschicht begünstigt die Haftung von GIZ-Sealern am Kanalwandentin [92, 73]. Im periapikalen Gewebe werden Sealer auf GIZ-Basis nicht resorbiert. In einer Vergleichsstudie wies Ketac-Endo nach 14-tätiger Wasserlagerung mit einer mittleren Wasseraufnahme von 4,3% die höchste Wasseraufnahme aller untersuchten WF-Pasten auf [98]. Es liegen jedoch noch keine Langzeituntersuchungen zu Sealern auf GIZ-Basis vor. Zudem sind diese Sealer kaum mehr verfügbar, da *Ketac-Endo* und *Endion* mittlerweile nicht mehr hergestellt werden.

Vertreter auf Calciumsalicylat-Basis sind *Sealapex* (Kerr) und *Apexit* (Vivadent). Diese haben auf Grund ihres Gehalts an Calciumhydroxid eine gewisse antibakterielle Wirkung. Bei direktem Kontakt zum periapikalen Gewebe rufen diese WF-Pasten nur vergleichsweise geringe entzündliche Reaktionen hervor. Die Materialien weisen trotz beschriebener geringer Zytotoxizität gute bis ausgezeichnete Biokompatibilität auf [31, 41]. Hinsichtlich Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit zeigen die Ca(OH)_2 -haltigen Sealer auf Salicylatbasis eine hohe Konstanz, die Löslichkeit im Gewebe jedoch ist re-

lativ gering [8, 45, 57, 108]. Die Haftwerte am Wurzelkanaldentin müssen als relativ gering eingestuft werden im Vergleich zu epoxidharzbasierten Sealern [93]. Selbst die Entfernung der Schmierschicht hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Adhäsion [30].

Weit verbreitet sind Zinkoxid-Eugenol-Sealer (ZOE-Sealer). Diese Pasten werden als 2 Komponenten-Präparate angeboten, die nach Vermischen von Pulver und Flüssigkeit durch Bildung eines Zinkeugenolats ($(C_{10}H_{11}O_2)_2Zn$) erhärten. Dieses Eugenolat ist in Gewebeflüssigkeit löslich, wie von mehreren Autoren nachgewiesen wurde, sodass diese WF-Pasten nur in Kombination mit (halb-)festen Kernmaterialien zur Anwendung gebracht werden dürfen [27, 66, 97, 96]. Unter diesen Bedingungen weisen sie gute klinische Ergebnisse auf und verschließen den Wurzelkanal dauerhaft randständig [65, 94]. Als Nachteil muss das zytotoxische und kontaktallergene Potential des Eugenols gesehen werden. Dieses kann beispielsweise nach Überpressen im Oberkiefer zu Aspergillosen führen [79]. Vertreter der Sealer auf Zink-Eugenol-Basis sind *Grossman's Cement*, *Roth's Sealer* oder *Tubli-Seal*.

Zu den Vertretern der Sealer auf Epoxid-Harz-Basis gehören *AH 26*, *AH Plus*. Auch der in dieser Studie untersuchte Sealer *Acroseal* gehört zu den Sealern auf Epoxidharz-Basis. *Acroseal* wird als weiterentwickelter epoxidharzbasierter Sealer mit Zusätzen von Calciumhydroxid vom Hersteller vorgestellt [1]. Dieser ist eugenolfrei für verbesserte Kompatibilität mit modernen Adhäsiv-Restaurationstechniken. Die absolute Unlöslichkeit in Wasser minimiert die Gefahr von Misserfolgen bei der Wurzelkanalbehandlung. *Diaket* zählt ebenfalls zu den Kunstharz-Sealern und entspricht einer Weiterentwicklung von ZOE-Sealern, indem das Eugenol durch Beta-Keton ersetzt wurde.

Epoxidharz-Sealer weisen ein gutes Abdichtungsvermögen auf und sind dimensionsstabil [79, 34]. Dem Hauptvertreter dieser Sealer-Gruppe, *AH26*, wurden gewebstoxische Wirkungen durch die Freisetzung von Formaldehyd nachgewiesen. Dies wird heute als Kritikpunkt angesehen und daher wird von der Verwendung abgeraten [43, 56, 53]. Das Nachfolgeprodukt *AH Plus* besteht aus einem Pasten-Pasten-System, welches nach Vermischen der Ausgangskomponenten nach 24 bis 36 Stunden abbinde. Da *AH Plus* unlöslich ist und aufgrund der Abbindezeit lässt es sich im Falle einer Revision leicht entfernen [51]. Dieses enthält kein Methylenamin mehr und wird daher vom Hersteller als gewebeverträglicher beschrieben. Eine völlige Biokompatibilität ist jedoch nicht gegeben [42]. *AH Plus* wird in der Literatur aufgrund seiner guten Ergebnisse in klinischen Tests als Goldstandard beschrieben [54, 55, 80, 84].

Die Sealer auf Silikonbasis zählen zu den neueren Entwicklungen und sind noch relativ wenig untersucht. *RoekoSeal* ist eine Neuentwicklung in diesem Bereich. Dieser ist ein additionsvernetzender und silikonbasierter Sealer. Erste Berichte zum Abdichtungsverhalten dieser WF-Paste, welche beim Abbinden leicht expandiert, deuten auf eine gute Wandständigkeit hin. Diese entspricht jener des Sealers *AH Plus* oder übertrifft diese sogar geringgradig [20, 21]. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass neben dem Aspekt des Abdichtungsverhaltens insbesondere auch Untersuchungen zur Biokompatibilität vorliegen müssen. Eine Weiterentwicklung von *RoekoSeal* ist *GuttaFlow*, das zusätzlich Guttapercha-Partikel enthält. Beide weisen nur eine geringe Zytotoxizität auf [23].

4.4 Methoden zur Untersuchung des Haftverbunds

4.4.1 Scherversuch (Shear bond strength)

Je nach Fragestellung wird von der zu untersuchenden Hartschubstanz eine plane Fläche hergestellt. Darauf wird ein Zylinder des Befestigungsmaterials aufpolymerisiert. Alternativ kann ein zylindrischer Festkörper mit dem Befestigungsmaterial befestigt werden. Die Probenzähne werden in Trägermaterialien eingebettet, da sie so einfacher zu handhaben sind. In einer Testmaschine erfolgt die Abscherung der Zylinder durch parallel zur Klebefläche wirkende Kräfte [22].

4.4.2 Zugversuch an regulärem Dentin (Pull-out-Test)

Auch bei diesem Test wird ein Zylinder aus Testmaterial oder mit Hilfe des Testmaterials auf eine eingeebnete Fläche aufpolymerisiert. Der Unterschied besteht einzig in der Richtung der angewandten Kraft. Der Haftverbund wird hier durch senkrecht zur Klebefläche wirkende Zugkräfte bis zum Versagen belastet. Der Probenzahn sollte sich dabei nicht aus seiner eingebetteten Form lösen [40].

4.4.3 Ausstoßversuch (Push-out)

Für diesen Test müssen nach der Stiftzementierung transversale Schnitte der Wurzel angefertigt werden. Alle Scheiben verfügen über die gleiche Dicke, die zudem jeweils einen definierten Kanalabschnitt darstellen. Die Kraft wirkt über einen Pistill nahezu parallel zur Haftfläche. Die senkrechte Einstellung des Pistills auf die Fläche der Wurzelkanalfüllung muss gewährleistet sein.

Mit Hilfe dieser Methode können einzelne Wurzelkanalabschnitte untersucht werden.

4.4.4 Miniaturzugverfahren (Microtensile A & B)

Beim Miniaturzugverfahren gibt es zwei Formen:

- die Sanduhrform
- die Stäbchenform

Nach Aufpolymerisation einer Haube aus Befestigungsmaterial oder Befestigung eines Festkörpers auf der eingeebneten Zahnfläche werden die Zähne senkrecht zur Haftfläche in Scheiben einheitlicher Dicke geschnitten. In Verfahren A werden daraus sanduhrförmige Prüfkörper präpariert und in Verfahren B werden die Scheiben weiter in Stäbchen zersägt. In einer Testmaschine wird durch Abzug der Haftverbund bis zum Versagen belastet. Als nachteilig zu betrachten sind die filigrane und aufwendige Herstellung der vielen Prüfkörper und die Austrocknungsgefahr. Jedoch können durch die vielen kleinen Prüfkörper zuverlässig regionale Unterschiede festgehalten werden.

5 Versuchsplanung und Zielsetzung

In dieser *In-vitro*-Studie wollen wir den Einfluss verschiedener medikamentöser Einlagen auf den Haftverbund untersuchen. Hierzu werden 60 gereinigte, einwurzelige Zähne mit geradem Wurzelverlauf randomisiert in 6 Gruppen (n=10) eingeteilt.

Um später eine sinnvolle Vergleichbarkeit zu erreichen, ist für alle Zähne eine identische apikale Aufbereitung von ISO 60 vorgesehen. Nach Dekapitation aller Zähne auf 10 mm liegt eine identische Arbeitslänge aller Zähne von 8 mm vor. Die maschinelle Aufbereitung soll mit *BioRaCe* erfolgen. Die Zahnwurzeln werden zur besseren Handhabung in Kunststoffblöcke eingebettet und teilweise sollen die Verhältnisse im Mund nachgeahmt werden.

Die medikamentöse Einlage soll für 14 Tage im Wurzelkanal verbleiben und nach Entfernung der medikamentösen Einlage werden die Wurzeln mit einem bestimmten Spülprotokoll gespült.

Nachdem die Kanäle mittels Papierspitzen getrocknet sind, sollen die Stahlspreader mit dem Sealer *Acroseal* eingebracht werden.

Abschließend werden die Probenblöcke in eine Zwick-Universaltestmaschine eingespannt und mittels Pull-out-Versuch werden die Stahlspreader gezogen. Die Auswertung der einzelnen Spreader erfolgt dann visuell.

5.1 Nullhypothesen

Folgende Nullhypothesen sollen überprüft werden:

1. Verschiedene medikamentöse Einlagen zeigen keinen Unterschied auf den Haftverbund von *Acroseal* zum Wurzelkanalentin.
2. Der Frakturmodus nach erfolgter Haftverbundanalyse mittels Pull-out-Test nach Analyse der eingesetzten Stahlspreader ist in allen experimentellen Gruppen identisch.

6 Material und Methode

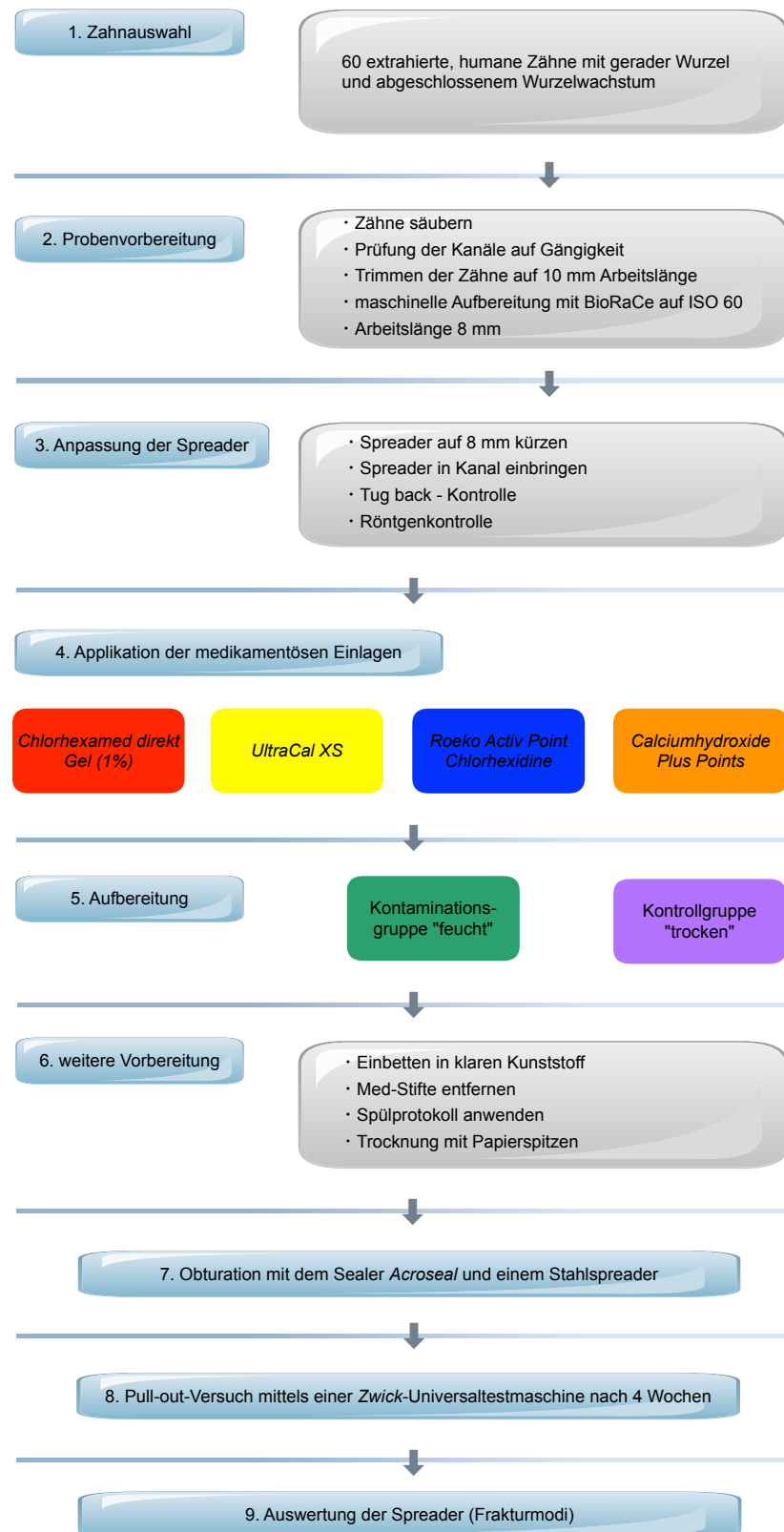


Abb. 1 Flowchart des Versuchsablaufs

6.1 Untersuchte Materialien in der Übersicht

Zur Versuchsdurchführung wurden 60 einkanäle Wurzel extrahierter, humaner Zähne ohne endodontische Vorbehandlung und Wurzelkaries randomisiert auf 6 Gruppen (n=10) verteilt. Nach Abtrennen der Krone auf Höhe des Pulpakammerbodens mittels einer diamantierten Trennscheibe wurde jeder Kanal bis 1 mm vor Apex bis auf eine Arbeitslänge von 8 mm maschinell bis ISO 60 bei 2% Konizität (.02/#60) aufbereitet.

Je 10 Wurzeln wurden den 4 zu untersuchenden Medikamenten zugeteilt:

- Gruppe A: *Chlorhexamed direkt Gel* (1%)
- Gruppe B: *UltraCal XS*
- Gruppe C: *Roeko Activ Points Chlorhexidine ISO 50*
- Gruppe D: *Calciumhydroxid Plus Points ISO 50*

Diese wirken 14 Tage auf das Wurzelentin ein. Eine feuchte und eine trockene Gruppe dienen als Referenz.

Diese Zähne wurden anschließend in klaren Prothesenkunststoff (Palapress®, Heraeus Kulzer GmbH) eingebettet mittels spezieller Hohlformen, welche aus gießbarer Dubliermasse (Silatec, DMG GmbH) angefertigt wurden.

Jede Gruppe unterliegt demselben Spülprotokoll:

- 1.) NaOCl (3%) + 1 min Aktivierung mittels *EndoActivator*
- 2.) EDTA + 1 min Aktivierung mittels *EndoActivator*
- 3.) NaOCl (3%)
- 4.) Aqua dest.

Nach anschließender Trocknung durch Papierspitzen wird der Sealer *Acroseal* nach Herstellerangaben in den Kanal eingebracht und der angepasste Stahlspreader verklebt.

6.2 Auswahl und Vorbereitung der Versuchszähne

Frisch extrahierte, humane Zähne wurden in einem Behältnis mit einer 0,5%igen Chlormamin-T-Lösung für ca. 14 Tage im Kühlschrank aufbewahrt. Aus diesen zusammengesuchten Zähnen wurden 60 Zähne ausgewählt, die weder kariös, noch endodontisch vorbehandelt sind und über eine gerade Wurzel mit nur einem möglichst runden Wurzelkanal verfügen. Außerdem sollte das Wurzelwachstum abgeschlossen sein, sodass der Apex intakt aufzufinden ist.

Alle Zähne wurden mit einer C-Feile ISO 15 auf Gängigkeit überprüft. Die Kronen der auserwählten Zähne wurden mit einer diamantierten Trennscheibe abgetrennt, sodass die reine Wurzel mit ca. 10 mm zur Versuchsdurchführung zur Verfügung stand und wurden anschließend mit einem Scaler (Hu-Friedy, Leimen) gesäubert.

Die einzelnen Wurzeln mit geraden Wurzelkanälen wurden mit *BioRaCe*-Instrumenten unter ständiger Spülung mit 3%iger NaOCl-Lösung bis 1 mm vor den Apex auf eine Arbeitslänge von 8 mm auf die Größe ISO 60 bei 2% Konizität (.02/#60) aufbereitet. Zwischen den einzelnen *BioRaCe*-Feilen wurden die Kanäle mit einer C-Feile ISO 15 rekapituliert und mit Natriumhypochlorit (3%) gespült.



Abb. 2 *BioRace*-Feilen-Basic-Set

Anschließend wurden 60 Spreader (.02/#55) an die Arbeitslänge von 8 mm angepasst (siehe Abb. 3a) und in die Wurzeln eingebracht. Jede Wurzel wurde geröntgt, um ovale Kanäle auszuschließen (siehe Abb. 3b). Ovale Kanäle wurden durch Ersatzzähne ausgetauscht, die das gleiche Procedere durchlaufen sind. Abschließend wurden die Zähne in destilliertem Wasser im Kühlschrank gelagert, um sie vor Austrocknung zu schützen.

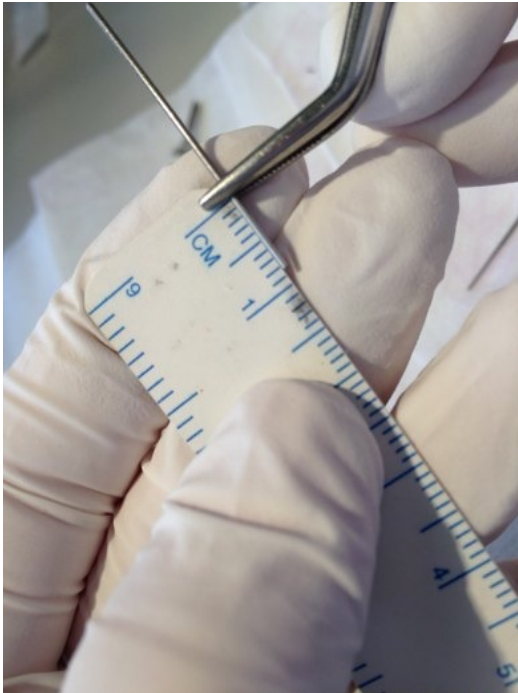


Abb. 3a Anpassung der Spreader an 8 mm Arbeitslänge

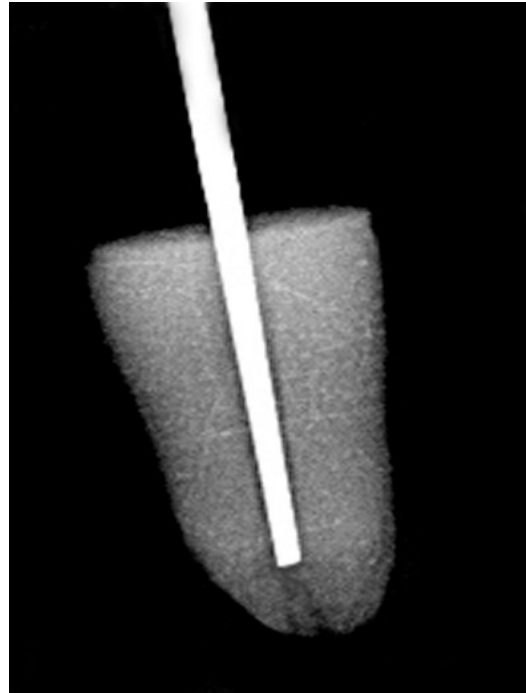


Abb.3b Röntgenkontrolle der Spreaderposition im Wurzelkanallumen

6.3 Medikamenteneinlage (14 Tage Einwirkzeit)

Für die bevorstehende Medikamenteneinlage wurden die 60 Zähne randomisiert in 6 Gruppen eingeteilt (n=10).

Tab. 2 Einteilung der medikamentösen Einlagen in Gruppen

Gruppe	Medikament
A	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>
B	<i>UltraCal XS</i>
C	<i>Roeko Activ Points Chlorhexidine</i>
D	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>
Kontaminationsgruppe „feucht“	bei 37°C und 100% Luftfeuchtigkeit gelagert
Kontrollgruppe „trocken“	Kanäle getrocknet

Alle Zähne wurden vor Einlage der Medikamente gründlich mit 3%igem NaOCl und 16%igem Na-EDTA gespült und gut mit Papierspitzen getrocknet.

In die 10 Wurzeln der Gruppe A wird mittels einer Kanüle CHX-Gel in den Kanal eingebracht. Die Überstände werden mit einer Watterolle entfernt und abschließend wird der Kanaleingang mit *Fermit* (Ivoclar Vivadent, Schaan) verschlossen. Gleiches passiert mit den jeweils anderen Gruppen und den dazugehörigen Medikamenten. Gruppe B mit *UltraCal XS*, Gruppe C mit Chlorhexidin-Stiften und Gruppe D mit Calciumhydroxid-Stiften (siehe Tab.2).



Abb. 4 Verwendete medikamentöse Einlagen

Wichtig hierbei ist, dass die Wurzelkanäle durch das *Fermit* verschlossen werden, so dass die Medikamente an ihrem Wirkort im Kanal verbleiben.

Alle verschlossenen Wurzeln werden nach der Medikamenteneinlage jeweils mit dem dazugehörigen Spreader in Eppendorf-Gefäße mit Aqua dest. eingelegt, um das feuchte Milieu der Mundhöhle nachzuahmen.



Abb. 5 Eppendorf-Gefäß mit Aqua dest. gefüllt und verschlossener Wurzel

Die medikamentösen Einlagen verblieben 14 Tage im Wurzelkanal.

Als Referenz liegt zum einen die Kontrollgruppe „trocken“ vor, in der die Kanäle nach 14 Tagen mit Papierspitzen getrocknet wurden und zum anderen die Kontaminationsgruppe „feucht“, welche 14 Tage bei 37°C 100% Luftfeuchtigkeit ausgesetzt ist.

6.4 Herstellung der Kunststoffblöcke

Um die Blöcke herzustellen, wurde der Deckel einer Endoform mit einem inneren Hohlraum versehen. Anhand dessen entstand eine einheitliche Form für die Blöcke aus Dubliermasse, in denen später die Zähne in klaren Prothesenkunststoff eingebettet werden sollten. Dazu bekamen alle Zahnwurzeln mit einem diamantierten Zylinder mindestens 3 Retentionsrillen mesial und distal alternierend eingefräst, um den Halt im Kunststoff zu gewährleisten.



Abb. 6a Schablone für Hohlform



Abb. 6b Hohlform aus Dubliermasse

Um eine Verbindung zwischen Zahn und Hohlform herzustellen, wurde der angepasste Spreader in dem Kanal über Friktion gehalten und mit dem oberen Ende in ein Parallelometer eingespannt. Das Parallelometer wurde benutzt, um die Zahnwurzel mit dem Spreader senkrecht in die Hohlform einzulassen, um dann den klaren Prothesenkunststoff in die Form fließen zu lassen. Hierbei war darauf zu achten, dass der Kanaleingang nicht mit Kunststoff kontaminiert wird und der Spreader herausnehmbar bleibt, da dieser erst im späteren Versuchsablauf eingeklebt wurde.

So entstanden lauter einheitliche Blöcke mit den Zahnwurzeln integriert. Auch diese wurden wieder feucht gelagert, sodass die Zahnwurzeln nicht austrockneten.

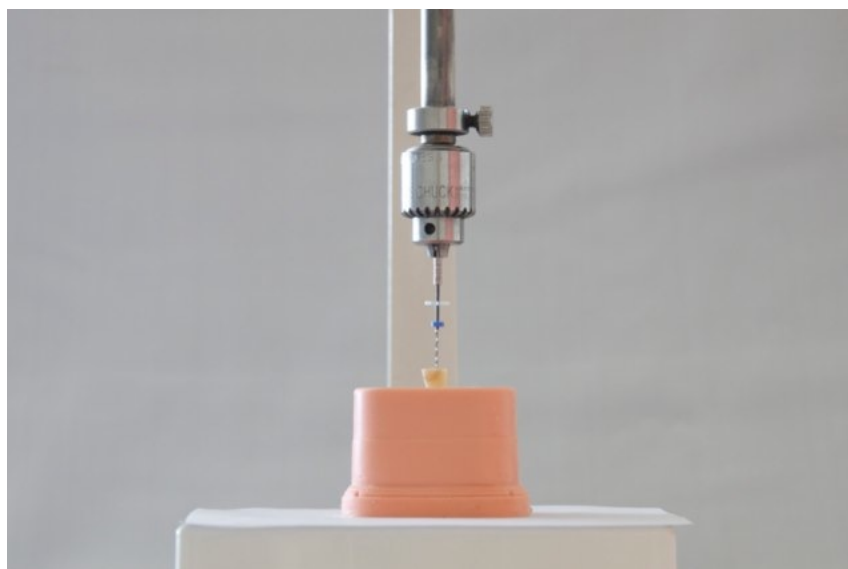


Abb. 7 Vorrichtung zur Herstellung der Probenblöcke

6.5 Spülprotokoll

Nach dem die Blöcke mit den jeweiligen Zahnwurzeln hergestellt wurden, mussten die Kanäle sofort gespült werden, um die Medikamentenreste sorgfältig zu entfernen. Alle 6 Gruppen unterlagen demselben Spülprotokoll (siehe Tab. 3).

Tab. 3 Verwendetes Spülprotokoll

Reihenfolge	Lösung	Menge (in ml)	Aktivierung (Endo-Activator)	Dauer der Aktivierung (in sec)
1	NaOCl (3%)	2,5	ja	60
2	EDTA (16%)	2,5	ja	60
3	NaOCl (3%)	2,5	nein	-
4	Aqua dest.	2,5	nein	-

Abschließend wurden alle Wurzelkanäle mit Papierspitzen ISO 55 gründlich getrocknet. Nur kurze Zeit später musste der Sealer eingebracht werden, da die Kanalwände in diesem Zustand optimal vorbereitet waren.

6.6 Befestigung der Spreader mittels Sealer

Um die Spreader im Kanal zu befestigen und die Versuchsdurchführung in der Prüfmaschine zu Ende zu führen, benötigten wir den Sealer.

In diesem Versuch wurde der Sealer *Acroseal* (Septodont, Niederkassel) in Verbindung mit den 4 unterschiedlichen Medikamenten im Bezug auf den Haftverbund untersucht. Dieser wurde nach Herstellerangaben mit einer Kanüle in den Kanal eingebracht. Auch der Spreader wurde leicht mit Sealer benetzt und dann ohne großen Druck in den Kanal eingebracht. Die Überschüsse wurden belassen.

Die Blöcke wurden nach dem Aushärten des Sealers erneut feucht gelagert.



Abb. 8 Verwendeter Sealer Acroseal

6.7 Messreihe

Mit Hilfe einer universalen Prüfmaschine „Zwick“ (Zwick, Ulm, Deutschland) wurde am Folgetag die Messung der Scherkraft in MPa durchgeführt. Die einzelnen Kunststoffblöcke wurden anhand der Spreader in eine Haltevorrichtung eingespannt.

Die Einleitung der Zugkraft erfolgte entlang der Längsachse des Spreaders. Die Zugkraft steigt solange an, bis der Spreader mit einer bestimmten Kraft aus dem Wurzelkanal herausgelöst wird. Hieraus ergibt sich ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

In diesem Fall kann von einem Scherversuch gesprochen werden, da die Haftung hauptsächlich über die Wurzelkanalwand zustande kommt. Die Kraft, die den Spreader aus dem Wurzelkanal herauslöst, liegt parallel der Klebefläche an.

Folgende Einstellungen wurden vorgenommen:

Tab. 4 Einstellungen der Zwick-Universaltestmaschine

LE-Geschwindigkeit	300 mm/Min.
Prüfgeschwindigkeit	2 mm/Min.
Kraftabschaltsschwelle	50 % F max
Kraftschwelle für Bruch	0,1 % F nom
obere Kraftgrenze	2000 N
Messlänge Standardweg	50 mm

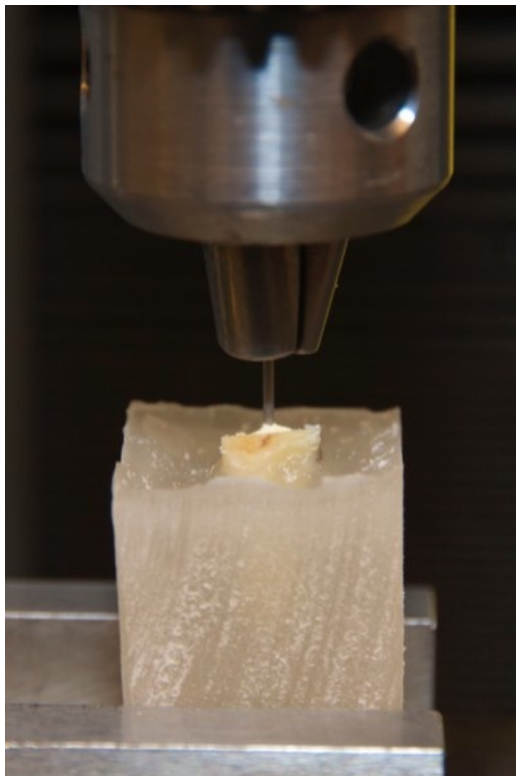


Abb. 9a Zwick-Universaltestmaschine mit eingespannter Probe vor Pull-Out-Versuch

Abb. 9b Nach Pull-Out-Versuch

6.8 Auswertung der Frakturmodi

Die Stahlspreader, die mittels der Zwick-Universaltestmaschine extrudiert wurden, wurden abschließend einer visuellen Auswertung unterzogen. Die Fotodokumentation erfolgte mittels einer Digitalspiegelreflexkamera (*Canon EOS 500D*) mit angeschlossenen Micro-Objectiv (*Canon MP-E 65*) bei 3-facher Vergrößerung. Alle Spreader wurden von 2 Seiten abgelichtet um die unterschiedlichen Frakturmodi auswerten zu können.



Abb. 10 Beispiel eines extrudierten Stahlspreaders

6.9 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit dem Programmpaket *SPSS* für Windows, Version 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Für die statistische Auswertung wurde zunächst analysiert, ob die Werte Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test), Mittelwertgleichheit (Welch-Test) sowie Varianzhomogenität (Levene-Test) aufwiesen. Um die Werte auf Normalverteilung zu überprüfen, wurden zum einen der Kolmogorov-Smirnov-Test und zum anderen der Shapiro-Wilk-Test angewandt. In dieser Versuchsreihe ist jedoch der Shapiro-Wilk-Test der bessere, da er eine höhere Teststärke bei kleineren Fallzahlen besitzt ($n < 50$).

Der Levene-Test ist ein Varianzhomogenitätstest. In diesem Fall liegt Varianzhomogenität vor ($p = 0,063$).

Der Welch-Test bestimmt die Mittelwertgleichheit in den Gruppen. Wenn $p < 0,05$ liegt keine Mittelwertgleichheit vor. Die Statistik zeigt, dass in den Gruppen dieser Studie keine Mittelwertgleichheit vorliegt, da $p = 0,006$.

Da teilweise die Bedingungen in den einzelnen Fällen nicht gegeben waren, wurden die nicht parametrischen Tests eingesetzt. Der Kruskal-Wallis-Test ergab, dass in allen Gruppen keine signifikanten Unterschiede zu erkennen sind ($p = 0,061$).

7 Ergebnisse

Die Haftwerte des Sealers *Acroseal* am Kanalwanddentin wurden 24 Stunden nach Setzen des Stiftes und feuchter Lagerung bei 37°C durch ein Pulloutverfahren nach Ebert et al. (2011), welches eine Dezementierung des Stiftes durch axiale Kräfte bezweckt, ermittelt. Die Auswertung des Versuchs zur Ermittlung der Haftkraft erfolgte computergestützt. Hierbei wird für jeden Zugversuch ein Spannungs-Dehnungsdiagramm erstellt.

7.1 Haftfestigkeit in MPa des Wurzelkanalsealers *Acroseal* am Wurzelkanaldentin

Shapiro-Wilk-Test

Um die Werte auf Normalverteilung in den Gruppen zu testen, wurde der Shapiro-Wilk-Test angewandt. Dieser besitzt eine höhere Teststärke bei kleineren Fallzahlen ($n < 50$) als beispielsweise der Kolmogorov-Smirnov-Test.

Der Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte nur in der feuchten und trockenen Gruppe normalverteilt waren.

Tab. 5 Normalverteilung der Gruppen

Medikamentöse Einlage oder Kanalbedingungen	Statistik	df	Signifikanzwert
<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	0,707	10	0,001
<i>UltraCal XS</i>	0,699	10	0,001
<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	0,793	10	0,012
<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	0,800	10	0,015
feucht	0,922	10	0,371
trocken	0,895	10	0,195

Levene-Test

Dieser Test überprüft die Varianzhomogenität in den Gruppen. In dieser Studie liegt Varianzhomogenität vor ($p=0,063$).

Tab.6 Varianzhomogenität

Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
2,242	5	54	0,063

Welch-Test

Der Welch-Test zeigt an, dass keine Mittelwertgleichheit vorliegt, da $p < 0,05$ ist ($p=0,006$).

Tab. 7 Mittelwertgleichheit der Gruppen

Statistik ^a	df1	df2	Signifikanz
4,316	5	23,628	0,006

^a: asymptotisch F-verteilt

Kruskal-Wallis-Test

Die Haftfestigkeit von Acroseal wurde in sechs Gruppen untersucht. Es konnten die höchsten Haftwerte für die Kontaminationsgruppe „feucht“ (Mittelwert 1,58) ermittelt werden. Calciumhydroxid, unabhängig davon, ob als Stift oder Paste, bewirkte bei *Acroseal* vergleichbare Haftwerte. Nach Einlage von *Roeko Activ Point Chlorhexidine* resultieren insgesamt die geringsten Haftwerte, wohingegen der Einsatz von *Chlorhexamed direkt Gel (1%)* höhere Haftwerte aufwies. Die Unterschiede der Haftwerte nach den medikamentösen Einlagen waren insgesamt nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,061$).

Tab. 8 Ergebnisse für die Haftwerte der einzelnen Gruppen

Medikamentöse Einlage oder Kanalbedingungen	Anzahl der Proben	Mittelwert (in MPa)	Medianwert (in MPa)	Standardabweichung (in MPa)	Maximum (in MPa)	Minimum (in MPa)
<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	10	1,32	0,33	1,86	5,99	0,12
<i>UltraCal XS</i>	10	0,96	0,55	1,13	3,94	0,14
<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	10	0,38	0,28	0,36	1,24	0,04
<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	10	1,03	0,44	1,13	3,38	0,11
feucht	10	1,58	1,78	0,87	2,65	0,2
trocken	10	1,29	1,05	1	3,31	0,27

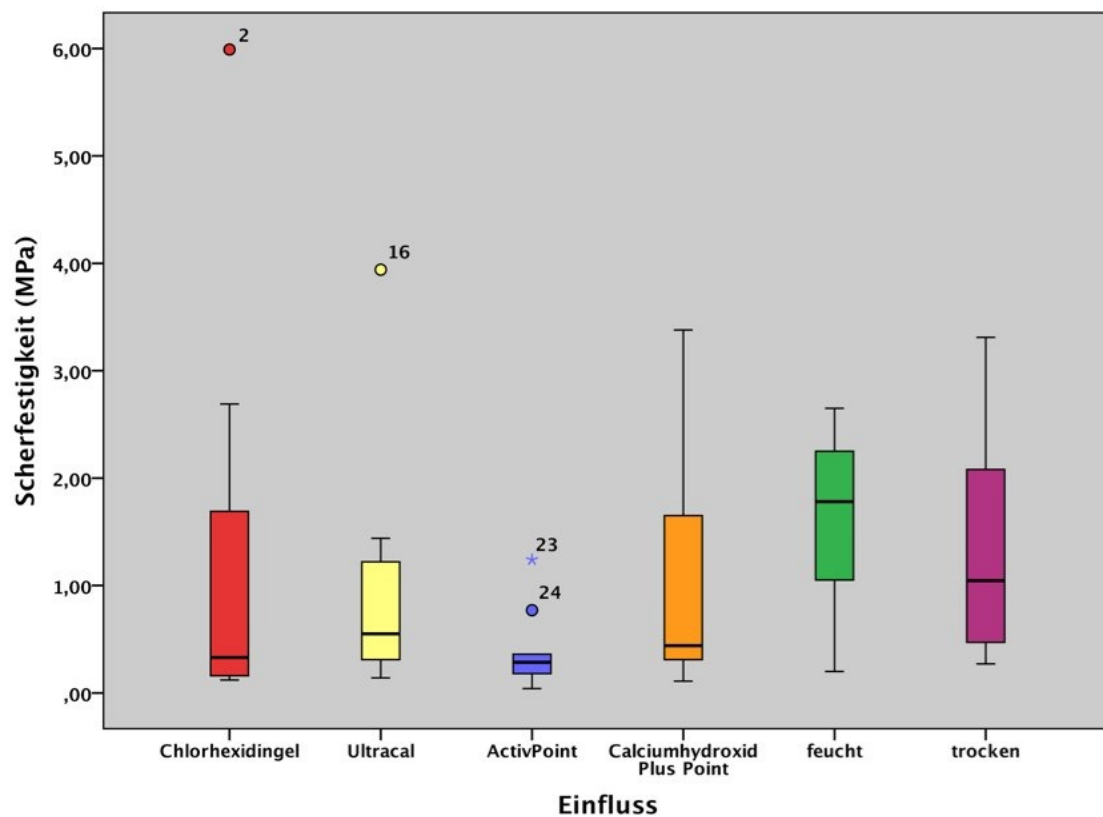


Abb. 11 Scherhaftkraft der verschiedenen Versuchsgruppen

Mann-Whitney-Test

Dieser Test vergleicht jeweils zwei Gruppen miteinander. Hierbei kommt heraus, dass die Haftwerte nach Einsatz von *Roeko Activ Points Chlorhexidine* gegenüber der trockenen sowie der feuchten Gruppe signifikant geringer sind. Dies wäre allein bei der Berechnung mit dem Rangsummen-Test nach Kruskal-Wallis nicht herausgekommen.

Tab. 9 Ergebnisse Mann-Whitney-Test

	Medikamentöse Einlage 1	Medikamentöse Einlage 2	Werte
1 vs 2	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	<i>UltraCal XS</i>	0,705
1 vs 3	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	0,326
1 vs 4	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	0,850
1 vs 5	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	feucht	0,226
1 vs 6	<i>Chlorhexamed direkt Gel (1%)</i>	trocken	0,241
2 vs 3	<i>UltraCal XS</i>	<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	0,104
2 vs 4	<i>UltraCal XS</i>	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	0,940
2 vs 5	<i>UltraCal XS</i>	feucht	0,112
2 vs 6	<i>UltraCal XS</i>	trocken	0,241
3 vs 4	<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	0,173
3 vs 5	<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	feucht	0,004*
3 vs 6	<i>Roeko Activ Point Chlorhexidine</i>	trocken	0,007*
4 vs 5	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	feucht	0,199
4 vs 6	<i>Roeko Calciumhydroxid Plus Points</i>	trocken	0,326
5 vs 6	feucht	trocken	0,450

(Werte mit * = signifikante Unterschiede)

7.2 Frakturanalyse

Nach den Versuchen wurde eine Frakturanalyse der Proben aus allen Versuchsgruppen durchgeführt. Die Auswertungen der Bruchflächen an den Spreadern durch visuelle Kontrolle unter einem Lichtmikroskop sollte klären, um welchen Bruchmechanismus es sich bei den Prüfkörpern handelt.

Der Adhäsionsbruch führt zu einem Verlust der Haftung des Befestigungsmaterials am Metall, ein kohäsiver Bruch dagegen ist durch ein Materialversagen des Sealers gekennzeichnet. Die unterschiedlichen Bruchqualitäten sind in den folgenden Abbildungen veranschaulicht (Abb. 12 a-c). Die Abbildung ist überproportional dargestellt.

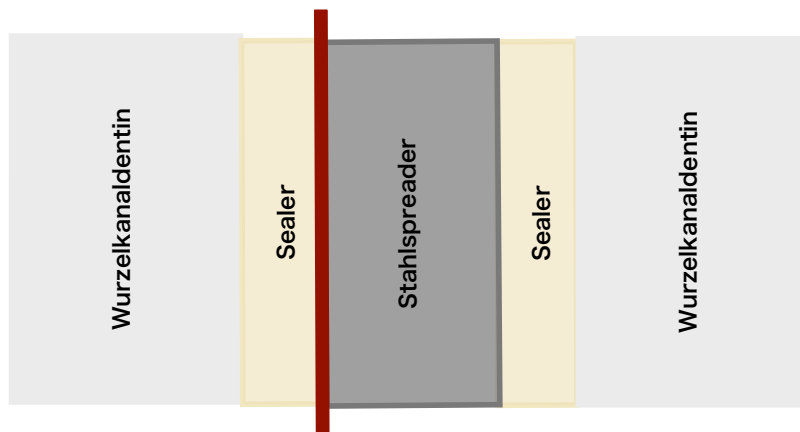


Abb. 12a Adhäsionsbruch (Spreader) - Bruch an der Grenzfläche

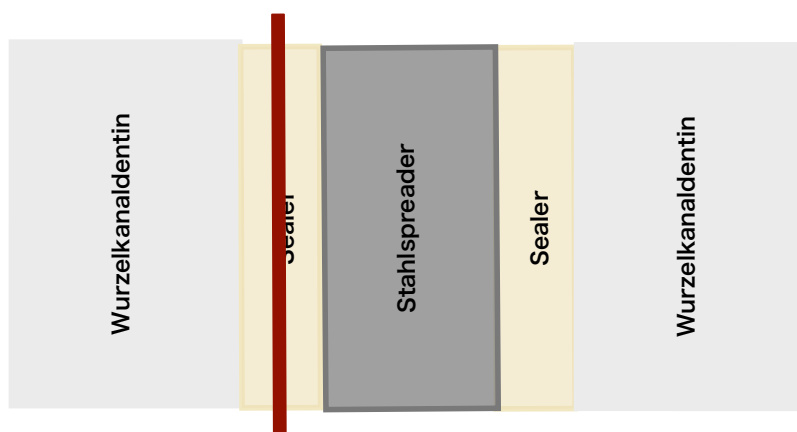


Abb. 12b Kohäsionsbruch - Bruch im Werkstoff

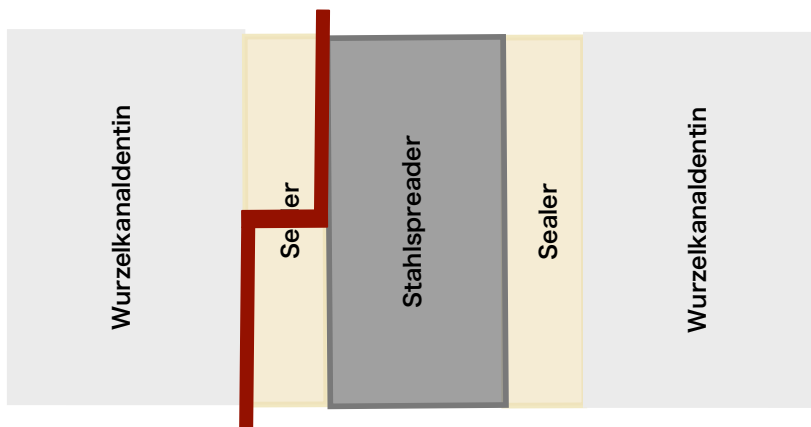


Abb. 12c gemischter Bruch - Bruch an Grenzfläche, sowie im Werkstoff

Als Kriterium gilt das Vorhandensein von Sealer auf der Metalloberfläche nach dem Debonding. Haftet an den Spreaderoberflächen nach dem Abscheren Material, handelt es sich um einen kohäsiven Bruch.

Ist nach dem Abscheren eine freiliegende Metalloberfläche zu beobachten, liegt ein adhäsives Bruchversagen der Klebeverbindung vor. Diesen Bruch kann man noch genauer unterteilen als Bruch zwischen der Kanalwand und dem Sealer oder als Bruch zwischen dem Sealer und der Spreaderoberfläche. Wichtig ist hier zu erwähnen, dass es sich nicht um das typische adhäsive Verhalten wie bei Compositen handelt.

7.3 Auswertung der Spreader

Tab. 10 Prozentuale Verteilung der Frakturmodi

Fraktur	Gruppe					
	1	2	3	4	5	6
Adhäsionsfraktur	70 %	20 %	10 %	30 %	80 %	60 %
Kohäsionsfraktur	-	-	30 %	20 %	-	-
gemischte Fraktur	30 %	80 %	60 %	50 %	20 %	40 %

Innerhalb der Gruppe 1 (*Chlorhexamed direkt Gel, 1%*), Gruppe 5 (trocken, keine Med) und Gruppe 6 (feucht, keine Med) wird ein adhäsiver Frakturmodus zwischen dem Sealer und der Spreaderoberfläche beobachtet (60-80 %). Bei den Gruppen mit medikamentösen Einlagen variiert der Frakturmodus, wobei man vermehrt (Gruppen 2, 3 und 4) eine gemischte Fraktur beobachtet.

Bei den medikamentösen Stifteinsätzen Gruppe 3 (*Chlorhexidine Activ Points*) und Gruppe 4 (*Calciumhydroxide Plus Points*) kann man eine geringe Prozentzahl (20-30 %) kohäsives Versagen feststellen. Das kohäsive Versagen innerhalb des Werkstoffs ist in keiner weiteren Gruppe zu beobachten. Spreaderfrakturen sind in keinem Fall aufgetreten.

Abb. 13 a-c zeigen die drei aufgetretenen Beispiele der Aufnahmen unter einem Lichtmikroskop.



Abb. 13a Adhäsionsbruch zum Stift



Abb. 13b Kohäsionsbruch



Abb. 13c gemischter Bruch

8 Diskussion

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt neben einer suffizienten Aufbereitung vor allem von der Desinfektion des Wurzelkanalsystems und von der Dichtigkeit der Wurzelfüllung und der finalen, koronalen Restauration ab. Je größer die Menge an Spülflüssigkeit ist, desto besser ist die Keimreduktion und desto weniger Debris bleibt zurück [105]. Eine vollständige Dekontamination kann ohnehin nur durch eine Penetration der Spülung in das pulpale Dentin erreicht werden [83]. Hülsmann empfiehlt zusätzlich eine medikamentöse Einlage, um weitere Keimfreiheit zu erzielen [74]. Grundsätzlich sollten zur temporären intrakanalären Versorgung nur Medikamente Anwendung finden, die eine ausgeprägte und lang andauernde Wirksamkeit gegen die Bakterienspezies im Wurzelkanal aufweisen. Andererseits sollten dabei keinerlei Irritationen auf das periapikale Gewebe entfaltet werden [85, 78].

Hinzukommt, dass die Wurzelkanalbehandlung zu den ätiologischen Hauptfaktoren für vertikale Wurzelfrakturen zählt [28]. Daher ist es wünschenswert, dass bereits die Füllung des endodontisch behandelten Kanals mit Sealer und Kernmaterial zu einer langfristigen Stabilisierung des geschwächten Zahnes führt. Voraussetzung hierfür ist, dass die verwendeten Materialien eine hohe Haftfestigkeit sowohl zueinander als auch zum Wurzelkanaldentin aufweisen.

Die Verbundfestigkeit des Wurzelkanalsealers *Acroseal* zum Wurzelkanaldentin wurde in dieser Studie hinsichtlich des Einflusses unterschiedlicher medikamentöser Einlagen untersucht. Ferner wurde die Frage gestellt, welche Faktoren die Haftung der Sealer am Wurzelkanaldentin beeinflusst.

Um die komplexen Auswirkungen verschiedener Materialien und Chemikalien auf die Mechanik des Zahnes zu ergründen, wird im Folgenden auf einige grundlegende Aspekte der Dentinbiologie im Zusammenhang mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie näher eingegangen.

8.1 Diskussion der Methodik

8.1.1 Auswahl der Probenzähne

Die extrahierten Zähne wurden bis zu Beginn der Studie in 0,5 %iger Chloramin-T-Lösung gesammelt und aufbewahrt. Aufgabe der Chloramin-T-Lösung war zum Einen die Desinfektion der extrahierten Zähne und zum Anderen die Austrocknung des Dentins zu vermeiden. *Mobarak et al.* stellten hierzu fest, dass Zähne die zwei Jahre in einer 0,5%igen Chloramin-T-Lösung gelagert wurden, keine signifikanten Unterschiede in den Haftwerten aufzeigten im Vergleich zu frisch extrahierten Zähnen [63]. Somit ist davon auszugehen, dass selbst längere Aufbewahrungszeiten in Chloramin-T-Lösung keine Veränderung der Haftwerte am Dentin zur Folge hat [62, 86].

Die einzelnen Zahnwurzeln und auch die später hergestellten Probenblöcke wurden in Aqua dest. bzw. in einer feuchten Kammer bei 37 °C gelagert, um ähnliche Bedingungen bezüglich der Feuchtigkeit und Wärme wie im Mund zu simulieren.

Für die Studie wurden Zähne unterschiedlichen Alters verwendet. Dabei ließ sich jedoch nicht ausschließen, dass altersbedingte Veränderungen am Wurzelkanalentin wie Sklerosierungen, Tertiärdentinbildung oder Mikrorisse die Ergebnisse beeinflussen. Mit der Dentinaalterung kommt es zu einer Umverteilung des Minerals, das zu einem besseren Zusammenhalt zwischen dem inter- und peritubulären Dentin führt [5]. Obwohl das Elastizitätsmodul zwischen transparentem und normalem Dentin keine signifikanten Unterschiede zeigt, ist das Deformationsverhalten deutlich anders [49]. Sicher wäre es sinnvoll, Zähne identischen Alters zu verwenden, um den Einfluss von Variablen zu minimieren. Dies lässt sich jedoch in der Praxis nur schwer realisieren.

Durch die randomisierte Zuordnung zu einer der sechs Versuchsgruppen konnte der Einflussfaktor „Alter“ reduziert werden. Zudem wurde durch das Pull-out-Verfahren die Scherfestigkeit im gesamten Kanal gemessen, sodass der Einfluss der möglichen apikalen Sklerosierung auf die Messwerte verringert wurde.

Des Weiteren konnte eine unerwünschte Keilwirkung der Spreader im Kanal beim Auszug möglichst gering gehalten werden. Die Entscheidung für die maschinelle Aufbereitung mit BioRaCe-Instrumenten diente dazu, nahezu gleich große Wurzelkanäle der Größe ISO 60 herzustellen. Somit sollten möglichst identische Dentinwandoberflächen geschaffen werden, sodass auch die Sealerproben in allen Probenblöcken nahezu gleichmäßig sind. Schwankende Sealerschichtstärken stellen daraus resultierend eine mögliche Ursache für erhöhte Standardabweichungen dar.

8.1.2 Einsatz von Spreadern zur Analyse des Haftverbunds

Für diese Studie haben wir uns für den Pull-out-Test nach Ebert et al. entschieden. Diese sieht den Einsatz von Stahlsreadern vor. Diese sorgen für die nötige Kraftübertragung auf die zu testende Fläche. Bei den zu erwartenden Kräften tritt bei den Stahlsreadern keine Verformung des Stahls ein und somit auch keine Ergebnisverfälschung. Das Material bewies sich als geeignet, da keinerlei Stiffbrakturen auftraten.

Im Rahmen dieser Studie wurde durch die Verwendung der Stahlsreader die Single-cone-Technik/Zentralstifttechnik als Obturationstechnik eingesetzt. Diese stellt im Vergleich zu anderen Techniken eine gleichmäßigere Sealerverteilung und eine geringere Variabilität, unabhängig von der behandelnden Person in ihrer Durchführung dar. Die Single-cone-Technik sorgte für eine möglichst hohe Sealerpenetration an der Dentinoberfläche [100].

D'Arcangelo et al. zeigten auf, dass zu dicke oder auch zu dünne Sealerstärken die Werte des Pull-out-Versuchs negativ beeinflussen [15, 18]. Die Schwankungen der Sealerschichtstärken können somit ein Einflussfaktor für die Haftwerte der einzelnen Proben innerhalb einer Versuchsgruppe sein. In der Versuchsdurchführung wurde das überschüssige Material aus dem Kanal herausgedrückt, indem der Spreader unter möglichst gleichmäßiger Kraft in den Kanal eingebracht wurde. Dadurch sollte ein möglichst identischer Sealerfilm im Kanal erreicht werden.

Um des Weiteren eine Klemmwirkung zwischen Spreader und Kanalwand zu verhindern und damit einen zusätzlichen Faktor auszuschließen, wurde die Spreadergröße mit ISO 55 kleiner gewählt als die endgültige Aufbereitungsgröße der Kanäle (ISO 60). Die apikale Passgenauigkeit jedes Spreaders wurde jedoch durch eine Tug-back-Probe überprüft. Dadurch soll wiederum verhindert werden, dass das komplette Sealermaterial herausgedrückt wird.

Die Spreaderoberflächen wurden jedoch nicht silanisiert und silikatisiert, sodass Unebenheiten an der Grenzfläche auftreten können. Dies kann auch dazu führen, dass die Haftwerte im Vergleich zu Studien mit entgrateten Spreadern geringer ausfallen.

Zusätzlich schafft die maschinelle Präparation des Wurzelkanals mit *BioRaCe*-Instrumenten eine vergleichbare Ausgangssituation für alle Versuchszähne. Es entsteht ein annähernd kreisrundes Wurzelkanallumen, welches als Grundvoraussetzung für die Einstifttechnik gilt und dadurch auch optimale Dichtigkeitsergebnisse erzielt werden können [47, 69, 101, 106].

Dennoch ist nicht auszuschließen, dass trotz standardisierter Aufbereitung der Wurzelkanäle unbearbeitete Areale im Kanal verbleiben, die zur Entstehung einer dickeren Sealerschicht führen können. Nicht nur durch die standardisierte Aufbereitung, sondern

auch durch die exakte Adjustierung der Spreader an die jeweiligen aufbereiteten Wurzelkanäle, haben wir versucht diesen Faktor zu reduzieren.

8.1.3 Medikamentöse Einlage

Die medikamentöse Einlage spielt eine entscheidende Rolle bei der Wurzelkanalfüllung, da die Keimreduktion im Kanal entscheidend ist für eine adäquate Wurzelkanalbehandlung. *Hülsmann* empfiehlt daher neben der mechanischen Aufbereitung eine medikamentöse Einlage, um weitere Keimfreiheit zu erhalten [74]. Die Europäische Gesellschaft für Endodontie legte 1994 folgende Anforderungen an eine medikamentöse Einlage fest.

Diese sollte in der Lage sein, den Wurzelkanal effektiv zu desinfizieren und verbliebenes Gewebe aufzulösen. Des Weiteren sollte das Medikament keine Reizung auf das periradikuläre Gewebe ausüben und keine Allergien hervorrufen.

In dieser Studie verwendeten wir die Pasten *Chlorhexamed direkt Gel* (1%) und *Ultra-Cal XS*, sowie die stiftförmigen Einlagen *Activ Points Chlorhexidine* und *Calciumhydroxid Plus Points*.

Chlorhexidindigluconat hat den Vorteil des großen Wirkspektrums und kann somit auch *Candida albicans* und *Enterococcus faecalis* entgegenwirken [25, 33]. Andererseits wird die Verwendung von CHX als medikamentöse Einlage auch kontrovers diskutiert. CHX besitzt geringe Toxizität und wirkt nicht gewebeauflösend.

Calciumhydroxid hingegen ist die meistverwendete medikamentöse Einlage bei der Wurzelkanalbehandlung. Ca(OH)_2 besitzt einen hohen pH-Wert. Die positive Wirkung beruht darauf, dass Ca(OH)_2 freie Fettsäuren aus bakteriellen Lipopolysacchariden hydrolysiert und diese damit auslöst [75].

Die Points wurden je zwei ISO-Größen kleiner eingebracht, da man der Quellung entgegenwirken wollte. Diese Dimensionsänderung wurde in Vorversuchen festgestellt.

Bedeutend ist auch die Entfernung des Smear layers vor der Applikation des Medikaments, da sich dadurch Ca(OH)_2 im Nachhinein besser wieder entfernen lässt [4].

8.1.4 Einfluss der Schmierschicht

Das Spülprotokoll dieser Arbeit führt zu einer Veränderung der Dentinoberfläche. EDTA führt zu der Entfernung der Schmierschicht, welche durch die endodontische Aufbereitung entsteht. Seit ihrer Beschreibung durch McComb und Smith 1975 wurde die Schmierschicht vielfach diskutiert [76].

Man weiß inzwischen, dass die Schmierschicht als Reservoir für Mikroorganismen fungieren kann. Daher wurde die Entfernung der Schmierschicht empfohlen [68]. Belässt man die Schmierschicht, behindert dies die Ausbildung von Sealerzotten in die Dentintubuli. Dadurch kommt es zu einer verminderten Haftung durch mikromechanische Kräfte. In einer Studie mit verschiedenen Sealern konnte eine Penetration in die Tubuli bis zu einer Tiefe von 35 bis 80 µm gemessen werden, wenn der Smear layer vorher mit EDTA entfernt wurde [52].

Zur Entfernung der Schmierschicht eignen sich EDTA und Zitronensäure. In dieser Studie wurde EDTA verwendet. Beide Materialien sind hinsichtlich ihrer Reinigungseffizienz vergleichbar. Zitronensäure jedoch besteht aus kleineren Molekülen, kann daher mehr Calcium als EDTA binden und ist bei der Entkalkung der Schmierschicht sowie des Dentins effizienter [59].

8.1.5 Volumenverhalten der Sealer

Eine der Hauptanforderungen an Wurzelfüllmaterialien ist ein gutes Abdichtungsvermögen und Dimensionsstabilität [82]. Daher sollten die Sealer volumenstabil sein. Das Abdichtungsvermögen der Wurzelkanalfüllung ist zum Teil von der Filmdicke des Sealers abhängig. Ist der Spalt zwischen Kanalwand und Wurzelstift kleiner als die geringstmögliche Filmdicke, wird der Sealer negativ verdrängt. Somit könnte die Dichte der Wurzelkanalfüllung negativ beeinflusst werden [99].

Des Weiteren sollten Sealer niedrig-viskös sein, um ein Einbringen in den Kanal zu erleichtern. Gleichzeitig wird auch die adäquate Benetzung der Wurzelkanalwand ermöglicht. Im Zusammenhang mit der Haftung am Wurzelkanalwanddentin spielt der Schrumpfstress eine große Rolle. Dieser kann in tiefen und engen Kanälen nur schlecht kompensiert werden [26].

D'Arcangelo et al. zeigten auf, dass zu dicke oder auch zu dünne Sealerstärken die Werte des Pull-out-Versuchs negativ beeinflussen [15, 18]. Die Schwankungen der Sealerschichtstärken können somit ein Einflussfaktor für die Haftwerte der einzelnen Proben innerhalb einer Versuchsgruppe sein. In der Versuchsdurchführung wurde das

überschüssige Material aus dem Kanal herausgepresst, indem der Spreader unter möglichst gleichmäßiger Kraft in den Kanal eingebracht wurde. Dadurch sollte ein möglichst identischer Sealerfilm im Kanal erreicht werden.

8.1.6 Messung der Verbundfestigkeit

Für die Messung der Verbundfestigkeit zwischen Sealer und Dentin gibt es verschiedene Methoden, die *in-vitro* durchgeführt werden können. Angewendet werden zum einen Zugversuche mit Kraftereinleitung senkrecht zur Klebefläche und zum anderen Scherversuche mit Kraftereinleitung parallel zur Klebefläche.

In der vorliegenden Studie wurde die Verbundfestigkeit mittels eines Pull-out-Tests ermittelt. Die Probenblöcke bzw. Spreader werden in eine Prüfmaschine eingespannt, wo eine parallel zur Klebefläche wirkende Kraft bis zum adhäsiven Versagen einwirkt [32]. Man kann in diesem Versuch aufgrund der standardisierten Spreader die Haftfestigkeit der verwendeten Wurzelfüllmaterialien zum Dentin und zum Stift vergleichen. Unter Kraftereinwirkung treten Spannungsmaxima im Bereich der Ränder und Spannungsmima im Zentrum auf [95]. Der Pull-out-Test zeigt sich in dem Herstellungsverfahren der Probenblöcke als nicht destruktiv und daher werden die Artefakte stark reduziert. Durch den einfachen Aufbau ermöglicht dieser eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Vorbehandlungsmethoden. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass der axiale Zugversuch als bewährtes, standardisiert und einfach durchzuführendes Verfahren zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Wurzelstiften angewandt wird [2, 15].

Die verwendeten Wurzelkanalstifte besitzen einen symmetrischen Aufbau und einen runden Querschnitt. In dieser Arbeit ließ sich somit für die Zement-Dentin-Verbundfläche bei einem Durchmesser von 0,6 mm und einer Arbeitslänge von 8 mm mit der Gleichung zur Kegelflächenberechnung ($A = \pi \times d/2 \times (d/2 + s)$) festlegen. Dementsprechend ergab sich eine Dentin-Verbundfläche von ca. 17,2 mm².

Die gleichmäßige Belastung der zirkulär um den Stift verlaufenden Verbundfläche ist durch die axiale Kraftereinwirkung zur Stiftachse zu erzielen und ermöglichte damit die Reproduzierbarkeit der so ermittelten Ergebnisse.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

8.2.1 Prüfung der Nullhypothesen

1. Verschiedene medikamentöse Einlagen zeigen keinen Unterschied auf den Haftverbund von *Acroseal* zum Wurzelkanalentin.

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Die Kontrollgruppe *feucht* zeigt die höchsten Haftwerte. Calciumhydroxid, unabhängig davon, ob als Stift oder Paste, bewirkte bei *Acroseal* vergleichbare Haftwerte. Nach Einlage von *Activ Point* resultieren insgesamt die geringsten Haftwerte, wohingegen der Einsatz von *Chlorhexamed direkt Gel (1%)* höhere Haftwerte aufwies.

Die Unterschiede der Haftwerte nach den medikamentösen Einlagen waren insgesamt nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,061$)

2. Der Frakturmodus nach erfolgter Haftverbundanalyse mittels Pullout-Test nach Analyse der eingesetzten Stahlspreader ist in allen experimentellen Gruppen identisch.

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Die Frakturmodi in den experimentellen Gruppen waren nicht identisch.

Der Kohäsionsbruch kam nur sehr vereinzelt (20-30%) in den Gruppen *Activ Point Chlorhexidine* und *Calciumhydroxide Plus Points* vor.

Vermeehrt lassen sich Adhäsionsbrüche 60-80% (*Chlorhexamed direkt Gel (1%)*, Kontaminationsgruppe *feucht* und Kontrollgruppe *trocken*) und gemischte Frakturen 50-80% (*UltraCal XS*, *Activ Point Chlorhexidine* und *Calciumhydroxid Plus Points*) feststellen.

8.2.2 Kontaminations- und Kontrollgruppe

In dieser Studie erzielte die Kontaminationsgruppe *feucht* mit einem Mittelwert von 1,58 MPa die höchsten Haftwerte. *Nagas et al.* stellten in einer Studie ebenfalls fest, dass höhere Haftwerte erreicht werden konnten, wenn der Wurzelkanal nur kurz mit Papierspitzen getrocknet wurde und somit noch geringe Restfeuchtigkeit vorlag.

Nagas allerdings testete unter anderem *Epiphany* auf Methacrylatbasis und *AH Plus*, ebenfalls einen epoxidharz-basierten Sealer [64].

Im Vergleich zur Kontrollgruppe *trocken* sind die Ergebnisse der Haftwerte zwar nicht signifikant, jedoch konnte eine tendenziell höhere Haftkraft in der feuchten Gruppe erzielt werden.

8.2.3 Wirkstoff Chlorhexidindigluconat

In dieser Studie ergaben sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Haftverbundes. Jedoch kann man festhalten, dass die medikamentöse Einlage von *Chlorhexamed direkt Gel* (1%) im Vergleich zu den anderen medikamentösen Einlagen den höchsten Haftverbund erzielte. Die Stifteinlage mit *Roeko Activ Point Chlorhexidine* hingegen erzielte den niedrigsten Haftverbund, was für eine unzureichende Freisetzung des Wirkstoffes aus dem Point spricht. Die Unterschiede des Haftverbundes lassen sich somit durch die unterschiedliche Darreichungsform erklären.

In einer Studie von *Rolf et al.* wurde bereits 2004 gezeigt, dass eine medikamentöse Einlage von 14 Tagen keinen Einfluss auf den apikalen Verschluss der Wurzelkanalfüllung hat.

8.2.4 Wirkstoff Calciumhydroxid

In dieser Studie wurden auch zum Wirkstoff Calciumhydroxid zwei unterschiedliche Darreichungsformen gewählt. Hier zeigt sich jedoch, dass hinsichtlich des Haftverbundes keine signifikanten Unterschiede entstehen. Die medikamentösen Stifteinlagen schnitten etwas schlechter ab im Bezug auf den späteren Haftverbund.

Die Calciumhydroxid Plus-Spitzen, haben als Zusatz Natriumchlorit und Benetzungsmittel, welche eine Porenbildung und somit auch eine Oberflächenvergrößerung bewirken. Durch die im Wurzelkanal enthaltene Feuchtigkeit löst sich schnell Ca(OH)_2 aus den Spitzen und durch eine konstante Zersetzung kann ein pH-Wert >12 beibehalten werden [13].

Es wird kontrovers diskutiert, ob imprägnierte Guttaperchaspitzen eine ausreichende Menge des Medikaments abgeben und somit eine desinfizierende Wirkung erzielen können.

8.2.5 Beurteilung der Haftwerte

Die vorliegende Studie zeigt, dass die unterschiedlichen medikamentösen Einlagen keinen Einfluss auf den Haftverbund des Sealers *Acroseal* zum Wurzelkanaldentin haben. Zwar konnte man Unterschiede zwischen den medikamentösen Stift- bzw. Pasteneinlagen feststellen, jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,061$).

Generell lässt sich festhalten, dass die feuchte Kontaminationsgruppe ohne jegliche Einlage die besten Haftwerte erzielen konnte. Hier ist vermutlich die absolute Unlöslichkeit in Wasser, die durch den Hersteller versichert wird, vorteilhaft. Nur so kann der Sealer seine Haftkraft zum Dentin entfalten.

Die medikamentösen Pasteneinlagen konnten minimal höhere Werte erzielen als die medikamentösen Stifteinlagen, was vermutlich an der unzureichenden Freisetzung des Medikamentes aus den Points liegt.

Generell sind die Haftwerte sehr gering ausgefallen, daher muss an dieser Stelle konstatiert werden, dass es sich um materialspezifische Werte handeln kann.

Bisher gibt es nur wenige bis keine Studien, die sich speziell mit dem Thema *Acroseal* befassen.

8.2.6 Beurteilung der Frakturmodi

In dieser Studie wurden vermehrt Adhäsionsbrüche und gemischte Frakturen beobachtet. Man kann vermuten, dass die glatten Spreaderoberflächen für die Häufung der Frakturmodi verantwortlich ist.

Zum einen kann eine einseitige Berührung der Kanalwand während des Pull-Out-Versuchs dafür verantwortlich sein. Zwar versuchte man die Spreader optimal in den Acrylblöcken zu zentrieren und beim Einspannen in die Universaltestmaschine auf eine genau achsgerechte Extrusion zu achten, jedoch kann beim Pull-Out-Vorgang ein Abstreifen des Sealers vom Spreader aufgrund der geringen Konizität (2%) abgelaufen sein. Es kann allerdings keine Gesetzmäßigkeit der Lokalisation abgestreifter Areale auf den Spreadern festgestellt werden.

Andererseits kommt es im Wurzelkanal zu Schwankungen hinsichtlich der Dentinbeschaffenheit. Dieses kann sowohl tubuläre als auch atubuläre Areale aufweisen, sodass möglicherweise nicht in jedem Fall eine Ausbildung von Tags erzielt werden konnte und daher unterschiedliche Haftwerte resultieren.

Zu beobachten waren diese Areale der kohäsiv zum Dentin erfolgten Frakturen, wo die Bereiche mit einer mehr oder weniger starken Schicht des Sealers *Acroseal* bedeckt

waren. Neben den erwähnten blanken Stellen auf den betreffenden Spreadern führten diese zur Klassifizierung der gemischten Fraktur.

Seltener treten Kohäsionsfrakturen auf und es ist festzuhalten, dass diese nur in den Gruppen mit den medikamentösen Stifteinslagen auftreten.

9 Literaturverzeichnis

1. <http://www.septodont.de/products/acroseal?from=502&cat=>
2. Akgüngör G, Akkayan B: Influence of dentin bonding agents and polymerization modes on the bond strength between translucent fiber posts and three dentin regions within a post space. *J Prosthet Dent* 95, 368-378 (2006)
3. Anderson M L und A, Andreasen JO, Andreasen FM: In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol* 8, 104-108 (1992)
4. Arslan H, Topcuoglu HS, Karatas E, Barutcigil C, Aladag H, Topcu KM: Effect of the smear layer in the removal of calcium hydroxide from root canal walls. *J Conserv Dent* 15, 113-117 (2012)
5. Bajaj D, Sundaram N, Nazari A, Arola D: Age, dehydration and fatigue crack growth in dentin. *Biomaterials* 27, 2507-17 (2005)
6. Baratto-Filho F, Carvalho Jr JR, Fariniuk LF, Sousa-Neto MD, Pecora JD, Druz-Filho AM: Morphogenetic Analysis of the Effectiveness of Different Concentrations of Sodium Hypochlorite Associated with Rotary Instrumentation for Root Canal Cleaning. *Braz Dent J* 15, 36-40 (2004)
7. Bargholz C, Hör D, Zirkel C: *Praxisleitfaden Endodontie*. Urban & Fischer, 1. Auflage (2006)
8. Barkholder RA, Bui T, Watanabe L: An evaluation of the sealing ability of calcium hydroxide sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 68, 88-92 (1989)
9. Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD: A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J Endod* 10, 525-531 (1984)
10. <http://www.fkg.ch/de/produkte/endodontie/kanalaufbereitung-und-revisionsbehandlung/biorace>
11. Buttler TK, Crawford JJ: The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxines. *J Endod* 8, 59-66 (1982)
12. Calt S, Serper A: Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod* 25, 431-433 (1991)
13. http://www.coltene.com/de/products/22/Temporaere_Versorgung.html
14. Cunningham WT, Martin H, Forrest WR: Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 401-404 (1982)
15. D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M: The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent* 98, 193-198 (2007)

16. Dakin HD: On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *Br Med J* 2, 318-320 (1915)
17. De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA: Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J* 33, 25-7 (2000)
18. De-Deus G, Reis C, Coutinho-Filho T, Murad C, Paciornik S: Polymicrobial leakage of four root canal sealers at two different thicknesses. *J Endod* 32, 998-1001 (2006)
19. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O: Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J* 33, 46-52 (2000)
20. Ebert J, Loeffler H, Zels H, Petschelt A: Sealing ability of RoekoSeal-Automix under different conditions. Posterpräsentation, ESE-Kongress, Göteborg, Schweden, 1997
21. Ebert J, Petschelt A: Sealing ability of a new silicone-based sealer under different conditions. Posterpräsentation, IADR-Tagung, Vancouver, Kanada, 1999
22. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S: Shear bond strength of three resin based sealers to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 31, 293-6 (2005)
23. Eldeniz AU, Mustafa K, Ørstavik D, Dahl JE: Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide and silicone-based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines. *Int Endod J* 40, 329-337 (2007)
24. <http://www.endoactivator.com>
25. Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D: Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide, *Int Endod J* 35, 221 (2002)
26. Ferracane JL: Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater* 21, 36- 42 (2005)
27. Fraunhofer JA, Van Branstetter J: The physical properties of four endodontic sealer cements. *J Endod* 8, 126 (1982)
28. Fuss Z, Lustig J, Katz A, Tamse A: An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. *J Endod* 27, 46-48 (2001)
29. Gambarini G, Laszkiewicz J: A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *Int Endod J* 35, 422-427 (2002)
30. Gettleman BH, Messer HH, El Deeb ME: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17, 15-20 (1991)
31. Geurtsen W, Leyhausen G: Biological aspects of root canal filling materials – histocompatibility, cytotoxicity, and mutagenicity. *Clin Oral Invest* 1, 5 (1997)
32. Gogos C, Economides N, Stavrianos C, Kolokouris I, Kokorikos I: Adhesion of a new methacrylate resin-based sealer to human dentin. *J Endod* 30, 238-40 (2004)

33. Gomes BP, Souza SF, Ferraz CC, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ: Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 36, 267 (2003)
34. Grossmann LI: Physical properties of root canal cements. *J Endod* 2, 166-175 (1976)
35. Grossmann LI: Rationale of endodontic treatment. *Dent Clin North Am*, 483-490 (1967)
36. Grossmann LI: Root canal therapy. Lea & Febinger, Philadelphia, S. 189 (1940)
37. Haapasalo M: Control and elimination of endodontic infection. *Endodontie Journal* 4, 11-18 (2003)
38. Heidemann D: Endodontie. *Praxis der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer (2001)
39. Hellwig K, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer 3. Auflage (2003)
40. Hickel R, Kunzelmann KH, Lambrechts P, Perdigao J, Vanherle G, Van Meerbeek B, Frankenberger R, De Munck J: Die Adhäsivtechnologie, Ein Leitfaden für Theorie und Praxis. 3M ESPE, (2001)
41. Holland R, De Souza V: Ability of a new calcium hydroxide root filling material to introduce hard tissue formation. *J Endod* 11, 535 (1985)
42. Huang TH, Lii CK, Chou MY, Kao CT: Lactate dehydrogenase leakage of hepatocytes with AH26 and AH Plus sealer treatments. *J Endod* 26, 509-11 (2000)
43. Huang TH, Yang JJ, Li H, Kao CT: The biocompatibility evaluation of epoxy resin-based root canal sealers in vitro. *Biomaterials* 23, 77-83 (2002)
44. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 36, 810-830 (2003)
45. Jacobsen EL, Begole EA, Vitkus DD, Daniel JC: An evaluation of two newly formulated calcium hydroxide cements: a leakage study. *J Endod* 13, 164 (1987)
46. Karagöz-Küçükay I, Bayirli G: An apical leakage study in the presence and absence of the smear layer. *Int Endod J* 27, 87-93 (1994)
47. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO: An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturations system. *J Endod* 29, 658-661 (2003)
48. Khademi AA, Feizianfard M: The effect of EDTA and citric acid on smear layer removal of mesial canals of first mandibular molars, a scanning electron microscopic study. *Journal of Research in Medical Sciences* 2, 27-35 (2004)
49. Kinney JH, Nalla RK, Pople JA, Breunig TM, Ritchie RO: Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials* 26, 3363-3376 (2005)
50. Kolokuris I, Beltes P, Economides N, Vlemmas I: Experimental study of the biocompatibility of a new glass-ionomer root canal sealer (Ketac-Endo). *J Endod* 22, 395 (1996)

51. Koulaouzidou EA, Papazisis KT, Beltes P, Geromichalos GD, Kortsaris AH: Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 14, 182-185 (1998)
52. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A: Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endod Dent Traumatol* 14, 191-195 (1998)
53. Leonardo MR, Bezerra da Silva LA, Filho MT, Santana da Silva R: Release of formaldehyde by 4 endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88, 221-225 (1999)
54. Leonardo MR, Bezerra da Silva LA, Almeida WA, Utrilla LS: Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer. *Endod Dent Traumatol* 15, 28-32 (1999)
55. Lertchirakarn V, Timyam A, Messer HH: Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Endod* 28, 217-219 (2002)
56. Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waidmann P, Geurtsen W: Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root canal sealer AH plus. *J Endod* 25, 109-113 (1999)
57. Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB: Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. *J Endod* 18, 535 (1992)
58. M. Hülsmann, E. Schäfer für den Beirat „Endodontologie“ der DGZ (Prof. Dr. D. Heidemann, PD Dr. M. Hülsmann, Prof. Dr. A. Petschelt, Prof. Dr. W.H.M. Raab, Prof. Dr. E. Schäfer, Prof. Dr. R. Weiger)
59. Machado-Silveiro LF, Gonzalez-Lopez S, Gonzalez-Rodriguez MP: Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J* 37, 365-369 (2004)
60. Mayer BE, Peters OA, Barbakow F: Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 35, 582-589 (2002)
61. McComb D, Smith DC: A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1, 238-242 (1975)
62. Mitchem JC, Gronas DG: Effect of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives. *J Am Dent Assoc* 113, 285-287 (1986)
63. Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H: Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *J Prothet Dent* 104, 92-97 (2010)
64. Nagas E, Uyanik MO, Eymirli A, Cehreli ZC, Vallittu PK, Lassila LV, Durmaz V: Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. *J Endod* 38, 240-244 (2012)

65. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM: Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 3, 178 (1987)
66. Ørstavik D: Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scand J Dent Res* 91, 316 (1983)
67. Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH: Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J Endod* 11, 525-528 (1985)
68. Pashley JD: Smear layer: physiological considerations. *Oper Dent Suppl* 3, 13-29 (1984)
69. Petschelt A, Oberschachtsiek H: Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung). *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 304-307 (1985)
70. Petschelt A, Stumpf B, Raab W: Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht. *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 743-746 (1987)
71. Petschelt A: Zur Schmierschicht und Dentinfeuchtigkeit nach der Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 43, 1139-1147 (1988)
72. Pissiotis E, Spangberg LSW: Cytotoxicity of a new glassionomer root canal sealer. *Int Endod J* 27, 106 (1994)
73. Ray H, Seltzer S: A new glass ionomer root canal sealer. *J Endod* 17, 598-603 (1991)
74. Rödiger R, Hülsmann M: Die medikamentöse Einlage in der Endodontie, *Endodontie* 14, 281-295 (2005)
75. Safavi KE, Nichols FC: Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *J Endod* 19, 76-78 (1993)
76. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D: The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J* 35, 859- 866 (2002)
77. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP, Ørstavik D: Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *J Endod* 29, 595-601 (2003)
78. Schäfer E, Bössmann K: Antimicrobial efficacy of chloroxylenol and chlorhexidine in the treatment of infected root canals, *Am J Dent* 14, 233 (2001)
79. Schäfer E, Hickel R: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. Stellungnahme der DGZMK V 1.0, Stand 6/99
80. Schäfer E, Zandbiglari T: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 36, 660-669 (2003)
81. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18, 269-296 (1974)
82. Schilder H: Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 11, 723-744 (1967)

83. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M: The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 28, 141-148 (1995)
84. Sevimey S, Kalayci A: Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. *J Oral Rehabil* 32, 105-110 (2005)
85. Siren EK, Haapasalo MP, Ranta K, Salmi P, Kerosuo EN: Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic cases selected for microbiological investigation, *Int Endod J* 30, 91 (1997)
86. Söderholm KJM: Correlation of in-vivo and in-vitro performance of adhesive restorative materials. *Dent Mater* 7, 74-83 (1991)
87. Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K: An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilm of root canal isolates. *Int Endod J* 34, 300-307 (2001)
88. Stellungnahme der DGZ und der DGZMK: „Good clinical practice“ : Die Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 60 (2005)
89. Stellungnahme der DGZMK und DGZ: Behandlung endodontischer Schmerzfälle. *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 536–538 (2007)
90. Stellungnahme der DGZMK und DGZ: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)
91. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K: A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* 32, 32-39 (1999)
92. Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR: Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *J Endod* 27, 36-39 (2001)
93. Timpawat S, Harnirattisai C, Senawongs P: Adhesion of a glass-ionomer root canal sealer to the root canal wall. *J Endod* 27, 168-71 (2001)
94. Tronstad L: *Clinical endodontics*. Thieme, Stuttgart 1991
95. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G: A critique of bond strength measurements. *J Dent* 17, 61-67 (1989)
96. Wesselink PR: Die Wurzelkanalfüllung (I). *Endodontie* 4, 181 (1995)
97. Wilson AD, Clinton DJ, Miller RP: Zinc oxide-eugenol cements: IV. Microstructure and hydrolysis. *J Dent Res* 52, 253 (1973)
98. Wrbas K-T, Kielbassa AM, Hellwig E: Das Wasseraufnahmeverhalten verschiedener Wurzelkanalsealer. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 146 (1998)
99. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR: Leakage of AH26 and Ketac-Endo used with injected warm gutta-percha. *J Endod* 23, 331-336 (1997)
100. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR: Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 33, 340-345 (2000)

101. Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR: Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different guttapercha techniques. *Int Endod J* 36, 533–540 (2003)
102. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS: A scanning electron microscopic comparison of high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod* 9, 137-142 (1983)
103. Younis O, Hembree JH: Leakage of different root canal sealants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 41, 777-784 (1976)
104. Zehnder M, Lehnert B, Schönenberger K, Waltimo T: Spüllösungen und medikamentöse Einlagen in der Endodontie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 113, 756-76 (2003)
105. Zehnder M: Root canal irrigants. *J Endod* 32, 389-398 (2006)
106. Zidan O, Khatib Z, Gomez- Marin O: Obturation of root canals using the single cone guttapercha technique and dentinal bonding agents. *Int Endod J* 20, 128-132 (1987)
107. Zmener O, Dominguez FV: Tissue response to a glass ionomer used as an endodontic cement: a preliminary study in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 56, 198 (1983)
108. Zmener O: Evaluation of the apical seal obtained with two calcium hydroxide based endodontic sealers. *Int Endod J* 20, 87 (1987)

10 Anhang

10.1 Spreader-Auswertung

A Chlorhexamed direkt Gel (1%)	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1	x		
2	x		
3	x		
4	x		
5	x		
6			x
7	x		
8	x		
9			x
10			x

B UltraCal XS	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1	x		
2			x
3			x
4			x
5			x
6			x
7			x
8			x
9			x
10	x		

C Roeko Activ Point Chlorhexidine	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1			x
2			x
3			x
4			x
5		x	
6			x
7		x	
8		x	
9	x		
10			x

D Calciumhydroxid Plus Points	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1			x
2	x		
3	x		
4			x
5			x
6			x
7			x
8	x		
9		x	
10		x	

E feucht	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1			x
2	x		
3	x		
4			x
5	x		
6	x		
7	x		
8	x		
9	x		
10	x		

F trocken	adhäsiv	kohäsiv	gemischt
1			x
2	x		
3	x		
4			x
5	x		
6	x		
7	x		
8	x		
9	x		
10	x		

10.2 Materialliste

Material	Hersteller
<i>Chlorhexamed direkt Gel 1%</i>	GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Bühl, Deutschland
<i>UltraCal XS</i>	MSdental, Busswill, Deutschland
<i>Roeko Active Points Chlorhexidine</i>	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz
<i>Roeko Calciumhydroxide Plus Points</i>	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz
NaOCl 3%	Speiko - Dr. Speier GmbH, Münster, Deutschland
EDTA 16%	Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Deutschland
Aqua dest.	B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland
<i>Acroseal</i>	Septodont GmbH, Niederkassel, Deutschland
<i>Fermit</i>	Ivoclar Vivadent GmbH, Schaan, Liechtenstein
Dubliermasse <i>Silatec</i>	DMG GmbH, Hamburg, Deutschland
<i>Palapress</i>	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland
<i>BioRaCe</i> -Feilen	FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
Endo-Activator	Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, USA
Papierspitzen (#55)	Coltène/Whaledent AG, Langenau, Deutschland
Spreader (.02/#55)	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Chloramin-T-Lösung 0,5%	Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Deutschland

Material	Hersteller
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Skalpell	Braun, Tuttlingen, Deutschland
Messlehre	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Polymerisationslampe	KaVo, Biberach, Deutschland
Universaltestmaschine	Zwick, Ulm, Deutschland
Diamant-Bohrer	Pluradent AG und Co. KG, Offenbach, Deutschland
Handstück	KaVo, Biberach, Deutschland
Diamantscheibe	Horico, Berlin, Deutschland
C-Pilot-Feilen ISO 15	VDW GmbH, München, Deutschland
Digitalspiegelreflexkamera	Canon Deutschland GmbH, Krefeld, Deutschland

10.3 Abkürzungen

NaOCl Natriumhypochlorit

EDTA Ethylendiamintetraessigsäure

ZOE Zinkoxideugenol

GIZ Glasionomerzement

MPa Mega-Pascal

Med Medikamentöse Einlage

CHX Chlorhexidindigluconat

HOCl Hypochlorige Säure

Ca(OH)₂ Calciumhydroxid

DGZ Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung

DGZMK Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

10.4 Übersicht der Tabellen

Tab. 1	Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterialien
Tab. 2	Einteilung der medikamentösen Einlagen in Gruppen
Tab. 3	Verwendetes Spülprotokoll
Tab. 4	Einstellungen der Zwick-Universalttestmaschine
Tab. 5	Normalverteilung der Gruppen
Tab. 6	Varianzhomogenität
Tab. 7	Mittelwertgleichheit
Tab. 8	Ergebnisse für die Haftwerte der einzelnen Gruppen
Tab. 9	Ergebnisse Mann-Whitney-Test
Tab. 10	Prozentuale Verteilung der Frakturmodi

10.5 Übersicht der Abbildungen

Abb. 1	Flowchart des Versuchsablaufs
Abb. 2	<i>BioRaCe</i> -Feilen Basic Set
Abb. 3a	Anpassung der Spreader an 8 mm Arbeitslänge
Abb. 3b	Röntgenkontrolle der Spreaderposition im Wurzelkanallumen
Abb. 4	Verwendete medikamentöse Einlagen
Abb. 5	Eppendorf-Gefäß mit Aqua dest. gefüllt und verschlossener Wurzel

- Abb. 6a Schablone für Hohlform
- Abb. 6b Hohlform aus Dubliermasse
- Abb. 7 Vorrichtung zur Herstellung der Probenblöcke
- Abb. 8 Verwendeter Sealer *Acroseal*
- Abb. 9a Zwick-Universaltestmaschine mit eingespannter Probe vor Pull-Out-Versuch
- Abb. 9b Nach Pull-Out-Versuch
- Abb. 10 Beispiel eines extrudierten Stahlsreaders
- Abb. 11 Scherkraft der verschiedenen Versuchsgruppen
- Abb. 12a Adhäsionsbruch (Spreader)
- Abb. 12b Kohäsionsbruch
- Abb. 12c Gemischter Bruch
- Abb. 13a Adhäsionsbruch (Spreader)
- Abb. 13b Kohäsionsbruch
- Abb. 13c Gemischter Bruch

11 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Philipps - Universität in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Arweiler, Auschill, Braun, Cetin, Czubayko, Feuser, Fischer, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Hellak, Himpel, Höffken, Jablonski-Momeni, Jacob, Kanngießer, Koolmann, Korbmacher-Steiner, Kuhl, Lamp, Lill, Lotzmann, Maier, Mandic, Mandrek, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Ohnmeiß, Pieper, Ramaswamy, Rausch, Richter, Roessler, Roggendorf, Teymoortash, Weber, Westermann, Wrocklage.

12 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. Roland Frankenberger, für die Überlassung des Dissertationsthemas, für die zuverlässige und nette Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit und die Übernahme des Referats.

Mein besonders herzlicher Dank gilt Herrn OA Dr. Matthias Johannes Roggendorf, der trotz seiner vielfältigen Aufgaben immer Zeit für Antworten, Ratschläge und Ideen gefunden hat. Du hattest immer ein offenes Ohr. Du warst eine sehr große Hilfe.

Herrn Dr. Franz-Josef Faber und Herrn Dr. Hubert C. Roggendorf danke ich für die Unterstützung in der Durchführung des experimentellen Teils sowie für die Möglichkeit, die Zwick-Universaltestmaschine an der Universität zu Köln verwenden zu können.

Bei Herrn Prof. Dr. Andreas Braun bedanke ich mich für die Durchsicht und Korrektur der Dissertation sowie des Abstracts für die 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltungskunde im Oktober 2013 in Marburg.

Meinen Eltern danke ich für ihre großzügige und liebevolle Unterstützung während des gesamten Studiums und meinem Bruder Leon danke ich dafür, dass er mich stets zum Lachen bringt.