

Aus der Poliklinik für Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie  
(Komm. Leiter: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)  
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Vergleichende In-vitro-Studie zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit dem  
BioRaCe-System und dem Self-Adjusting-File-System

INAUGURAL – DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
für Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von  
Tobias Wrastil  
aus  
Göttingen

Göttingen 2013

**Dekan:** Prof. Dr. rer. nat. H. K. Krömer  
**I. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann  
**II. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. dent. R. Bürgers  
**Promotor:** Prof. Dr med. M. Oppermann  
**Tag der mündlichen Prüfung: 22.10.2013**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Ziele</b>	<b>3</b>
<b>3. Literaturübersicht</b>	<b>4</b>
3.1. Definition der Endodontologie und Indikation der Wurzelkanalbehandlung	4
3.2. Wurzelkanalpräparation	4
3.2.1. Ziele der Wurzelkanalpräparation	5
3.2.2. Manuelle und maschinelle Präparation	5
3.2.2.1. Manuelle Wurzelkanalpräparation	5
3.2.2.2. Maschinelle Wurzelkanalpräparation	5
3.3. Mechanische Präparation und chemische Desinfektion	6
3.3.1. Mechanische Wurzelkanalpräparation	6
3.3.2. Chemische Desinfektion des Wurzelkanalsystems	6
3.4. Die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle	7
3.5. Präparationsfehler	8
3.6. Maschinelle Präparationssysteme	9
3.6.1. Entwicklung	9
3.6.1.1. Instrumentendesign	10
3.6.2. Neuere Systeme	12
3.6.2.1. Ein-Feilen-Systeme	12
3.6.2.2. Mehr-Feilen-Systeme	13
3.6.2.3. Verwendete Systeme	15
3.7. Studien zur SAF	18
3.7.1. Dentinabtrag	18
3.7.2. Änderung des Kanalvolumens	18
3.7.3. Anteil präparierter Kanaloberfläche	19
3.7.4. Kanalverlagerung	20
3.7.5. Entfernung von <i>smear layer</i> , Debris und Desinfektionswirkung	20
3.7.6. Querschnittsveränderungen	22
3.7.7. Präparationsfehler	23
3.7.8. Präparationssicherheit	23
3.7.9. Mechanische Eigenschaften	24
3.8. Studien BioRaCe	25
3.8.1. Kanalverlagerungen	25
3.8.2. Präparationsfehler	26
3.8.3. Instrumentenstabilität und -beschaffenheit	26
3.8.4. Präparationssicherheit	26
3.8.5. Effektivität der Präparation	27
3.8.6. Einfluss des Spülmediums auf die Keimbelastung im Wurzelkanal	27
<b>4. Material und Methode</b>	<b>28</b>

# Inhaltsverzeichnis

---

4.1. Auswahl der Zähne	28
4.2. Das Muffelsystem	28
4.3. Das Einbetten der Zähne	29
4.4. Ermittlung der Ausgangskrümmungswinkel und Krümmungsradien der Wurzelkanäle	30
4.5. Versuchsdurchführung und Auswertung	32
4.6. Das SAF-System	33
4.7. Das BioRaCe-System	34
4.8. Präparation der Kanäle	35
4.8.1. Präparation des mesiobukkalen Kanals	35
4.8.2. Vorbereitung zur Präparation der mesiolingualen Kanäle	36
4.8.2.1. Anfertigung der Querschnittspräparate	36
4.8.2.2. Anfertigung der Fotografien der präoperativen Wurzelkanalquerschnitte	36
4.8.3. Präparation der mesiolingualen Kanäle	36
4.8.4. Präparationstechnik mit dem SAF-System	36
4.8.5. Präparationstechnik mit dem BioRaCe-System	37
4.8.6. Ablaufplanung zur Präparation von Wurzelkanälen mit dem BioRaCe-System und dem SAF-System	37
4.8.7. Herstellung der Probenkörper	39
4.9. Auswertung	39
4.9.1. Veränderung des Krümmungswinkels	39
4.9.2. Veränderung des Kanalquerschnitts	39
4.9.3. Rasterelektronenmikroskopische Auswertung	40
4.9.3.1. Debris	41
4.9.3.2. <i>Smear layer</i>	43
4.9.4. Arbeitssicherheit	44
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>45</b>
5.1. Observerreliabilität	45
5.2. Entfernung von <i>smear layer</i> und Debris	48
5.3. Präparation	51
5.4. Querschnitte	53
5.5. Zwischenfälle	54
<b>6. Diskussion</b>	<b>56</b>
6.1. Material und Methode	56
6.1.1. Studiendesign	56
6.1.2. Zahnauswahl	57
6.1.3. Muffelsystem	58
6.1.4. Einbetten der Zähne und Gruppeneinteilung	58
6.1.5. Krümmungsbestimmung	59
6.1.6. Auswertung der Wurzelkanalquerschnitte	60
6.1.7. Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen	60
6.2. Diskussion der Ergebnisse	61

## Inhaltsverzeichnis

---

6.2.1. Veränderung der Krümmungswinkel	61
6.2.2. Querschnittspräparate	62
6.2.3. Bewertung der Reinigungswirkung	65
6.2.4. Arbeitssicherheit	69
6.2.5. Keim- und Debrisverschleppung	71
6.3. Abschlussbetrachtung beider Systeme	72
6.3.1. Das SAF-System	72
6.3.2. Das BioRaCe-System	73
<b>7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>74</b>
<b>8. Materialien</b>	<b>75</b>
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	<b>77</b>

### **1. Einleitung**

Die Endodontie beschäftigt sich mit der Anatomie, der Physiologie, der Histologie und der Pathologie des Endodontiums und der umliegenden Gewebe, sowie der Ätiologie und Epidemiologie pulpaler und periradikulärer Erkrankungen, ihrer Prävention und Diagnostik, sowie der möglichen Therapie.

Ziel der Therapie, der Wurzelkanalbehandlung, ist es, das Einwandern von Bakterien in die Pulpa und das Wurzelkanalsystem zu verhindern oder die schon eingewanderten Mikroorganismen zu entfernen, so dass sich die Entzündung nicht weiter ausbreiten kann und die umliegenden periradikulären Gewebe nicht infiziert werden bzw. ausheilen können. Dies geschieht primär durch die Präparation und Desinfektion des Wurzelkanalsystems mit dem Ziel, das entzündete oder nekrotische Gewebe aus dem Zahn zu entfernen und anschließend einen Neuzutritt zu verhindern. Da sich die Bakterien auch in die Dentinkanälchen ausbreiten, ist ein gleichmäßiger Dentinabtrag von circa 300 - 500 µm anzustreben. Sen et al. (1995) stellten Penetrationstiefen der Bakterien von 10 - 150 µm fest, Ando & Hoshino (1990) sogar von 500 - 2000 µm.

Anfangs erfolgte die Wurzelkanalbehandlung noch mit einfachen Nadeln, welche zur Entfernung der Pulpa verwendet wurden (Lilley 1976). Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche spezielle Instrumente zur Präparation des Wurzelkanalsystems entwickelt, sowohl Handinstrumente als auch maschinell betriebene Feilen, welche aus rostfreiem Stahl hergestellt wurden (Hülsmann et al. 2005). Einen großen Fortschritt brachte die Nutzung von Nickel-Titan-Legierungen in der Endodontie. Walia et al. (1988) beschrieben erstmals den Einsatz von Nickel-Titan-Legierungen in Form von Handinstrumenten. Ihre hohe Flexibilität und ihre Fähigkeit, nach Verformung in ihren Ausgangszustand zurückzukehren, erleichtern die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle enorm.

Innerhalb dieser Studie erfolgte die Untersuchung zweier maschineller Nickel-Titan-Systeme bezüglich der Qualität ihrer Wurzelkanalpräparation: Es handelt sich zum einen um das BioRaCe-System der Firma FKG (La Chaux-de-Fonds, Schweiz) mit bewährtem Vollgussquerschnitt und einer Sequenz mehrerer Feilen, zum anderen um das Self-Adjusting-File-System der Firma ReDent-Nova (Ra'anana, Israel) mit neuartigem Hohl-Design der Feile und einer Ein-Feilen-Technik.

Ziel der Studie war es, wichtige Parameter (u.a. Reinigungswirkung, Formgebung, Arbeitssicherheit) der Präparation gekrümmter Wurzelkanäle mit diesen Instrumentensystemen zu überprüfen und sie miteinander zu vergleichen.

### 2. Ziele

Die vorliegende In-vitro-Studie folgt der Methodik nach Hülsmann (1998) zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.

Die folgenden Parameter sollten untersucht werden:

- Präparationsbedingte Veränderungen der Wurzelkanalkrümmung
- Häufigkeit von Zwischenfällen wie Instrumentenfrakturen, Perforationen der Wurzel, apikalen Blockaden des Wurzelkanals und damit verbundenen Arbeitslängenverlusten
- Untersuchung der Wurzelkanalwände auf Sauberkeit nach der Präparation mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie in Bezug auf *smear layer* und Debris
- Untersuchung der qualitativen Veränderung des Kanalquerschnitts im koronalen, medialen und apikalen Wurzelkanalanteil
- Untersuchung der quantitativen Veränderung des Kanalquerschnitts im koronalen, medialen und apikalen Wurzelkanalanteil.

Die Ergebnisse sollen mit den aus vergleichbaren Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen über andere Nickel-Titan-Systeme verglichen werden.



### **3. Literaturübersicht**

#### **3.1. Definition der Endodontologie und Indikation der Wurzelkanalbehandlung**

Die Endodontologie als Fachgebiet der Zahnmedizin beschäftigt sich mit der Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und der periradikulären Gewebe. Verletzungen und Erkrankungen beider Gewebe sowie deren Prävention und Behandlung sind ebenso Gegenstand der Endodontologie. Sie widmet sich darüber hinaus der Ätiologie und Pathogenese von Krankheiten und Verletzungen der Pulpa. Hierbei stellt die apikale Parodontitis die häufigste Erkrankung dar. Ursache ist eine Infektion des Wurzelkanalsystems (European Society of Endodontology, ESE 2006).

Die Indikationen für eine Wurzelkanalbehandlung sind durch die European Society of Endodontology (2006) folgendermaßen definiert:

- Bei einer irreversiblen Schädigung der Zahnes oder einer nekrotischen Pulpa mit oder ohne klinische und/ oder radiologische Auffälligkeiten bezüglich einer Beteiligung apikaler Gewebe.
- Bei einer intentionellen Devitalisation im Rahmen eines prothetischen Gesamtkonzepts, z.B. um Platz zu schaffen vor der Herstellung einer Coverdenture-Prothese, bei zweifelhafter pulpaler Gesundheit vor geplanten restaurativen Maßnahmen, wenn die Eröffnung der Pulpa bei restaurativer Maßnahmen aufgrund von Zahnfehlstellungen zu erwarten ist, wenn im Rahmen einer Parodontalbehandlung eine Wurzelamputation oder Hemisektion erfolgen soll.

#### **3.2. Wurzelkanalpräparation**

Die Präparation des Kanalsystems stellt den wichtigsten Schritt in der endodontischen Therapie dar (Schilder 1974, Ruddle 2002). Sie bildet die Basis für das weitere Vorgehen und den Erfolg der Therapie.

### 3.2.1. Ziele der Wurzelkanalpräparation

Die Ziele und Anforderungen der Wurzelkanalpräparation definieren sich wie folgt (Hülsmann et al. 2005):

- Entfernung des vitalen und nekrotischen Gewebes,
- der Präparationsdurchmesser sollte eine suffiziente Spülung und Medikation erlauben,
- Erhaltung der Integrität und Lokalisation der apikalen Kanalanatomie,
- Erhaltung der Kanalanatomie und Struktur und Vermeidung iatrogener Schäden,
- Erleichterung der Wurzelkanalfüllung,
- Verhindern von weiterer Irritation und Infektion des periradikulären Gewebes,
- substanzschonendes Arbeiten, um die Langzeitfunktion des Zahnes zu gewährleisten.

### 3.2.2. Manuelle und maschinelle Präparation

#### 3.2.2.1. Manuelle Wurzelkanalpräparation

Anfangs wurden die Wurzelkanalinstrumente aus einfachem Stahl hergestellt, was aufgrund der Desinfektion mit Jod und Chlorid häufig zu Korrosion führte (Oliet & Sorin 1978). Sie wurden durch Feilen aus rostfreiem Stahl abgelöst. Neben den Stahlfeilen benutzt man heute auch Nickel-Titan-Feilen zur manuellen Wurzelkanalpräparation.

#### 3.2.2.2. Maschinelle Wurzelkanalpräparation

Oltramare (1892) beschrieb als Erster den Einsatz rotierender Nadeln in einem Handstück zur Entfernung der Zahnpulpa. Auch die maschinellen Präparationssysteme arbeiteten anfangs mit Stahlfeilen (Hülsmann et al. 2005). Rotierende Präparationssysteme verwenden heute nur noch selten Stahlfeilen, da die mangelnde Flexibilität der Stähle häufig zu Begradigungen gekrümmter Kanäle führt.

So zeigten Rhodes et al. (2011) in einer Vergleichsstudie zwischen einem maschinellen Nickel-Titan-System und einem maschinellen System, das mit Stahlfeilen arbeitet, dass das Stahlfeilensystem eine signifikant stärkere Begradigung gekrümmter Wurzelkanäle herbeiführte als das Nickel-Titan-System.

### **3.3. Mechanische Präparation und chemische Desinfektion**

#### 3.3.1. Mechanische Wurzelkanalpräparation

Instrumente die aktuell zur Wurzelkanalpräparation Verwendung finden, bestehen in der Regel aus Stahl- oder Nickel-Titan-Legierungen. Große Unterschiede zwischen Nickel-Titan- und Stahl-Instrumenten sind in puncto Elastizität, Bruchsicherheit, bei Drehmomenten und Biegebeanspruchung festzustellen (Walia et al. 1988).

#### 3.3.2. Chemische Desinfektion des Wurzelkanalsystems

Die chemische Desinfektion und Reinigung des Kanalsystems stellt eine wichtige Komponente bei der Präparation des Wurzelkanalsystems dar. Da viele Kanalbereiche nur schwierig oder gar nicht zu erreichen sind, kommt es vor allem bei ovalen Kanälen im Bereich der unbearbeiteten Abschnitte auch zur Ansammlung von Debris und Geweberesten (Metzger et al. 2010b). Zur Entfernung der mechanisch nicht erreichten Gewebereste verwendet man daher zusätzlich chemische Lösungen (Attin et al. 2002). Dazu eignen sich Natriumhypochloritlösungen (NaOCl) von 0,5-5,25%, sowie Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) 17% (Harrison 1984). Das NaOCl dient in erster Linie der Desinfektion des Kanalsystems und der Auflösung organischen Restgewebes (Hand et al. 1978, Siqueira et al. 2000). EDTA findet Anwendung bei der Auflösung von anorganischem Gewebe und löst wirksam den so genannten *smear layer* auf (Lester & Boyde 1977). Alternativ zur EDTA eignet sich auch Zitronensäure als Chelator (Loel 1975). Chlorhexidinlösungen finden ebenfalls zur Desinfektion des Kanalsystems Verwendung, speziell bei Revisionen zur wirksamen Eliminierung des *E. faecalis* (Gomes et al. 2001, Schäfer & Bössmann 2005).

### 3.4. Die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle

Die Präparation gekrümmter Kanäle stellt besondere Anforderungen, wie Weine et al. (1976) zeigen konnten. Pruett et al. (1997), Haikel et al. (1999) sowie Plotino et al. (2010) erkannten den Einfluss der Wurzelkanalkrümmung, sowie des Radius der Wurzelkanalkrümmung auf die Ermüdung der Nickel-Titan-Feilen. Mit abnehmender Wurzelkanalkrümmung sowie zunehmendem Radius stieg die Arbeitszeit der Feilen bis zum Ermüdungsbruch.

Pruett et al. (1997) stellten fest, dass der Radius der Wurzelkanalkrümmung den wichtigsten Faktor bei der maschinellen Wurzelkanalpräparation darstellt. Ruddle (2002) wies darauf hin, dass die räumliche Lage sowie der Ort der Kanalkrümmung für die sichere rotierende Präparation von großer Bedeutung sind.

Aufgrund der bisher verwendeten mäßig flexiblen Stahlinstrumente zur Präparation der Wurzelkanäle und ihrem starken Bestreben, ihre Ursprungsform wieder einzunehmen, kommt es häufig zur Kanalbegradigung (Weine et al. 1975).

Ein typisches Merkmal ist die Bildung von *zip*- und *elbow*-Formen (Abbildung 1).

Bedingt durch die mangelnde Flexibilität der Instrumente bearbeiten sie die Innenseite der Krümmung zwischen Kanaleingang und *elbow* sowie die Außenseite des Kanals zwischen *elbow* und *zip* besonders stark (Weine et al. 1975). Der *zip* stellt eine starke Erweiterung im apikalen Bereich dar, welche sich auch tropfenförmig darstellen kann (Weine et al. 1975) und schwer zu füllen ist.

Jungmann et al. (1975) folgerten, dass kein Stahl-Instrument in gekrümmten Kanälen in der Lage ist, im apikalen Bereich einen runden Querschnitt zu präparieren.

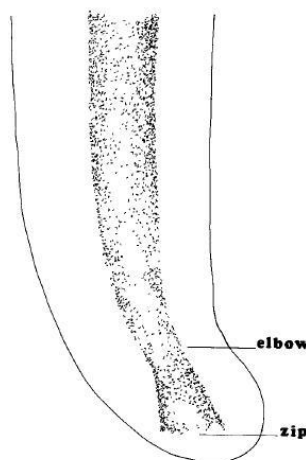


Abbildung 1: Zip/ Elbow  
nach Weine et al. (1976)

### 3.5. Präparationsfehler

- Stufen

Greene & Krell (1990) beschreiben eine Stufenbildung in 46% aller Fälle von 336 Kanälen. Die Präparation der Kanäle erfolgte vorher durch Studenten im dritten Ausbildungsjahr mit Stahlinstrumenten (K-Flex-File).

- Apikale Blockaden

Durch den Einsatz besonders ausgeprägt spanabhebender Instrumente kann es in Zusammenhang mit ungenügender Rekapitulation zu einem Verschluss des Kanals in der Apikalregion kommen (Souza 2006). Es resultiert ein Verlust der Arbeitslänge, welcher dazu führt, dass der verblockte Bereich durch Spülflüssigkeiten nicht mehr erreicht werden kann (Hülsmann et al. 2005).

- Apikaler Trichter, *zip* / *elbow*

Weine et al. (1975) beschrieben die Auswirkungen von Stahlinstrumenten auf die Präparation. Durch die Neigung der Instrumente, die Ausgangsform beizubehalten, kommt es bei der Präparation gekrümmter Kanäle zur Bildung eines apikalen Trichters. Die engste Stelle des Kanals nach Präparation beschrieben Wine et al. als *elbow*. Die sich von der Krümmung weg bewegende Instrumentenspitze erzeugte im Apexbereich ein geriffeltes Muster, welches sie als *zip* beschrieben.

- Begradigungen

Weine et al. (1975) beschrieben eine Begradigung der Kanäle bei Präparation mit Stahlfeilen. Am inneren Anteil der Kanalkrümmung, sowie zwischen *elbow* und *zip* an dem äußeren Anteil der Kanalkrümmung fand immer ein verstärkter Dentinabtrag statt.

- Überinstrumentierung

Die Überinstrumentierung kann dazu führen, dass Debris, Spülflüssigkeiten, medikamentöse Einlagen oder Wurzelkanalfüllmaterialien apikal den Zahn verlassen und es so zu Entzündungen des Knochens in diesem Bereich kommen kann.

Überinstrumentierung ist die häufigste Ursache für postoperativen Schmerz in der Endodontie (Weine 1996).

- Perforationen

Alhadainy (1994) erfasste in einer Metastudie die häufigsten Ursachen der Perforationen. Sie entstehen iatrogen, durch interne oder externe Resorption oder durch Karies. Iatrogene Perforationen entstehen meist durch ungünstige Zugangskavitäten, falsche Einschätzung der Zahnachse mit Fehlausrichtung des Bohrers, Überinstrumentierung von Wurzelkanälen und bei der Präparation für pulpale Stifte.

Sogenannte *strip*-Perforationen treten durch Begradigung und durch zu großen Querschnitt der Feile auf. Es kommt zur verstärkten Präparation an der Innenseite der Krümmung. Da dieser Bereich häufig sehr dünn ist, können hier leicht Perforationen entstehen. Die Folge sind Schäden am Wurzelzement und eine Irritation des Parodontiums (Hülsmann et al. 2005).

- Instrumentenfrakturen

Die Materialeigenschaften von Nickel-Titan- und Stahlinstrumenten sind sehr unterschiedlich. Thompson (2000) beschreibt für Nickel-Titan-Legierungen eine höhere Widerstandskraft, ein geringeres Elastizitätsmodul und zähere Materialeigenschaften gegenüber Stahlinstrumenten.

Die auftretenden Drehmomente und Kräfte beeinflussen die Instrumenteneigenschaften nachhaltig. Parashos et al. (2004) stellten fest, dass die Häufigkeit der Instrumentenfraktur besonders von dem Anwender und der Kanalanatomie abhängt und weniger von der Anzahl der Anwendungen.

### **3.6. Maschinelle Präparationssysteme**

#### 3.6.1. Entwicklung

1892 berichtete Oltramare erstmals von einem maschinellen Handstück zur Entfernung der Zahnpulpa.

Kurz darauf entwickelte William H. Rollins 1889 ein spezielles Handstück zur Präparation des Wurzelkanalsystems (Milas 1987). In den folgenden Jahren kamen weitere Entwicklungen auf den Markt. Dazu gehörten das Cursor-Handstück (W&H, Bürmoos, Schweiz), das Racer-Handstück (W&H), das Giromatic Handstück (MicroMega, Besançon, Frankreich), das Canal Finder System (S.E.T., Gröbenzell, Deutschland) und das Excalibur-Handstück (W&H). Die Handstücke wurden in den meisten Fällen in Kombination mit Stahlfeilen verwendet (Hülsmann et al. 2005).

Die Entwicklung gipfelt momentan in der Einführung von Ein-Feilen-Systemen. Dazu gehören beispielsweise das WaveOne-System (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz), das Reciproc-System (VDW, München, Deutschland) und die Self-Adjusting File. Ein System, bei dem herstellergemäß nur zwei Feilen pro Kanal benötigt werden, ist das Twisted File-System (SybronEndo, Orange, CA, USA).

Andere Hersteller setzen weiterhin auf die bewährte schrittweise Präparation des Kanalsystems. Hierzu zählen das BioRaCe-System (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz), das AlphaKite- und das EasyShape-System (beide: Kometdental, Lemgo, Deutschland) und viele andere mehr.

### 3.6.1.1. Instrumentendesign

- Konizität

Die Standardkonizität der Stahlinstrumente beträgt 2%. Aufgrund der Eigenschaften von Nickel-Titan-Legierungen wurde es möglich, auch größere Konizitäten ohne großen Verlust der Flexibilität der Instrumente herzustellen (Bergmans et al. 2001).

Die Konizität der Präparationsinstrumente hat nach neuesten Forschungsergebnissen keinen signifikanten Effekt auf die Entfernung des *smear layer* (Arvaniti & Khabbaz 2011). Yao et al. (2006) zeigten den Einfluss der Konizität und Instrumentengröße auf die Frakturhäufigkeit. Mit zunehmender Konizität und Größe des Präparationsinstruments sank die Rotationsanzahl bis zum Ermüdungsbruch des Präparationsinstrumentes.

- Querschnitt und Design des Instruments

Mit zunehmendem Querschnitt des Instruments verkürzt sich die Arbeitszeit der Nickel-Titan-Feilen (Gambarini 2001, Grande et al. 2006, Haikel et al. 1999, Plotino et al. 2006, Pruett et al. 1997) bis zum Ermüdungsbruch. Auch die Dicke des Instrumentenkerns sowie das Schneidendesign beeinflussen die Materialermüdung der Nickel-Titan-Feilen, wie Grande et al. (2006) zeigen konnten. Sie stellten fest, dass Instrumente mit schmalen Kern seltener Ermüdungsbrüche erleiden als Instrumente mit dickerem Kern.

- Instrumentenspitze

Hier unterscheidet man schneidende von nicht schneidenden Instrumentenspitzen. Wildey et al. postulierten 1992, dass die Mehrzahl der Präparationsfehler aus dem Design der Instrumentenspitze und der schnell zunehmenden Instrumentensteifigkeit resultiert, welche mit dem Durchmesser ansteigt. Powell et al. (1986) stellten fest, dass kein signifikanter Unterschied bezüglich der Kanalpräparation mit schneidenden und nicht-schneidenden Instrumentenspitzen bei der Verwendung maschineller Systeme besteht. Sie konnten jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen Instrumenten mit schneidender / nicht-schneidender Instrumentenspitze bei der manuellen Präparation feststellen.

- Schneidenanordnung

Man unterscheidet in der Zerspantechnik zwei Arten von Schneidengeometrie. Zum einen das Zerspanen mit geometrisch bestimmten Schneiden, zum anderen das Zerspanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden, wobei Schneidenwinkel und -anordnung nicht vorbestimmt sind (Pauksch 1996).

Die bisher verwendeten Feilensysteme arbeiten mit alternierend angeordneten Schneiden, so dass hier von einem geometrischen Muster gesprochen werden kann. Dadurch erreicht man eine gleichmäßige Spanform. Ebenso beeinflussen Spanraum und Spanwinkel entscheidend die Spanform. Inwieweit die Spangröße und -form die apikale Verblockung fördern, ist noch nicht geklärt.



### 3.6.2. Neuere Systeme

#### 3.6.2.1. Ein-Feilen-Systeme

- WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz)

Bei dem WaveOne-System handelt es sich um ein Ein-Feilen-Nickel-Titan-System. Abhängig vom Kanaldiameter erfolgt die Auswahl zwischen drei Feilengrößen. Verfügbar sind Feilen der ISO-Größen 20 mit *taper* .06, 25 mit *taper* .08 und 40 mit *taper* .08. Der Querschnitt der Instrumente stellt sich konvex dreieckig dar, wie es bereits bei den ProTaper-Instrumenten der Fall ist.

Zum Antrieb der Feile wird ein spezieller Motor benötigt, da es sich nicht um eine kontinuierliche Rotation, sondern um eine reziproke Bewegung handelt. Der Motor erzeugt einen großen Rotationswinkel in Schneidrichtung und einen kleineren in die Gegenrichtung. Dadurch soll die Feile sehr effektiv arbeiten und unter Beibehaltung der Wurzelkanalanatomie in den Kanal vordringen. Die Anwendung der Feilen erfolgt unter Anwesenheit von Spülflüssigkeit. Vor Einsatz der Feile empfiehlt der Hersteller, einen Gleitpfad zu schaffen. Unter leichtem Druck mit kurzen Hüben ist die Feile anschließend nach apikal zu bewegen. Sobald kein Fortschritt mehr erreicht wird, ist die Feile zu reinigen sowie der Kanal zu spülen. Anschließend wird die Präparation fortgesetzt, bis die Arbeitslänge erreicht ist.

Die Feilen sind Einmalartikel und können nicht autoklaviert werden, so sollen Kreuzinfektionen verhindert werden. Durch den einmaligen Gebrauch ist eine hohe Schneidleistung gewährleistet. Auch die Materialbelastung ist geringer und damit die Bruchgefahr reduziert.

- Reciproc (VDW, München, Deutschland)

Auch hierbei handelt es sich um ein Ein-Feilen-Nickel-Titan-System. Die Instrumente sind in den Größen 25, 40 und 50 erhältlich. Die Konizität ist über den Arbeitsteil nicht konstant. Innerhalb der ersten apikalen Millimeter besitzt die R25 Feile einen *taper* von .08, die R40 Feile einen *taper* von .06 und die R50 Feile einen *taper* von .05. Die Spitze der Instrumente ist nicht schneidend.

Der Querschnitt der Instrumente stellt sich S-förmig dar und entspricht dem der Mtwo-Instrumente (VDW, München, Deutschland).

Die Feilen können in den meisten Fällen ohne das Anlegen eines Gleitpfades eingesetzt werden. Die Auswahl des Instruments orientiert sich am Kanaldiameter.

Der Antrieb der Feilen erfolgt mit einem speziellen Motor, der eine reziproke Bewegung erzeugt. Dabei kommt es zu einer großen schneidenden Bewegung in Drehrichtung, gefolgt von einer kleineren Bewegung in die entgegengesetzte Richtung. So bewegt sich das Instrument schrittweise nach apikal.

Nach drei Zügen im Kanal muss das Instrument gereinigt und der Kanal gespült werden. Dieses Prozedere wird fortgesetzt, bis die Arbeitslänge erreicht ist.

Es handelt sich um Instrumente zur einmaligen Anwendung. So wird eine Materialermüdung durch Überlastung verhindert.

### 3.6.2.2. Mehr-Feilen-Systeme

- ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz)

Hierbei handelt es sich um ein Mehr-Feilen-System aus Nickel-Titan. Die Grundsequenz besteht aus sechs Feilen. Es wird zwischen „Shaping Files“ und „Finishing Files“ unterschieden. Die Konizität der Feilen ist sehr variabel. Zum Teil besitzen sie eine abnehmende, eine konstante oder eine zunehmende Konizität. So besitzen die „Shaping Files“ über die gesamte Länge des Arbeitsteils eine zunehmende Konizität. Der Querschnitt der Instrumente stellt sich konvex dreieckig dar. Dadurch sollen eine hohe Schneideffizienz, sowie ein geringer Kontakt zwischen Instrument und Dentin erreicht werden. Der variable Schneidekantenwinkel soll die Entfernung von Debris erleichtern.

Ziel der multiplen Konizität ist es, die Anzahl der einzusetzenden Feilen gering zu halten, sowie die Belastung der Feilen zu reduzieren. Durch die nicht schneidende Führungsspitze soll die Feile besser dem Kanalverlauf folgen. Die Feilen werden mit einer Drehzahl von 150 – 350 Umin<sup>-1</sup> betrieben. Dabei sollten die „Shaping Files“ mit einer bürstenden Bewegung in einer *crown-down*-Technik verwendet werden.

- Mtwo (VDW, München, Deutschland)

Es handelt sich um ein Mehr-Feilen-System aus Nickel-Titan. Es besitzt in der Basissequenz vier Feilen der Größen 10/.04, 15/.05, 20/.06 und 25/.06. Für größere Kanäle sind sechs weitere Feilen zur Präparation verfügbar.

Die Aufbereitungssequenz ist für alle Kanäle gleich. Die Anwendung erfolgt mit der *single-lengths*-Technik. Die Instrumente weisen einen S-förmigen Querschnitt mit zwei aktiven Schneidekanten auf. Die Instrumente der höheren ISO-Größen haben einen reduzierten Querschnitt zur Verbesserung der Flexibilität. Alle Instrumente besitzen eine nicht schneidende Spitze. Der Antrieb der Instrumente sollte mit 250 – 350 Umin<sup>-1</sup> und einer Drehmomentbegrenzung erfolgen. Zu Beginn der Präparation muss ein Gleitpfad mit einer Feile der ISO-Größe 10 präpariert werden. Der Einsatz der Instrumente erfolgt in einer bürtenden Bewegung im Kanal. Nach Erreichen der Arbeitslänge kommt das nächste Instrument zum Einsatz. Bei dem Mtwo-System handelt es sich um ein mehrfach zu verwendendes System, jedes Instrument sollte in maximal acht Kanälen eingesetzt werden.

- RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz)

Das RaCe-System stellt ein Mehr-Feilen-Nickel-Titan-System dar, das für die Mehrfachanwendung geeignet ist. RaCe steht dabei für „*reamers with alternately cutting edges*“. Die Feilen sind mit alternierend angeordneten scharfen Schneidekanten, einem dreieckigen Querschnitt, sowie einer elektrochemisch polierten Oberfläche ausgestattet und besitzen eine nicht schneidende Spitze.

Die optimale Drehzahl liegt bei 600 Umin<sup>-1</sup> und das Drehmoment bei 0,5 – 1 Ncm. Bei der Präparation soll das Instrument ohne Druck im Kanal arbeiten, dabei sollen langsame Hubbewegungen durchgeführt werden. Das Instrument muss rotierend in den Kanal eingeführt werden und sollte dann 4-5 Sekunden im Kanal arbeiten.

- FlexMaster (VDW, München, Deutschland)

Das FlexMaster-System ist ein Mehr-Feilen-Nickel-Titan-System. Das „BasicKit“ besteht dabei aus zehn Feilen. Dazu zählen Feilen der Größen 20, 25 und 30 mit einem *taper* von .02, .04 und .06 und einer Feile der Größe 35 mit einem *taper* von .02. Der Instrumentenquerschnitt ist dreieckig konvex und soll so einen stabilen Instrumentenkern bilden. Die bei jedem Instrument individuell angeordneten Schneidewinkel sollen ein Einschrauben des Instruments in den Kanal verhindern. Das Schneidendesign soll das Instrument besonders schneidfähig machen und einen hohen Verwindungswiderstand aufweisen. Die Instrumente haben eine abgerundete nicht schneidende Spitze.

Jedes Instrument sollte maximal acht Mal verwendet werden. Das System findet in der *crown-down*-Technik Anwendung. Der Antrieb der Feilen sollte mit  $300 \text{ Umin}^{-1}$  erfolgen.

### 3.6.2.3. Verwendete Systeme

- Self-Adjusting File

2010 stellten Metzger et al. (2010b) die „Self-Adjusting File“ erstmalig vor. Es handelt sich bei der SAF um eine Hohlfeile, die aus einer  $120 \mu\text{m}$  dicken Nickel-Titan-Legierung besteht (Metzger et al. 2010b). Die Oberfläche der Feilen zeigt eine leicht abrasive Struktur (Hof et al. 2010). Die Feile besteht aus zwei parallel ausgerichteten breiteren Lamellen, die durch dünnere Querverstrebungen miteinander verbunden sind. Die Feilenspitze besitzt keine geometrisch bestimmten Schneiden im Sinne einer schneidenden Instrumentenspitze, wie einige Nickel-Titan-Feilen sie besitzen. Man kann sie jedoch auch nicht als nicht schneidend bezeichnen, da aus der Oberflächenrauigkeit eine Art ungeordnete Schneidenanordnung resultiert, die sich über das gesamte Instrument fortsetzt.

Der große Vorteil dieser Konstruktion ist die Adaptionfähigkeit der Feile an die Kanaloberfläche. Das grazile Design in Zusammenhang mit der Nickel-Titan-Legierung sorgt dafür, dass die Feile zum einen sehr gut komprimierbar ist, zum anderen jedoch eine Rückstellungskraft entwickelt, die dafür sorgt, dass die Feile sich sehr gut der Kanal Anatomie anpasst. Die aus der Nickel-Titan-Legierung resultierende Rückstellungskraft sorgt für einen gleichmäßigen Druck der Feile auf die Kanalwände, da die Feile bestrebt ist, ihre Ausgangsform wieder einzunehmen (Hof et al. 2010). Während der Präparation erfolgt eine kontinuierliche Spülung mit 3% Natriumhypochlorit, das mit 1-10 ml/ min durch die zugehörige Pumpe (VATEA, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) gefördert wird.

Aufgrund des Feilendesigns kommt es bei der Spülung nicht zu einer signifikanten Druckerhöhung, da die Spülflüssigkeit nach koronal abfließen kann (Metzger et al. 2010b). Hof et al. (2010) errechneten für einen 20 mm langen Kanal bei einer Rotationsgeschwindigkeit der Feile von  $5000 \text{ Umin}^{-1}$  aus dem hydrostatischen Druck, dem stagnierenden Druck und dem Stempeldruck einen passiven Spüldruck von 394,42 Pa.

Im Gegenzug errechneten sie für einen Kanal mit einem apikalen Foramen von 350 µm Durchmesser einen theoretischen Eruptionsdruck von 832 Pa, der mehr als doppelt so groß war wie der theoretisch errechnete passive Spüldruck.

Der Antrieb der Feile kann prinzipiell durch einen beliebigen Endodontiemotor erfolgen. ReDent-Nova liefert hier jedoch die Antriebseinheit Anyxing 303B (Micro-NX LTD., Samcheong-ri Waegwan-eup, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea ) in Kombination mit dem Winkelstück GENTLEpower LUX 20 LP (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland). Einziger einzustellender Parameter ist die Rotationszahl pro Minute. Sie sollte auf 3000-5000  $\text{Umin}^{-1}$  eingestellt werden.

Eine weitere Besonderheit stellt der Winkelstückkopf (RDT3, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) dar. Er vollführt neben einer 360° Rotationsbewegung auch eine Hubbewegung von 0,4 mm. Die Rotation wird bei Widerstand gebremst.

Der Winkelstückkopf ist so gestaltet, dass die Feile sich nur dann drehen kann, wenn sie im Kanal nur wenig Wandkontakt hat. Daraus resultiert eine sehr reduzierte, nicht konstante Rotationszahl pro Minute. Der Großteil der Arbeitsenergie wird durch die Hubbewegung auf die Feile übertragen.

Die Feile wird aktiviert in den Kanal eingeführt und solange vorgeschoben, bis die Arbeitslänge erreicht ist (Metzger et al. 2010b).

In Zusammenhang mit der Hubbewegung und der abrasiven Oberfläche der Feile erfolgt so der schleifende Abtrag der Kanaloberfläche (Hof et al. 2010).

Nach Einsatz der Feile für vier Minuten erreicht man einen zirkumferenten Dentinabtrag von ca. 60 - 75 µm (Metzger et al. 2010b). Die oszillierende Bewegung der Feile hat ebenfalls aktivierende Auswirkung auf die Spülflüssigkeit (Metzger et al. 2010b), ähnlich, wie es auch für Ultraschallspülungen erwiesen wurde (de Gregorio et al. 2009). Es existieren momentan zwei Durchmesser für unterschiedlich breite Wurzelkanäle. Für engere Kanäle empfiehlt sich die 1,5 mm dicke Feile.

Der Wurzelkanal muss zunächst mit einer K-Feile der ISO-Größe 20 vorpräpariert werden. Bei großlumigeren Kanälen findet die 2 mm dicke Feile Anwendung, wobei hier mit einer K-Feile der ISO-Größe 30 vorpräpariert werden muss.

ReDent-Nova bietet auch unterschiedliche Feilenlängen an. So kann zwischen 21, 25 und 31 mm Länge gewählt werden. Nach einmaligem Einsatz an einem Patienten ist die Feile zu entsorgen (Metzger et al. 2010b).

- BioRaCe

Das BioRaCe-System der Firma FKG Dentaire wurde Anfang 2008 erstmalig vorgestellt. Es stellt eine Fortentwicklung des RaCe-Systems dar. Das Akronym BioRaCe steht dabei für „reamers with alternately cutting edges“.

Die Feilen besitzen eine nicht schneidende Spitze, alternierende, scharfe Schneidekanten ohne *radial lands*, sowie eine elektrochemisch polierte Oberfläche (Debelian 2011).

Die Konizität der aufeinander folgenden Instrumente ist dabei nicht gleich. So wird erreicht, dass die Kontaktzonen des Instruments im Kanal zunächst eher koronal, dann medial und danach apikal liegen. Somit wird eine *crown-down*-Präparation in Anwendung mit einer *single-length*-Technik erreicht.

Die Basic-Sequenz besteht aus sechs Feilen und umfasst folgende Feilen:

- BR0 Feile der Größe 25 mit einem Taper von .08
- BR1 Feile der Größe 15 mit einem Taper von .05
- BR2 Feile der Größe 25 mit einem Taper von .04
- BR3 Feile der Größe 25 mit einem Taper von .06
- BR4 Feile der Größe 35 mit einem Taper von .04
- BR5 Feile der Größe 40 mit einem Taper von .04

Für besonders weite Kanäle, wie sie bei einwurzeligen Zähnen, palatinalen Kanälen oberer Molaren und distalen Kanälen unterer Molaren zu finden sind, ist ein „Extended Set“ verfügbar, welches eine apikale Aufbereitung bis zur Größe 60 erlaubt, ebenso enthält es zwei Feilen mit niedriger Konizität (2%) für extreme Krümmungen. Vor der maschinellen Präparation muss ein Gleitpfad mit einem Instrument der ISO-Größe 15 präpariert werden.

Die Anwendung erfolgt bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 500 – 600 Umin<sup>-1</sup> (Debelian 2011) und einem Drehmoment von 1 Ncm.

Bei der Präparation soll das Pulpakavum mit Spülflüssigkeit gefüllt sein und das Instrument ohne Druck im Kanal arbeiten. Hierbei sollen langsame Hubbewegungen durchgeführt werden. Das Instrument muss rotierend in den Kanal eingeführt werden und sollte dann vier bis fünf Sekunden im Kanal arbeiten. Nach jedem Instrument muss der Wurzelkanal ausreichend gespült werden. Außer der Feile BR0 müssen alle Instrumente die Arbeitslänge erreichen. Ist das nicht der Fall, sollen sie nach vier Hüben im Kanal gereinigt und erneut eingesetzt werden, bis die Arbeitslänge erreicht ist.

Ziel der BioRaCe-Sequenz ist bei engen Kanälen eine apikale Präparation bis zur Größe 35-40 und bei weiten Kanälen eine Präparation bis zur Größe 50-60 (Debelian 2011). Dies soll, abhängig von der Wurzelkanalanatomie, durch den Einsatz von fünf bis sieben Instrumenten erreicht werden.

### **3.7. Studien zur SAF**

#### 3.7.1. Dentinabtrag

Peters et al. (2010) zeigten, dass der Dentinabtrag innerhalb der ersten zwei Minuten signifikant ( $p < 0,01$ ) größer war als in dem nachfolgenden Zwei-Minuten-Intervall. Der Dentinabtrag pro Minute wurde mit fortschreitender Präparation immer geringer. Für die 2 mm breite SAF war er mehr als doppelt so hoch wie der Dentinabtrag, welchen die 1,5 mm breite SAF erreichte. Mit zunehmender Präparationszeit sank das pro Minute präparierte Kanalvolumen. Dies resultiert aus der geringeren Rückstellungskraft der Feile bei Rückgang der Kompression (Hof et al. 2010).

Paqué & Peters (2011) ermittelten in einer Mikro-CT Studie an ovalen Kanälen von Unterkiefermolaren einen Dentinabtrag zwischen 2,7 und 9,6 mm<sup>3</sup> mit einem Durchschnitt von  $4,84 \pm 1,73$  mm<sup>3</sup>.

#### 3.7.2. Änderung des Kanalvolumens

Peters et al. (2010) dokumentierten eine Änderung des Kanalvolumens innerhalb zweier Versuchsgruppen an jeweils zehn Oberkieferfrontzähnen von  $1,65 \pm 0,88$  mm<sup>3</sup> nach zwei Minuten Präparationszeit mit der 1,5 mm breiten SAF und in der Gruppe der 2 mm breiten SAF von  $3,63 \pm 1,80$  mm<sup>3</sup>.

Peters & Paqué (2011) erreichten durch vierminütige Präparation einen Dentinabtrag zwischen 2,00 - 2,87 mm<sup>3</sup>, welcher einen signifikanten Unterschied ( $p < 0,01$ ) zu den Ausgangsvolumina darstellte.

Paqué & Peters (2011) ermittelten in einer Mikro-CT Studie an distalen Kanälen von Unterkiefermolaren vor der Präparation ein durchschnittliches Kanalvolumen von  $7,73 \pm 2,13$  mm<sup>3</sup> bei einer Auflösung von 20 µm. Die durchschnittliche Änderung des Kanalvolumens durch die Präparation lag bei  $4,84 \pm 1,73$  mm<sup>3</sup>.

### 3.7.3. Anteil präparierter Kanaloberfläche

Peters et al. (2010) stellten fest, dass nach zwei Minuten ein Anteil nicht präparierter Kanaloberfläche von  $63,0\% \pm 15,1\%$  (SAF 1,5 mm nach zwei Minuten) vorlag und durch Präparation über fünf Minuten der Anteil auf  $8,6\% \pm 4,1\%$  (SAF 2 mm) reduziert werden konnte. Die 2 mm breite SAF erreichte innerhalb von fünf Minuten an signifikant ( $p < 0,001$ ) mehr Kanalanteilen einen Substanzabtrag größer 100 µm, als es die 1,5 mm breite SAF nach sechs Minuten aufweisen konnte.

Peters & Paqué (2011) ermittelten in einer Studie an Oberkiefermolaren, dass die nicht präparierten Wandanteile der drei Kanäle keinen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ) zueinander erkennen ließen.

Peters & Paqué (2011) konnten zeigen, dass der Anteil nicht bearbeiteter Kanaloberfläche bei der SAF signifikant ( $p < 0,05$ ) kleiner war als in einer ProTaper-Vergleichsgruppe (Paqué et al. 2010). Metzger et al. (2010c) stellten in einer Mikro-CT-Studie fest, dass der Einsatz der SAF bei der Präparation flach ovaler Kanäle zu 83,2% bearbeiteten Kanaloberflächen führte.

Paqué & Peters (2011) ermittelten in einer Mikro-CT-Studie an Unterkiefermolaren vor der Präparation eine durchschnittliche Kanaloberfläche von  $42,83 \pm 8,14$  mm<sup>2</sup> bei einer Auflösung von 20 µm. Die durchschnittliche Änderung der Kanaloberfläche durch die Präparation betrug  $3,34 \pm 1,73$  mm<sup>2</sup>, was einen signifikanten Unterschied ( $p < 0,001$ ) zur Ausgangsoberfläche darstellte. Der Anteil nicht präparierter Oberfläche der distalen Wurzelkanäle lag mindestens bei 6,7% und maximal bei 44%. Aus den erhaltenen Werten ermittelten sie eine durchschnittlich nicht präparierte Kanaloberfläche von  $23,5\% \pm 8,9\%$ .



Metzger et al. (2010c) stellten in einer Mikro-CT-Studie unbearbeitete Kanalwandbereiche zwischen 5,3 % und 76,6 % fest. Der Durchschnitt der nicht bearbeiteten Kanaloberfläche lag für die SAF bei 16,7 %  $\pm$  8,9 %.

### 3.7.4. Kanalverlagerung

Peters et al. (2011) stellten präparationsbedingte Kanalverlagerungen von 31-149  $\mu$ m fest. Dabei traten diese signifikant ( $p < 0,01$ ) häufiger im koronalen Anteil als im medialen und apikalen Anteil auf. Die geringste Verlagerung ermittelten sie bei den palatinalen Kanälen. In 15 von 120 Fällen überschritt die Verlagerung 100  $\mu$ m.

Paqué & Peters (2011) ermittelten für die distalen Kanäle an Unterkiefermolaren eine Kanalverlagerung zwischen  $64 \pm 36 \mu$ m und  $106 \pm 50 \mu$ m über den gesamten Kanal. Im Bereich der koronalen Kanalanteile trat die größte Kanalverlagerung auf, im Vergleich zum mittleren Anteil war sie signifikant ( $p < 0,01$ ) größer. An acht von 60 Wurzelabschnitten traten Verlagerungen auf, welche größer als 150  $\mu$ m waren, wobei die Mehrzahl im koronalen Drittel zu finden war.

Metzger et al. (2010b) berichten von sehr geringer Kanalverlagerung im Vergleich zu einem konventionellen Nickel-Titan-System, welches Peters et al. (2003) untersuchten. Peters et al. stellten fest, dass die dickeren Feilen des untersuchten Systems die Tendenz hatten, den Kanal zur Außenseite der Krümmung zu verlagern. Die SAF verlagerte den apikalen Teil des Kanals bei ähnlichen Präparationsdiametern weniger als das von Peters et al. untersuchte Nickel-Titan-System.

### 3.7.5. Entfernung von *smear layer*, Debris und Desinfektionswirkung

Metzger et al. (2010a) führten eine rasterelektronenmikroskopische Studie durch, um die Effektivität der Feile in Bezug auf die Entfernung von Debris und *smear layer* zu überprüfen. Dabei zeigten sich eine vollständige Entfernung von Debris bei allen Proben sowie eine vollständige Entfernung des *smear layers* in den koronalen Anteilen aller Proben. Im mittleren Drittel konnte eine Entfernung des *smear layers* bei 80%, im apikalen Drittel bei 65% der Proben festgestellt werden.

In einem aus einer Studie von Peters & Peters (2006) übernommenen Versuchsaufbau mit Kunststoffkanälen konnte die SAF durch ihre kontinuierliche Spülung und die von der Feile ausgehenden Vibrationen effektiv auch den apikalen Anteil des Kanals spülen (Metzger et al. 2010b).

Siqueira et al. (2010) stellten an lang ovalen Wurzelkanälen eine signifikante Reduktion ( $p < 0,001$ ) der koloniebildenden Einheiten von *E. faecalis* durch die Präparation und Spülung der Wurzelkanäle mit der SAF fest.

Dietrich et al. (2012) zeigten in einer Studie, in der sie die SAF mit der K3 und dem WaveOne-System verglichen, dass zwischen den Systemen kein signifikanter Unterschied bei der Debrisentfernung in den mesialen Kanälen unterer Molaren festgestellt werden konnte. In den Isthmusbereichen konnten sie jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen WaveOne und K3 / SAF feststellen ( $p < 0.012$ ). Hier lieferten K3 und SAF die besseren Ergebnisse. In dieser Studie nutzten Dietrich et al. (2012) die SAF auch als zusätzliches Spülsystem nach bereits erfolgter Präparation des Kanalsystems mit dem WaveOne- bzw. K3-System. Dabei zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Sauberkeit in der K3 Gruppe.

De-Deus et al. (2011) führten eine vergleichende Studie durch, in der sie das SAF-System in Bezug auf die Reinigungswirkung in ovalen Kanälen mit dem ProTaper-System verglichen. Dabei zeigten sie, dass das ProTaper-System signifikant mehr Pulpagewebe zurückließ als das SAF-System (21,4% vs. 9,3%,  $p < 0,05$ ). Einen Zusammenhang zwischen Kanalabschnitt und der Sauberkeit konnten sie nicht feststellen ( $p > 0,05$ ).

Paqué et al. (2012) untersuchten ebenfalls die Effektivität der SAF gegenüber der des ProTaper-Systems, Debris aus den mesialen Wurzelkanälen unterer Molaren zu entfernen. Dabei zeigte sich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Systemen (Mann–Whitney U-Test,  $p < 0,0001$ ). Nach der Präparation blieben 10,1% (IQR 5.2) des Kanalvolumens bei dem ProTaper-System mit Debris gefüllt, beim SAF-System hingegen nur 1,7% (IQR 1.6). Nachdem das Kanalsystem mit EDTA gespült wurde, konnte nochmals eine Reduktion des Debrisanteils erreicht werden.

Mit Hilfe der Spülung konnte eine signifikante Reduktion von Debris in den Versuchsgruppen erreicht werden ( $p < 0,01$ ). Das Resultat der Spülung war ein Debrisanteil im Kanalvolumen von 7,9% (IQR 4.1) bei dem ProTaper-System und von 1,3% (IQR 0.8) bei dem SAF-System. Auch nach Spülung mit EDTA bestand weiter ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsgruppen (Mann–Whitney U-Test,  $p < 0,0001$ ).

Kaya et al. (2011) untersuchten den Einfluss der unterschiedlichen Konzentrationen von NaOCl bei der Präparation der Wurzelkanäle mit dem SAF-System. Dabei stellten sie keinen signifikanten Einfluss auf die Entfernung von *smear layer* in den drei untersuchten Abschnitten (koronal, medial, apikal) des Wurzelkanalsystems fest ( $p > 0,05$ ). Mit Hilfe eines Scoresystems ermittelten sie auch den Einfluss der Konzentration von NaOCl auf den Grad der Erosion, welcher durch die Spülung entsteht. Hier zeigten sie, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den 1,3 und 2,6%igen und der 5,25%igen NaOCl Lösung besteht ( $p < 0,05$ ). Zwischen den NaOCl Konzentrationen von 1,3% und 2,6% konnten sie keinen signifikanten Unterschied feststellen ( $p = 0,148$ ), zwischen der 1,3% und 5,25%igen Lösung zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Auslösung von Erosionen ( $p = 0,007$ ).

Paranjpe et al. (2012) verglichen die Fähigkeit des ProTaper-Systems mit der des SAF-Systems, *Enterococcus faecalis* aus dem Wurzelkanallumen zu entfernen. Statistisch bewirkten beide Systeme eine signifikante Reduktion der Keime ( $p < 0,01$ ). Zwischen den Versuchsgruppen zeigten sich sowohl direkt nach der Präparation als auch nach erneuter Mobilisation von Kanalinhalt mit Hilfe einer Feile signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) in Bezug auf die Reduktion der Keimzahl. Innerhalb beider Gruppen zeigte die statistische Auswertung, dass beide Systeme hoch effektiv die Keimzahl reduzierten ( $p < 0,01$ ).

### 3.7.6. Querschnittsveränderungen

In der Studie mit dem Ziel, die Eigenschaften der SAF mit anderen aktuellen Nickel-Titan-Systemen zu vergleichen, stellten Metzger et al. (2010c) mit Hilfe eines Mikro-CTs fest, dass die Kanalquerschnitte durch die Feile weitestgehend respektiert wurden.

So wurden runde Kanäle durch die Feile rund präpariert, ovale Kanäle behielten ihre ovale Form. Es erfolgte ausschließlich eine Vergrößerung des vorhandenen Querschnittsprofils.

### 3.7.7. Präparationsfehler

Metzger et al. (2010b) konnten auch bei Überinstrumentierung mit der SAF trotz mehrminütiger Präparation kein *zipping* provozieren, wie es häufig bei konventionellen Nickel-Titan-Systemen auftritt. Auch Peters & Paqué (2011) konnten nach Präparation von 20 Oberkiefermolaren keine Präparationsfehler feststellen.

### 3.7.8. Präparationssicherheit

Metzger et al. (2010b) zeigten in einem aus einer Studie von Peters & Peters (2006) übernommenen Versuchsaufbau mit Kunststoffkanälen, dass ein apikales Überpressen von Spülflüssigkeit nicht nachweisbar war. Hof et al. (2010) ermittelten, dass die Feile auch komprimiert in einem 200 µm breiten Kanal, 38 % des Kanalquerschnitts frei hielt, so dass eine Rückflussmöglichkeit für die Spüllösung gegeben war.

Hof et al. (2010) ermittelten eine Arbeitszeit von  $29,1 \pm 1,2$  Minuten bis zum ersten Ermüdungsbruch einer SAF. Das entspricht klinisch betrachtet neun Kanälen bei einer Präparationszeit von vier Minuten pro Kanal. Eine Separation, wie sie von Nickel-Titan-Instrumenten bekannt ist, trat im Rahmen der Studie nicht auf.

Akçay et al. (2011) untersuchten 40 SAFs während der Bearbeitung unterschiedlich gekrümmter Wurzelkanäle auf ihre Haltbarkeit und Frakturanfälligkeit. Dazu verwendeten sie jeweils 20 Feilen in 45° und 60° gekrümmten künstlichen Wurzelkanälen in vier Minuten Sequenzen solange, bis sie optisch unter einer 50-fachen Vergrößerung Fehler der Feile feststellen konnten. Nach der ersten, zweiten, fünften und sechsten Arbeitsperiode zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ). In beiden Gruppen konnte keine vollständige Feilenseparation festgestellt werden.

Weiterhin stellten sie fest, dass mit der zunehmenden Verwendungsdauer eine Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit eintritt und sich mit der Zeit Vorwölbungen in der Netzstruktur ergeben. Letzteres zeigte sich verstärkt bei den Feilen, die im 60° gekrümmten Kanal verwendet wurden. An einigen Stellen konnten sie komplett glatte Oberflächen feststellen, bedingt durch die Nutzung und den Metallverschleiß. Bis zur vierten Arbeitsperiode trat in beiden Gruppen das Lösen eines Bogens aus dem Netz nur einseitig auf. Zwischen der vierten und sechsten Arbeitsperiode trat verstärkt ein zweiseitiges Lösen von Bögen aus dem Netz auf.

### 3.7.9. Mechanische Eigenschaften

Die Komprimierbarkeit der Feile entspricht dem Raum, den eine K-Feile der ISO-Größe 20 einnimmt, dabei ließen sich die ersten zwei Millimeter der Feile in ein 0,25 mm breites Loch einbringen. Hof et al. (2010) zeigten den Zusammenhang der Feilenkompression mit der auf die Kanalwände einwirkenden Kraft. Je größer die Kompression der Feile, desto mehr Druck übt sie auf die Kanaloberfläche aus. Über die gesamte Länge des Arbeitsteils konnte in einem 0,25 mm breiten Kanal eine Kraft von 300 g gemessen werden. Bei einem Kanaldurchmesser von 0,5 mm lag die Kraft nur noch bei 150 g. Die Oberflächenrauigkeit der Feile wurde mit  $2,8 \mu\text{m} \pm 10\%$  ermittelt. Die Einsatzzeit der Feile liegt pro Kanal bei circa vier Minuten. Innerhalb dieser Zeit konnte eine Vergrößerung des Kanallumens um 3,5 ISO-Größen ( $\pm 0,01$  ISO-Größen) festgestellt werden. Innerhalb der ersten zwei Minuten erfolgte der Großteil der Präparation mit einer Erweiterung um 3 ISO-Größen ( $\pm 0,02$  ISO-Größen). Während des Torque-Tests ließ sich die Feile 7 Mal ( $\pm 0,4$ ) um 360° verdrehen, bevor sie brach. Die Drehkrafthaltbarkeit wurde in Höhe von  $29,7 \pm 3,2$  g/cm ermittelt. Die Haltbarkeit ermittelten sie zum einen mit dem „ADA Cyclic Fatigue Test“. Hierbei arbeiteten insgesamt zehn Feilen jeweils länger als 150 Minuten ohne anschließend Deformationen aufzuweisen.

In einem weiteren Biegehaltbarkeitstest konnte die Feile  $600.500 (\pm 15.800)$  Mal gebogen werden, bevor erste mechanische Fehler auftraten. Die Haltbarkeit unter funktionellen Bedingungen wurde in einer 10 mm Aufwärts-/ Abwärts-Bewegung in einem Testblock ermittelt. Nach jeweils einer Minute wurde die Feile bei 50-facher Vergrößerung auf Fehler untersucht. Es wurden 50 Feilen aus fünf verschiedenen Chargen verwendet. Dabei lag die durchschnittliche Arbeitszeit bis zum Auftreten erster Fehler bei  $29,1 (\pm 1,2)$  Minuten.

Der häufigste Fehler war ein Abriss einer Verbindung der Querverstrebungen. Dabei riss nicht der gesamte Bogen ab, sondern nur eine Konnektorstelle zu den Längsverstrebungen. Der Einfluss der Arbeitszeit auf die Abrasivität der Feilenoberfläche ist bemerkbar. So konnte mit einer Feile, die zuvor 30 Minuten gearbeitet hat, bei Einsatz in einem neuen Testkanal dieser innerhalb von vier Minuten nur noch um 2,1 ( $\pm 0,0004$ ) ISO-Größen erweitert werden. Die Reduktion der Effektivität durch die vormalige Benutzung lag bei 40%. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass der Druck auf die Kanalwand und damit die Rückstellungskraft der Feile um 30% reduziert war. Aufgrund des mit fortschreitender Zeit geringer werdenden Substanzabtrags erbringt die Nutzung der SAF über mehr als vier Minuten pro Kanal keinen erheblichen Nutzen für die Präparation oder ein erhöhtes Risiko für eine Überinstrumentierung.

Die typischen Ermüdungsbrüche bei der SAF können aus der wiederholten Kompression und Dekompression der Bögen oder der Stauchung der Längsbalken oder Verstrebungen resultieren. Die Längslamellen und Verstrebungen zeigten innerhalb der Studie jedoch selten mechanische Fehler. Innerhalb der vom Hersteller angegebenen Nutzungszeit verschlechterte sich die Präparationseffektivität nur unwesentlich.

### **3.8. Studien BioRaCe**

#### 3.8.1. Kanalverlagerungen

Bonaccorso et al. (2009) verglichen das BioRaCe-System mit drei anderen konventionellen Nickel-Titan-Systemen auf die Fähigkeit, S-förmige Kanäle zu präparieren.

Dabei stellten sie fest, dass die Verwendung des BioRaCe-Systems in Kombination mit S-Apex-Instrumenten einen signifikant geringeren Substanzabtrag an der Innenkurvatur der koronalen Krümmung bewirkte. Zwischen dem Mtwo-System, dem BioRaCe-System und dem BioRaCe-System in Kombination mit S-Apex konnte an der Innenseite der apikalen Krümmung des S-förmigen Kanals kein signifikanter ( $p > 0,05$ ) Unterschied festgestellt werden.

### 3.8.2. Präparationsfehler

Bonaccorso et al. (2009) ermittelten, dass das Auftreten von *zip* und *elbow* bei der Anwendung von BioRaCe in Kombination mit S-Apex geringer war als bei dem ProTaper- und dem Mtwo-System.

### 3.8.3. Instrumentenstabilität und -beschaffenheit

Lopes et al. untersuchten 2010 den Einfluss der Elektropolitur auf die Materialermüdung bei BioRaCe-Instrumenten. Auf der Oberfläche der nicht polierten Instrumente zeigten sich unter dem Rasterelektronenmikroskop deutliche Bearbeitungsspuren. Die elektropolierten Instrumente wiesen nur sehr geringe Bearbeitungsspuren auf. Der Biegetest zeigte keine signifikanten ( $p = 0,67$ ) Unterschiede in der Biegebelastbarkeit zwischen den polierten und nicht polierten Instrumenten. Die Arbeitszeit bis zum zyklischen Ermüdungsbruch der elektropolierten Instrumente lag bei  $86,8 \pm 9,4$  Sek und stellte sich als signifikant ( $p < 0,001$ ) länger gegenüber den unpolierten Instrumenten  $38,8 \pm 6,7$  Sek dar. Im Arbeitsteil der Instrumente konnte keine plastische Verformung festgestellt werden. In beiden Instrumentenversionen konnten Mikrorisse in der Nähe der Frakturkante festgestellt werden. Die polierten Instrumente zeigten unregelmäßige Risse, wohingegen die unpolierten Instrumente Risse zeigten, welche den Bearbeitungsspuren folgten.

Yamazaki-Arasaki et al. (2012) verglichen vier Nickel-Titan Systeme bezüglich des Materialverlusts nach zwölfmaliger Nutzung der Feilen. Dazu verwendeten sie  $45^\circ$  gekrümmte Wurzelkanäle aus Kunststoff. Jedes Set wurde nach Präparation eines Kanals gereinigt und sterilisiert.

Der Vergleich der neuen Instrumente mit den zwölfmalig benutzten zeigte in allen vier Gruppen signifikante Veränderungen der Feilen ( $p < 0,01$ ).

### 3.8.4. Präparationssicherheit

Taşdemir et al. verglichen 2010 in einer In-vitro-Studie die Menge überpressten Debris nach Präparation mit drei Nickel-Titan-Systemen und fanden signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ).

Die größte Menge an überpresstem Debris konnte in der ProTaper-Gruppe festgestellt werden ( $1,958 \pm 0,346$  mg), die kleinste Menge in der BioRaCe Gruppe ( $0,538 \pm 0,193$  mg). Dabei war die überpresste Debrismenge hier signifikant kleiner ( $p < 0,01$ ) als in der ProTaper- und Mtwo-Gruppe.

Yoldas et al. (2012) verglichen in einer In-vitro-Studie sechs Arten der Wurzelkanalpräparation in Bezug auf Mikrorisse im Dentin. Dabei zeigten alle konventionellen Nickel-Titan-Systeme ein signifikant häufigeres Auftreten von Mikrorissen im Dentin gegenüber der Kontrollgruppe sowie den mit Handfeilen und den mit dem SAF-System aufbereiteten Zähnen ( $p < 0,0001$ ). In letzteren konnten keine Mikrorisse festgestellt werden. Innerhalb der Gruppe der vier konventionellen Nickel-Titan-Systeme konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Entstehung von Mikrorissen im Dentin festgestellt werden ( $p > 0,005$ ).

### 3.8.5. Effektivität der Präparation

Alves et al. (2012) verglichen das BioRaCe-System mit einem *single-file*-System in Bezug auf die Reinigungswirkung in ovalen Kanälen. Dabei zeigten beide Systeme eine signifikante Reduktion der Bakterienzahl ( $p < 0,001$ ). Zwischen beiden Systemen lagen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Reduktion der Bakterienzahl vor ( $p > 0,05$ ).

### 3.8.6. Einfluss des Spülmediums auf die Keimbelastung im Wurzelkanal

Paiva et al. (2012) verglichen den Einfluss von Ultraschall aktiviertem NaOCl (2,5%) mit dem einer CHX Spülung (2%), nachdem die Kanäle mit dem BioRaCe-System aufbereitet wurden. Beim Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Proben vor und nach Spülung konnte keine signifikante Reduktion der bakteriellen Belastung festgestellt werden. Die Gruppen zeigten zueinander ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.



## **4. Material und Methode**

### **4.1. Auswahl der Zähne**

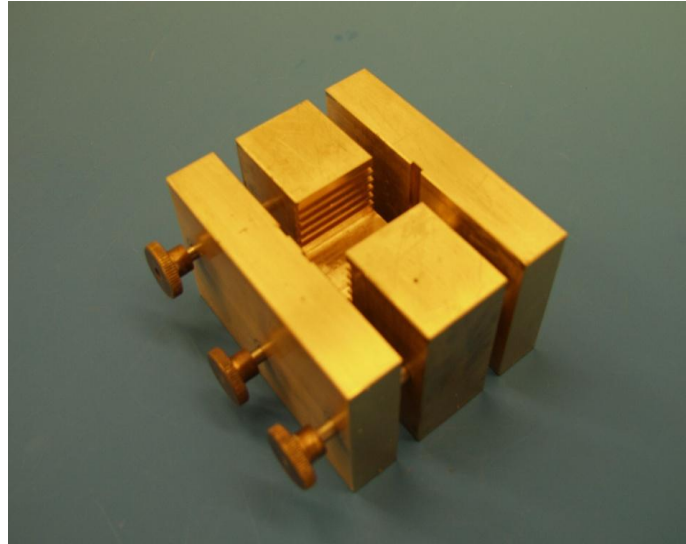
Es wurden 50 extrahierte Unterkiefermolaren verwendet, welche an der mesialen Wurzel eine Krümmung von 20-40 Grad aufwiesen. Zähne mit einer im bucco-oralen Strahlengang sichtbaren doppelten Krümmung wurden aussortiert. Die Zähne mussten ein abgeschlossenes Wurzelwachstum und einen intakten Apex aufweisen. Die Zähne wurden auf eine einheitliche Wurzelkanallänge von 19 mm gekürzt, was anhand eines in den Wurzelkanal eingebrachten Handinstrumentes, welches apikal an der Wurzelspitze sichtbar sein musste, überprüft wurde. Hiermit wurde zugleich auch die Durchgängigkeit der Kanäle sichergestellt. Die Sondierung erfolgte mit einer K-Feile der ISO-Größe 10 (VDW, München, Deutschland).

### **4.2. Das Muffelsystem**

Zum Einbetten der extrahierten Zähne wurde das Muffelsystem nach Bramante et al. (1987) in der Modifikation von Hülsmann (1998) verwendet. Die Muffel (Wissenschaftliche Werkstätten, Universität Göttingen, Abbildung 2) besteht aus mehreren Teilen, welche sich immer exakt repositionieren lassen, so dass gewährleistet ist, dass auch die eingebetteten Zähne immer exakt zurückgesetzt werden können und eine Auswertung unter standardisierten und reproduzierbaren Bedingungen möglich wird.

Es handelt sich um einen U-förmigen Mittelteil sowie zwei Seitenwände, die mittels dreier Schrauben an den seitlichen offenen Flanken der U-Form befestigt werden können. Um die Repositionierbarkeit zu gewährleisten, sind in die Muffel unterschiedlich angeordnete Führungsrillen eingearbeitet. So ergibt sich immer nur eine Position zum Zusammensetzen der Muffel und zum Zurücksetzen des in Kunststoff eingebetteten Zahnes. Der Aufbau der Muffel macht es weiterhin möglich, einen Röntgentubushalter an der Muffel zu befestigen. Somit ist es möglich, auch die Röntgenaufnahmen immer in gleicher Position bezogen auf die Muffel und den Zahn herzustellen.

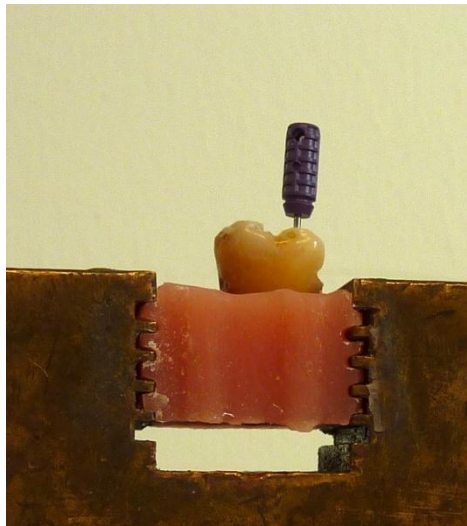
Um die Röntgenaufnahmen übereinanderlegen zu können, wurde bei den Röntgenaufnahmen ein in den Filmhalter fest integriertes Klammerkreuz am Rand des Röntgenbildes mit abgeleitet. Es diente als Referenzobjekt und Positionierungshilfe.



*Abbildung 2: Verwendete Muffel*

### **4.3. Das Einbetten der Zähne**

Bevor die Zähne eingebettet werden konnten, musste die Muffel dünn mit Vaseline (Vaseline weiss DAB 10, Winthrop Arzneimittel GmbH, Mülheim-Kärlich, Deutschland) ausgestrichen werden, um eine einfache Entfernung des Kunststoffblocks zu gewährleisten. Anschließend wurden die Wurzelspitzen mit Peripheriewachs (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) versiegelt, um ein Eindringen von Kunststoff beim Einbetten zu verhindern. Gleichzeitig diente das Wachs auch zum Positionieren des Zahnes in der Muffel. Die Positionierung erfolgte zentral, die Vestibulärflächen wurden immer zur selben Markierung auf der Muffel ausgerichtet. Die Muffel wurde mit Kunststoff (Paladur, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) so weit gefüllt, dass die Wurzeln der Zähne von Kunststoff umgeben war, die Zahnkrone aber frei von Kunststoff blieb (Abbildung 3).



*Abbildung 3: Eingebetteter Zahn mit Feile*

#### **4.4. Ermittlung der Ausgangskrümmungswinkel und Krümmungsradien der Wurzelkanäle**

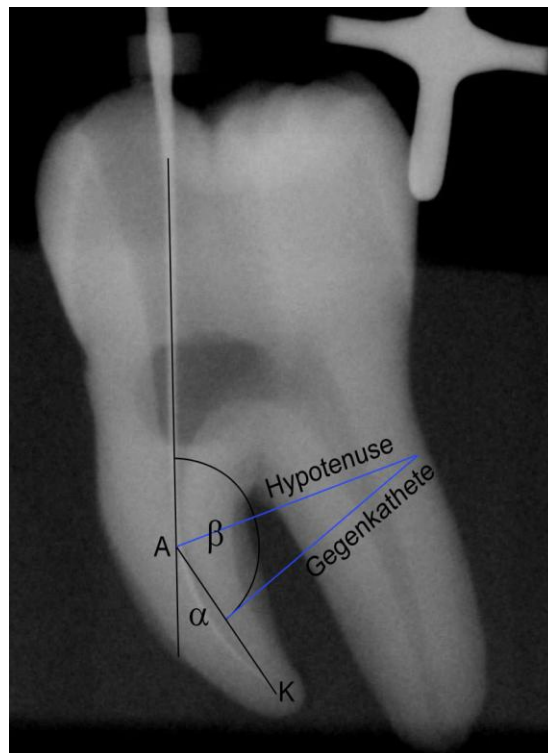
Um die präoperativen Krümmungswinkel der Wurzelkanäle zu ermitteln, wurden die Zähne in bucco-oralem Strahlengang geröntgt. Dabei waren die beiden mesialen Kanäle jeweils mit einer K-Feile der ISO-Größe 15 versehen, welche auf Arbeitslänge (18 mm) eingebracht wurde. Pro Wurzelkanal wurde jeweils ein Röntgenbild angefertigt, um eventuelle Überlagerungen zu vermeiden und eine eindeutige Zuordnung des Instruments im entsprechenden Kanal sicherzustellen. Das Muffensystem diente als Halterung für die eingebetteten Zähne.

Es wurde ein digitaler Röntgensensor (CDR 1, CoSi Elektronik GmbH, Eching, Deutschland) im Format 2x3 cm verwendet. Das Röntgengerät (Elitys, Trophy Radiology, Washington, USA) belichtete die Bilder mit 60 kV und einer Belichtungszeit von 0,102 Sekunden. Die Betrachtung der Röntgenbilder erfolgte am Computermonitor bei zehnfacher Vergrößerung. Anschließend wurden die mesialen Kanäle der abgelichteten Zähne mit einer Bildanalysesoftware (ImageJ, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) vermessen. Dabei wurden der Krümmungswinkel und der Abstand vom Krümmungsbeginn bis zur Wurzelspitze ermittelt und in eine Tabelle übertragen.

Aus den zwei Parametern erfolgte mit Hilfe einer Formel die Bestimmung des Krümmungsradius der Wurzelkanäle.

Die Bewertung der Ausgangswinkel erfolgte nach der Methode von Schneider (1971), modifiziert nach Zhang & Hu (2010) nach folgendem System:

Eine Gerade folgt dem geraden Teil des Kanals im zervikalen Bereich. Eine zweite Gerade verläuft durch den apikalen Teil des Instruments zu dem Punkt, an dem die erste Gerade den Kanal verlässt. Der sich zwischen den Geraden ergebende Winkel entspricht dem zu ermittelnden Krümmungswinkel. Zusätzlich wurde der Krümmungsradius der Wurzelkanäle folgendermaßen berechnet (Abbildung 4).



*Abbildung 4: Herleitung der Formel zur Berechnung des Krümmungsradius*

Der Winkel Alpha wird gemessen, ebenso die Strecke Apex-Krümmungsbeginn (AK). Da sowohl Punkt A als auch Punkt K auf der Kreisbahn liegen müssen, können der Winkel Beta und die Strecke AK halbiert werden. Dem Kosinussatz folgend ergibt sich zur Bestimmung des Krümmungsradius folgende Gleichung, wenn man den gemessenen Winkel Alpha und die Strecke AK einsetzt:

$$\text{Krümmungsradius} = (\text{Strecke AK}/2) / \cos(180-\alpha)/2$$

Jetzt erfolgte die zufällige Aufteilung der Zähne in zwei Gruppen mit jeweils 25 Zähnen. Um eine Vergleichbarkeit der zwei Gruppen sicherzustellen, wurde jetzt der durchschnittliche Krümmungswinkel der zwei Gruppen errechnet und verglichen. Einzelne Zähne wurden ausgetauscht, bis der durchschnittliche Krümmungswinkel in beiden Gruppen vergleichbar groß war. Der Krümmungsradius der Kanäle wurde dabei ebenfalls berücksichtigt, so dass auch dieser in beiden Gruppen vergleichbar war.

### 4.5. Versuchsdurchführung und Auswertung

Die Untersuchung erfolgte an insgesamt 50 extrahierten Unterkiefermolaren, wobei nur die beiden mesialen Wurzelkanäle bearbeitet und untersucht wurden.

Da das BioRaCe-System mit einer „Introfile“ arbeitet, nicht jedoch das SAF-System, wurde das koronale Drittel der Wurzelkanäle mit Gates-Bohrern der Größe 2 und 3 (VDW, München, Deutschland) vor der Präparation dargestellt, um vergleichbare Ausgangssituationen zu schaffen. Gruppe 1 wurde mit dem SAF-System (Abbildung 5) bearbeitet, Gruppe 2 mit dem BioRaCe-System (Abbildung 7).



*Abbildung 5: Aufgebautes SAF-System mit Spüleinheit, Antriebseinheit, Winkelstück und Winkelstückkopf mit eingesetzter Self-Adjusting File*

#### 4.6. Das SAF-System

Das SAF-System besitzt einen speziell für diese Instrumente entwickelten Winkelstückkopf (RDT3, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel), welcher oszillierende Hubbewegungen von 0,4 mm hervorruft. Dieser Winkelstückkopf wird in Verbindung mit einem 1:1 übersetzten Winkelstück (GENTLEpower LUX 20 LP, KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland) verwendet, bei dem der Kopf austauschbar ist. Das Winkelstück wird in Kombination mit der Antriebseinheit Anyxing 303B (Micro-NX Ltd., Samcheong-ri Waegwan-eup, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea) verwendet. Hier lässt sich eine Rotationsgeschwindigkeit von  $5.000 \text{ Umin}^{-1}$  exakt einstellen. Zur kontinuierlichen Spülung wurde ein dem System angepasstes Spülsystem (VATEA, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) verwendet, welches mit einem Silikonschlauch an die Feile angeschlossen wird. Es können alle Flüssigkeiten, die üblicherweise zur Spülung von Wurzelkanälen eingesetzt werden, mit der VATEA gefördert werden. Durch einen Tritt auf das Fußpedal startet und endet der Pumpvorgang. Nach jeweils einer Minute ertönt ein akustisches Signal.



*Abbildung 6: Self-Adjusting File*

Das System besteht aus nur einer einzigen Feile (Abbildung 6) pro Kanal. Abhängig von dem Kanaldurchmesser gibt es zwei unterschiedliche Größen der zu verwendenden Feile. Der Feilendurchmesser wird in unkomprimiertem Zustand angegeben. Es stehen Feilen der Breite 1,5 und 2 mm zur Auswahl.

Abhängig von der Länge des zu präparierenden Wurzelkanals ist zwischen Feilen der Länge 21, 25 und 31 mm zu wählen. Innerhalb dieser Studie wurden nur Feilen der Breite 1,5 mm und der Länge 25 mm verwendet.

#### 4.7. Das BioRaCe-System

Der Antrieb der Feilen erfolgt mittels des EndoIT Professional-Motors (VDW, München, Deutschland). Das verwendete Handstück (WD-77M, W&H Dentalwerk Bürmoos, Bürmoos, Österreich) ist der Antriebseinheit angepasst und 4:1 untersetzt. Der Gebrauch des Motors sichert eine konstante Drehzahl und ein individuell für jedes Instrument berechnetes optimales Drehmoment.

Das erste Instrument stellt eine „Introfile“ dar, welche nach dem Sondieren mit einem Reamer der ISO-Größe 15 den koronalen Anteil des Kanals erweitert.

Alle BioRaCe-Instrumente werden mit einem Drehmoment von 1 Ncm und einer Umdrehungsgeschwindigkeit von  $500 \text{ Umin}^{-1}$  verwendet.

In dieser Studie wurde ausschließlich die Basissequenz (Abbildung 7) verwendet.



*Abbildung 7: Die Instrumente des BioRaCe-Systems*

Beide Systeme wurden bezüglich der Feilensequenz, des Drehmoments und der Drehzahlen entsprechend den Herstellerangaben eingesetzt. Den bisherigen Vergleichsstudien von Hülsmann et al. 2001, Hülsmann et al. (2003a+b), Nordmeyer et al. (2011), Paqué et al. (2005), Rhodes et al. (2011), Rödiger et al. (2007) und Versümer et al. (2002) folgend, wurden die mesiobukkalen und mesiolingualen Wurzelkanäle in getrennten Versuchsreihen bearbeitet.

##### 1. Versuchsreihe

Präparation der mesiobukkalen Wurzelkanäle und Erhebung der folgenden Parameter:

- Änderung der Wurzelkanalkrümmung
- Protokollierung von Zwischenfällen wie Instrumentenfrakturen, Perforation der Wurzel, apikale Blockade des Wurzelkanals und damit verbundene Arbeitslängenverluste
- Untersuchung der Wurzelkanalwände auf Sauberkeit nach der Präparation mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie

## 2. Versuchsreihe

Präparation der mesiolingualen Wurzelkanäle und Erhebung der folgenden Parameter:

- Protokollierung der Zwischenfälle wie Instrumentenfrakturen, Perforation der Wurzel, apikale Blockade des Wurzelkanals und damit verbundene Arbeitslängenverluste
- Untersuchung der qualitativen Veränderung des Kanalquerschnitts
- Untersuchung der quantitativen Veränderung des Kanalquerschnitts

## 4.8. Präparation der Kanäle

### 4.8.1. Präparation des mesiobukkalen Kanals

Nach der Darstellung der Kanäleingänge mit Gates Bohrern der Größen 2 und 3 (VDW, München, Deutschland), die eine gute Übersicht schaffen und ein senkrechtes Eindringen in den Wurzelkanal gewährleisten sollte, wurde der mesiobukkale Wurzelkanal entsprechend des Protokolls aufbereitet.

Der Präparation folgte das erneute Röntgen der Proben. Dazu wurde ein Reamer der ISO-Größe 25 (VDW) in den mesiobukkalen Kanal eingebracht.



### 4.8.2. Vorbereitung zur Präparation der mesiolingualen Kanäle

#### 4.8.2.1. Anfertigung der Querschnittspräparate

Nachdem das Röntgen des mesiobukkalen Kanals abgeschlossen war, wurden die Proben mittels eines Präzisionstrennsystems (Exakt-Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) mit jeweils drei Schnitten im Abstand von 3 mm in vier Teile geschnitten. Die Schnitte wurden mit einem 0,3 mm dünnen diamantierten Sägeband durchgeführt.

Die Ausrichtung der Probe in der Halterung der Säge erfolgte anhand der Führungsrillen im Probenblock, so dass drei gleichstarke Segmente in einer Stärke von ca. 3 mm resultierten.

#### 4.8.2.2. Anfertigung der Fotografien der präoperativen Wurzelkanalquerschnitte

Die vorhandenen Segmente des Probenkörpers wurden mittels eines digitalen Auflichtmikroskops (Leica EZ4 D, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland) bei 20x Vergrößerung in Aufsicht von koronal fotografiert. Dabei erfolgte die Beleuchtung ausschließlich in Form von Auflicht der Stärke vier.

#### 4.8.3. Präparation der mesiolingualen Kanäle

Vor der Präparation der mesiolingualen Kanäle erfolgte das Zusammensetzen der Segmente in der Muffel. Zu Beginn erfolgte die Darstellung der Kanaleingänge mit Gates Bohrern der Größe 2 und 3 (VDW). Die Präparation der mesiolingualen Wurzelkanäle wurde dem Protokoll folgend durchgeführt.

#### 4.8.4. Präparationstechnik mit dem SAF-System

Nach dem Einbringen der Feile arbeitete das System einmal vier Minuten unter kontinuierlicher Spülung mit 3%iger Natriumhypochloritlösung (Klinikumsapotheke Göttingen). Im Anschluss an die Präparation folgte eine Abschlusspülung mit 5 ml EDTA (Klinikumsapotheke Göttingen) über eine Dauer von durchschnittlich 172 Sekunden, um den *smear layer* zu entfernen.

### 4.8.5. Präparationstechnik mit dem BioRaCe-System

Die Verwendung der Instrumente erfolgte immer unter Anwesenheit von Spülflüssigkeit. Die Arbeitslänge sollte nach vier Zügen mit dem Instrument erreicht werden.

Nach jedem Instrument folgte die Spülung des Kanalsystems mit Hilfe eines Ultraschallspülsystems (Piezonmaster 600, EMS, Nyon, Schweiz). Hierbei wurde 1%ige Natriumhypochloritlösung verwendet. Um die gleiche Menge an Spülflüssigkeit nach den sechs Instrumenten zu erreichen, wie sie bei dem SAF-System innerhalb von vier Minuten verbraucht wird, erfolgte vor Anwendung die Abmessung und Einstellung der Ausflussmenge des Ultraschallgerätes. Bevor das erste Instrument BR0 zum Einsatz kommt, muss ein Reamer der ISO-Größe 15 den apikalen Abschnitt erreichen. Alle nun folgenden Instrumente BR0-BR5 werden mit einem Drehmoment von 1 Ncm und einer Umdrehungsgeschwindigkeit von  $500 \text{ Umin}^{-1}$  verwendet.

Das erste Instrument präpariert ausschließlich die koronalen 4-6 mm des Kanals und wird nur soweit eingeführt. Es folgt die Rekapitulation mit einem Reamer der ISO-Größe 15 bis auf Arbeitslänge. Das folgende Instrument BR1 sollte die Arbeitslänge erreichen, gelingt das nicht, wird es gereinigt und erneut verwendet.

Die Instrumente BR2, BR3, BR4 und BR5 werden wie das Instrument BR 1 verwendet. Die Präparation ist mit dem Einsatz des Instrumentes BR5 beendet.

### 4.8.6. Ablaufplanung zur Präparation von Wurzelkanälen mit dem BioRaCe-System und dem SAF-System

#### BioRaCe

- Präparation der Zugangskavität mit einem diamantierten Torpedo (881.314.012, Kometdental, Lemgo, Deutschland)
- Sondierung des mesiobukkalen und mesiolingualen Kanals mit Reamern der ISO-Größe 10
- Erweiterung der Kanaleingänge mit Gates-Glidden-Bohrern der Größen 2 und 3
- Manuelles Instrumentieren der Kanäle mit Reamern der ISO-Größen 08, 10 und 15 bis zum Erreichen der Arbeitslänge
- Präparation der Wurzelkanäle mit der BR0-Feile in vier Hüben

- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Rekapitulation der AL mit Reamer der ISO-Größe 15
- Präparation der Wurzelkanäle mit der BR1-Feile in vier Hüben; bei Nichterreichen der AL Säuberung der Feile und Wiederholung, bis Instrument die AL erreicht
- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Präparation der Kanäle mit der BR2-Feile in vier Hüben; bei Nichterreichen der AL Säuberung der Feile und Wiederholung, bis Instrument die AL erreicht
- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Präparation der Kanäle mit der BR3-Feile in vier Hüben; bei Nichterreichen der AL Säuberung der Feile und Wiederholung, bis Instrument die AL erreicht
- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Präparation der Kanäle mit der BR4-Feile in vier Hüben; bei Nichterreichen der AL Säuberung der Feile und Wiederholung, bis Instrument die AL erreicht
- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Präparation der Kanäle mit der BR5-Feile in vier Hüben; bei Nichterreichen der AL Säuberung der Feile und Wiederholung, bis Instrument die AL erreicht
- Spülung mit 3,3 ml NaOCl 1%ig
- Abschließende Spülung mit 5 ml EDTA

### SAF

- Präparation der Zugangskavität mit einem diamantierten Torpedo (881.314.012, Kometdental)
- Sondierung des mesiobukkalen und mesiolingualen Wurzelkanals mit Reamern der ISO-Größe 10
- Erweiterung der Kanäleingänge mit Gates-Glidden-Bohrern der Größen 2 und 3
- Präparation der Kanäle nach apikal mit Handinstrumenten bis ISO-Größe 20
- Präparation der Kanäle mit der SAF Feile (25 mm Länge/ 1,5 mm Durchmesser) unter kontinuierlicher Spülung von 3%iger NaOCl- Lösung (5 ml/Minute) über vier Minuten
- Abschließende Spülung mit 5 ml EDTA

### 4.8.7. Herstellung der Probenkörper

Zur Auswertung unter dem Rasterelektronenmikroskop wurden ausschließlich die mesiobukkalen Kanäle verwendet, da nur hier eine kontinuierliche Spülung mit Natriumhypochlorit gegeben war. Die mesiolingualen Kanäle wurden nicht herangezogen, da ein gleichmäßiges Spülen aufgrund der Horizontalschnitte nicht möglich war, was die Qualität der Spülwirkung und die damit verbundene Reinigung beeinflussen kann (Hülsmann et al. 1999). Zur Untersuchung sollten jeweils ein apikaler, medialer und koronaler Anteil des Kanals herangezogen werden. Dazu wurde mit Hilfe einer Trennscheibe der Zahn aus dem Kunststoff herausgetrennt.

Mit einer Trennscheibe wurden zwei gegenüberliegende longitudinale Führungsrillen angelegt, die als Ansatz zum Spalten mit Hilfe eines Heidemannspatels dienten. Nach der Spaltung wurde jeweils ein Segment des apikalen, medialen und koronalen Anteils auf eine Aluminiumniete (Fa. Gesipa, Waldorf, Deutschland) geklebt. Dazu wurde die Niete am Kopf mit Komposit umhüllt und die Probe mit der Außenseite des Segments in den Kunststoff gedrückt. Die präparierte Seite konnte nun in Aufsicht unter dem REM untersucht werden.

## 4.9. Auswertung

### 4.9.1. Veränderung des Krümmungswinkels

Zur Beurteilung wurden die Röntgenbilder herangezogen, welche vor und nach der Bearbeitung der Wurzelkanäle in identischer Projektion hergestellt wurden. Durch die standardisierte Röntgentechnik war es möglich, die Bilder anschließend mit Hilfe eines Computerprogramms (ImageJ, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) übereinander zu lagern und so die Änderungen des Krümmungswinkels zu bestimmen.

### 4.9.2. Veränderung des Kanalquerschnitts

Zur Auswertung wurden die drei Kanalquerschnitte des mesiolingualen Kanals in koronal-apikaler Richtung mit dem digitalen Mikroskop (Leica EZ4 D, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland) fotografiert.

Es erfolgten Aufnahmen vor und nach der Präparation der Kanäle, in denen jeweils mit Hilfe spezieller Software (ImageJ, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) die Kanalquerschnitte eingezeichnet wurden. Die Bilder konnten anschließend mit Hilfe der gleichen Software verglichen werden. Dies geschah durch die Überlagerung der Bilder vor und nach der Präparation. Die umliegenden Strukturen des Kanals erlaubten eine genaue Überlagerung der Bilder, so dass auf Markierungsrillen verzichtet werden konnte.

Die Auswertung erfolgte anhand folgender Parameter (Loushine et al. 1989):

Querschnittsform:

- annähernd rund (akzeptable Querschnittsform)
- annähernd oval (akzeptable Querschnittsform)
- unregelmäßig (nicht akzeptable Querschnittsform)

Divergenz alter/neuer Kanal:

- 0% Wandkontakt (ursprünglicher Kanal vollständig im neuem Kanal enthalten)
- 0-25% Wandkontakt zwischen altem und neuem Kanal
- >25% Wandkontakt zwischen altem und neuem Kanal
- >50% Wandkontakt zwischen altem und neuem Kanal
- >75% Wandkontakt zwischen altem und neuem Kanal

### 4.9.3. Rasterelektronenmikroskopische Auswertung

Entsprechend der Nomenklatur der American Association of Endodontists (1999) werden die Untersuchungsparameter Debris und *smear layer* folgendermaßen definiert:

**Debris:** Der Kanalwand locker aufliegende Dentinpartikel und Reste pulpalen Gewebes.

***smear layer:*** Ein oberflächlicher Film, der dem Dentin oder anderen Oberflächen nach der Bearbeitung mit rotierenden Wurzelkanalinstrumenten aufliegt; bestehend aus Dentinpartikeln, Überresten von vitalem oder nekrotischem Pulpagewebe, Bakterienzellresten und Rückständen verbliebener Spülflüssigkeit.

#### 4.9.3.1. Debris

Die Bestimmung der Debris-Auflagerungen und des verbliebenen *smear layer* erfolgte mit Hilfe in früheren Studien bereits verwendeter Referenzfotografien (Hülsmann et al.1997) nach folgenden Einteilungen.

- Score 1: Saubere, glatte Kanalwand oder nur vereinzelte kleine Auflagerungen (Abbildung 8)
- Score 2: Wenige kleine Debrisinseln (Abbildung 9)
- Score 3: Zahlreiche Debrisinseln, weniger als 50% der Kanalwand von Debris bedeckt (Abbildung 10)
- Score 4: Mehr als 50% der Kanalwand von Debris bedeckt (Abbildung 11)
- Score 5: Gesamte oder fast gesamte Kanalwand von Debrissschicht bedeckt (Abbildung 12)

Die Bewertung der Debrisauflagerungen erfolgte bei 200-facher Vergrößerung in fünf Stufen:

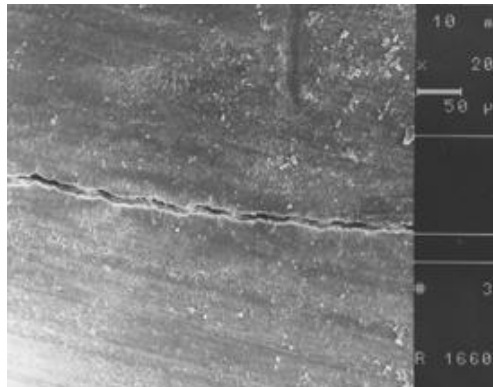


Abbildung 8: Debris Score 1

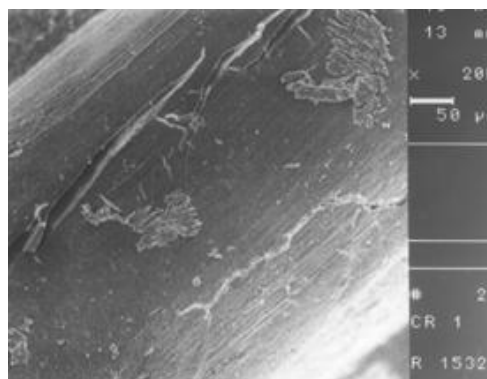
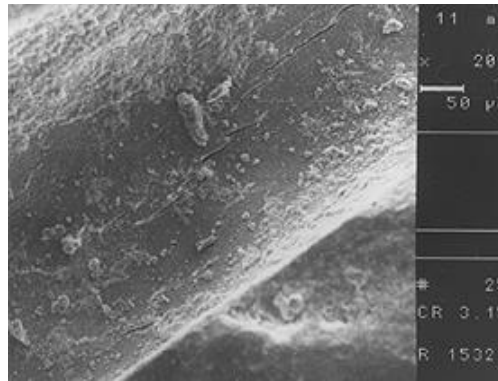
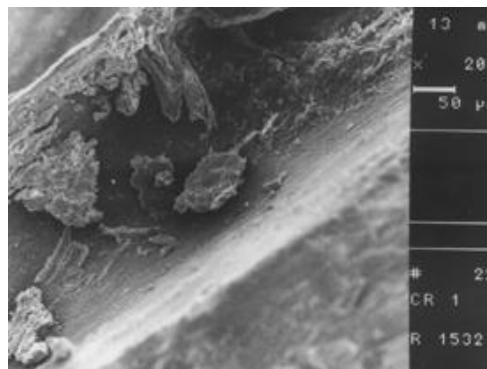


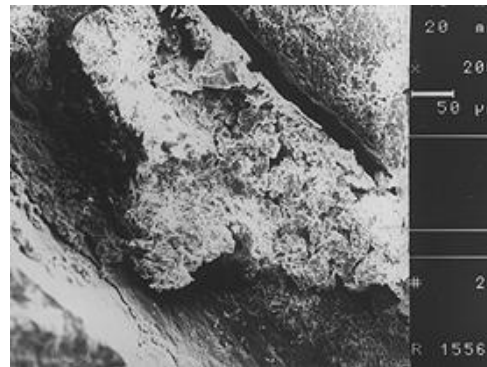
Abbildung 9: Debris Score 2



*Abbildung 10: Debris Score 3*



*Abbildung 11: Debris Score 4*



*Abbildung 12: Debris Score 5*

#### 4.9.3.2. *Smear layer*

Die Bewertung des *smear layer* erfolgte bei 1000facher Vergrößerung in fünf Stufen:

- Score 1: Kein oder fast kein *smear layer* an der gesamten Wand, Dentintubuli überwiegend offen (Abbildung 13)
- Score 2: Dünner, homogener, aber gleichmäßiger *smear layer* an der gesamten Wand, nur vereinzelt offene Dentintubuli (Abbildung 14)
- Score 3: Gesamte Kanalwand von einem inhomogenen *smear layer* bedeckt (Abbildung 15)
- Score 4: Inhomogener *smear layer* mit großen Debrisinseln an der gesamten Kanalwand (Abbildung 16)
- Score 5: Kanalwand nicht bearbeitet, dichter, inhomogener *smear layer* (Abbildung 17)

Die Bewertung des *smear layer* erfolgte bei 1000facher Vergrößerung.

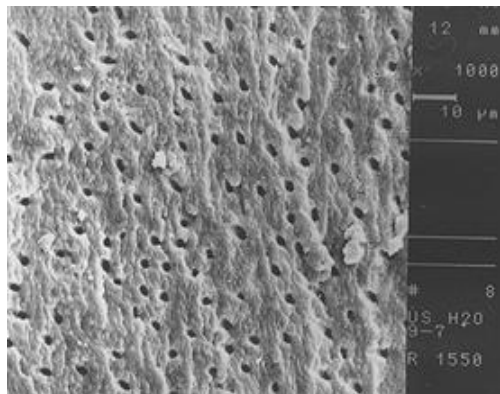


Abbildung 13: *smear layer* Score 1

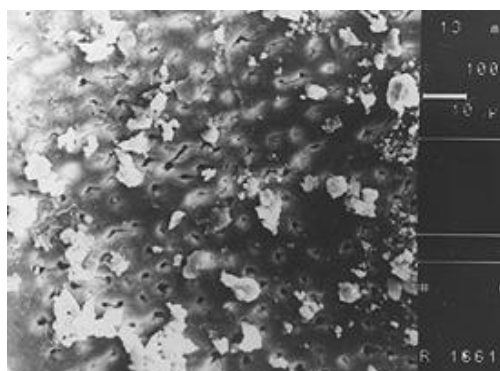


Abbildung 14: *smear layer* Score 2



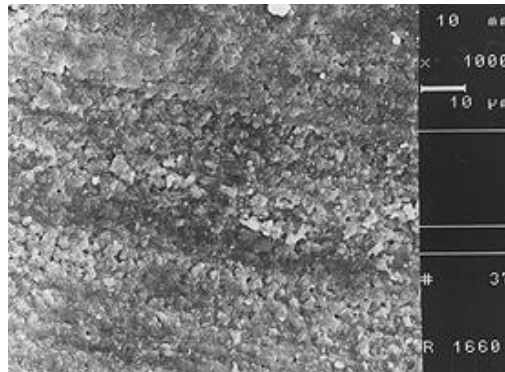


Abbildung 15: smear layer Score 3

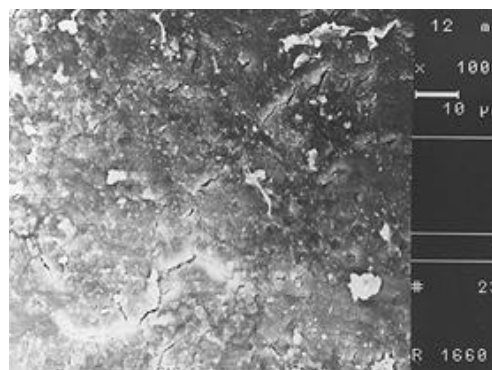


Abbildung 16: smear layer Score 4

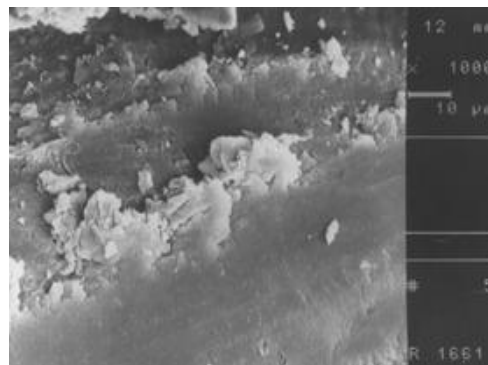


Abbildung 17: smear layer Score 5

#### 4.9.4. Arbeitssicherheit

Die Dokumentation erfolgte hierbei auf einem Arbeitsbogen. Dabei wurden Überinstrumentierung, apikale Verblockung, apikale Perforation und Instrumentenfrakturen berücksichtigt.

## 5. Ergebnisse

Nach Sichtung der Probenquerschnitte wurde festgestellt, dass bei insgesamt vier Proben die zwei mesialen Kanäle nicht getrennt verlaufen, sondern lang oval angelegt sind. Da mit der angewandten Methodik eine Bewertung dieser Proben nicht möglich ist, wurden die vier Proben aussortiert, so dass im Weiteren von 46 Proben bzw. von 138 Querschnittsproben ausgegangen wird.

### 5.1. Observerreliabilität

Die Intraraterreliabilität war bei beiden Observern sehr hoch. Die schlechteste Übereinstimmung konnte bei Observer 1 im Fall der Debris-Bewertung festgestellt werden. Hier ergab sich nur eine Übereinstimmung von 0,74 nach Cohens Kappa, was nach Landis & Koch (1977) immer noch mit sehr gut zu bewerten ist. Für die *smear layer*-Bewertung konnten Werte von bis zu 0,92 nach Cohens Kappa erreicht werden (Tabelle 1). Der Unterschied in der Bewertung der Proben betrug nie mehr als einen Score.

	<i>smear layer</i>	Debris
Observer 1	0.85	0.74
Observer 2	0.92	0.76

Tabelle 1: Intraindividuelle Reliabilität  
(Cohen's kappa)

Die Interraterreliabilität nach Cohen's Kappa lag für die Bewertung des *smear layer* zwischen 0,78 und 0,81, was einer substanziellen bis fast perfekten Übereinstimmung entspricht (Landis & Koch 1977).

Die Übereinstimmung bei der Debrisbewertung fiel im Vergleich zu der *smear layer*-Bewertung schlechter aus (Tabelle 2). Die Kappa- Werte lagen hier zwischen 0.4 und 0.64, was einer ausreichenden bis moderaten Übereinstimmung entspricht (Landis & Koch 1977). Die Unterschiede in der Bewertung für Debris waren signifikant, so dass die Ergebnisse der Observer an dieser Stelle getrennt betrachtet werden.

## Ergebnisse

---

<b>Interindividuelle Übereinstimmung Debris</b>	Observer 1 Erste Bewertung	Observer 1 Zweite Bewertung
Observer 2 Erste Bewertung	0.48	0.64
Observer 2 Zweite Bewertung	0.4	0.5
<b>Interindividuelle Übereinstimmung smear layer</b>	Observer 1 Erste Bewertung	Observer 1 Zweite Bewertung
Observer 2 Erste Bewertung	0.8	0.81
Observer 2 Zweite Bewertung	0.78	0.81

*Tabelle 2 : Interindividuelle Reliabilität (Cohen's kappa)*

Die folgenden Grafiken veranschaulichen sehr deutlich anhand des Durchschnittsscores bei einem Konfidenzintervall von 95%, dass Observer 1 immer schlechter bewertete als Observer 2. Dies gilt sowohl für die Bewertung des Debris (Abbildung 18) als auch für die Bewertung des *smear layer* (Abbildung 19).

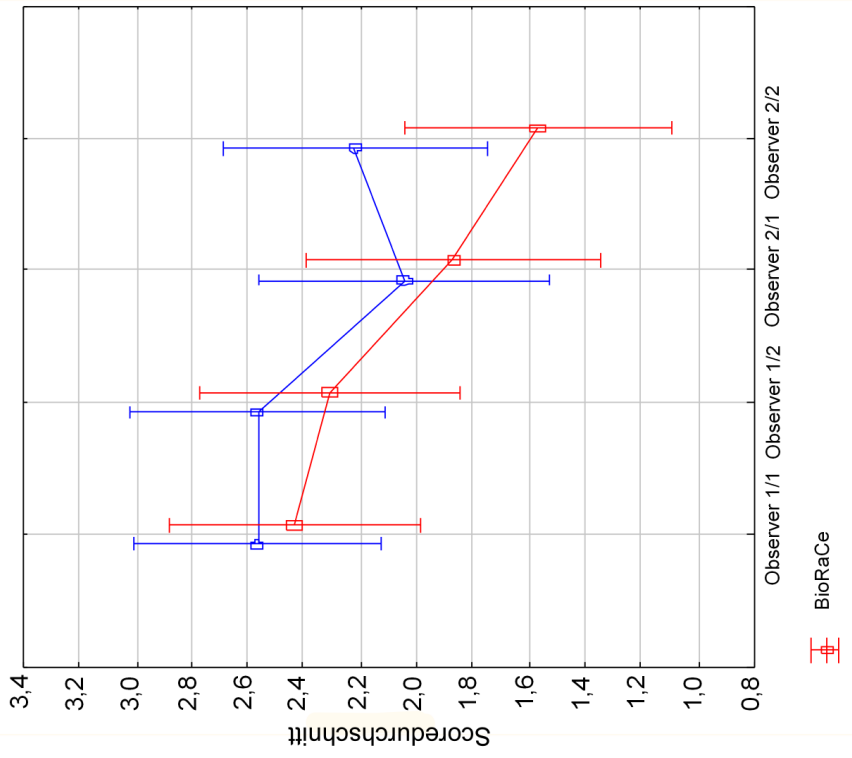


Abbildung 19: Durchschnittliche Verteilung der Scores für smear layer durch die zwei Observer für beide Bewertungsdurchgänge bei einem Konfidenzintervall von 95%

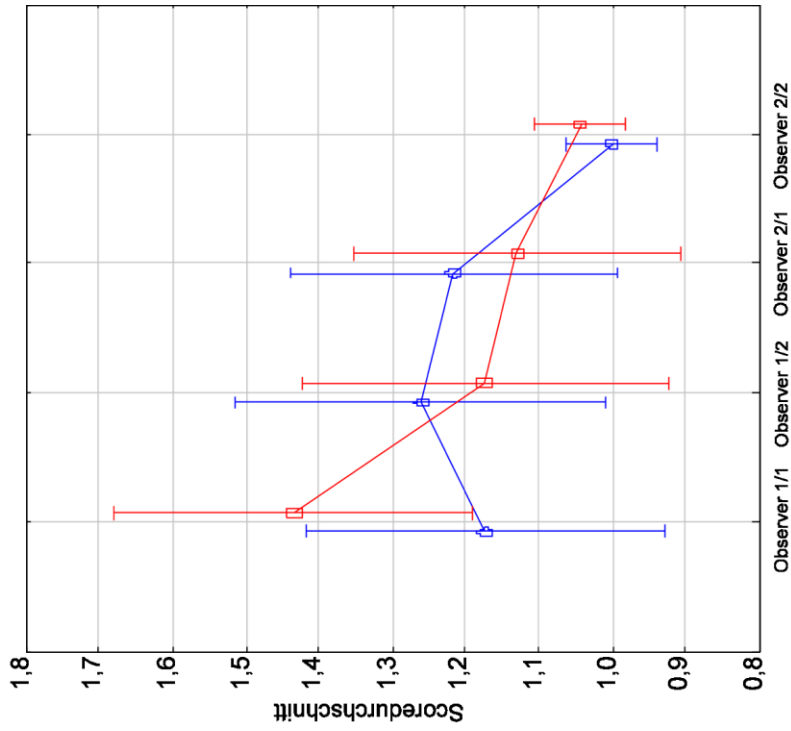


Abbildung 18: Durchschnittliche Verteilung der Scores für verbliebenen Debris durch die zwei Observer für beide Bewertungsdurchgänge bei einem Konfidenzintervall von 95%

## 5.2. Entfernung von *smear layer* und Debris

Für beide Systeme ergaben sich gute Ergebnisse für die Entfernung von *smear layer* und Debris. Zwischen den Gruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ , Mann Whitney U-Test). Lediglich im koronalen Bereich konnte bei beiden Systemen eine signifikant bessere Reinigungswirkung nachgewiesen werden als im medialen und apikalen Anteil ( $p < 0,05$ ). Sowohl bei Debris (Abbildung 20) als auch bei *smear layer* (Abbildung 21) wird deutlich, dass der größte Anteil der Bewertungen im Bereich des akzeptablen Ergebnisses liegt (Loushine et al. 1989), das heißt im Bereich von Score 1 und 2.

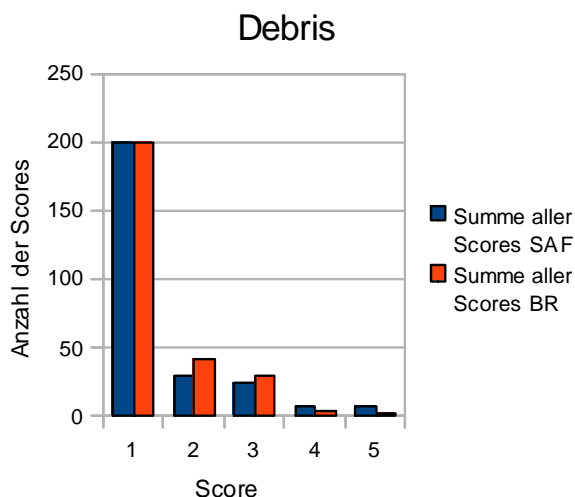


Abbildung 20: Darstellung der in beiden Bewertungsdurchgängen vergebenen Scores für Debris durch beide Observer

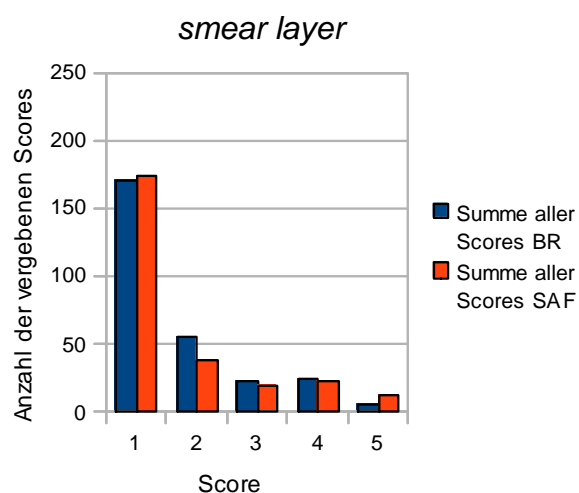


Abbildung 21: Darstellung der in beiden Bewertungsdurchgängen vergebenen Scores für *smear layer* durch beide Observer

Aufgrund signifikanter Unterschiede in der Bewertung des Debris ( $p < 0,05$ , T-test) zu allen Bewertungszeitpunkten zwischen den Observern werden die Ergebnisse zusätzlich getrennt nach Observer und Lokalisation (koronales, mediales und apikales Wurzelkanaldrittel) dargestellt (Abbildung 22-25). Dies gilt auch für den ersten Bewertungsdurchgang für verbliebenen *smear layer* durch die beiden Observer (Abbildung 26-29).

## Ergebnisse

Auch der erste Bewertungsdurchgang von Observer 1 und der zweite Bewertungsdurchgang von Observer 2 wiesen signifikante Unterschiede auf und werden daher getrennt dargestellt ( $p < 0,05$ , T-test).

### Debris

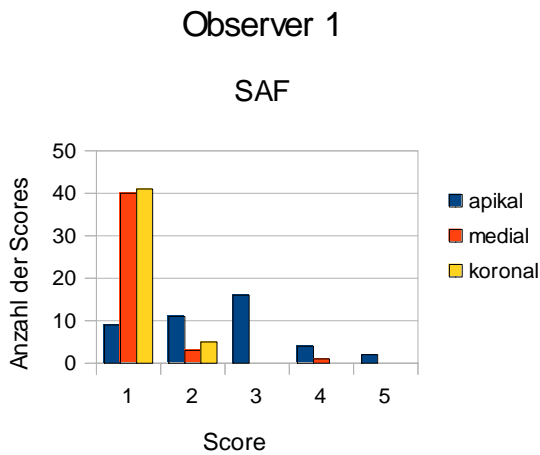


Abbildung 22: Verteilung der Scores für Debris in der SAF Gruppe von Observer 1

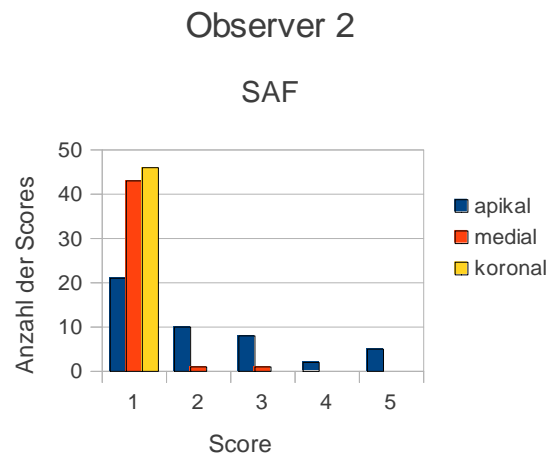


Abbildung 23: Verteilung der Scores für Debris in der SAF Gruppe von Observer 2

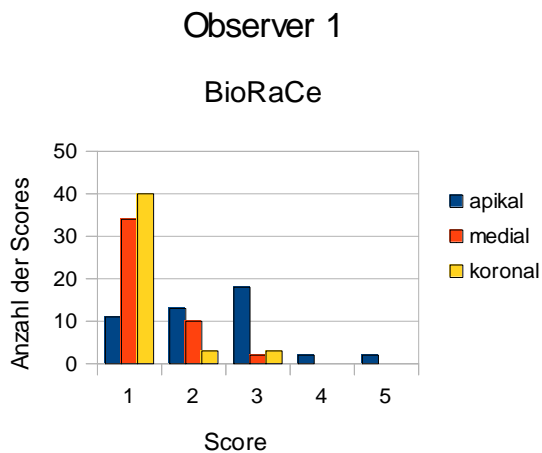


Abbildung 24: Verteilung der Scores für Debris in der BioRaCe Gruppe von Observer 1

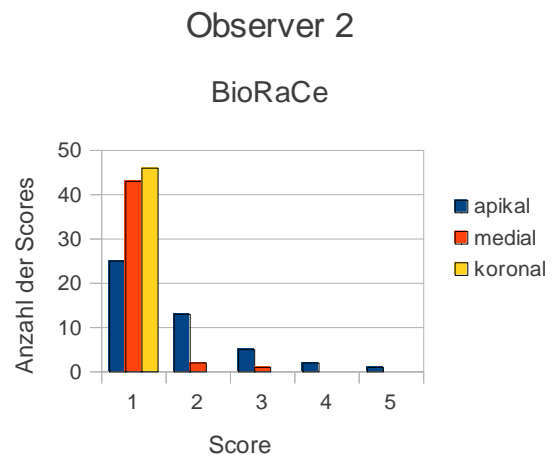


Abbildung 25: Verteilung der Scores für Debris in der BioRaCe Gruppe von Observer 2

Die obigen Abbildungen (Abbildung 22-25) machen erneut deutlich, dass Observer 2 bei der Bewertung des Debris bei beiden Systemen wesentlich häufiger Score 1 vergab als Observer 1, Observer 1 hingegen auch oft Score 2.

**Smear layer**

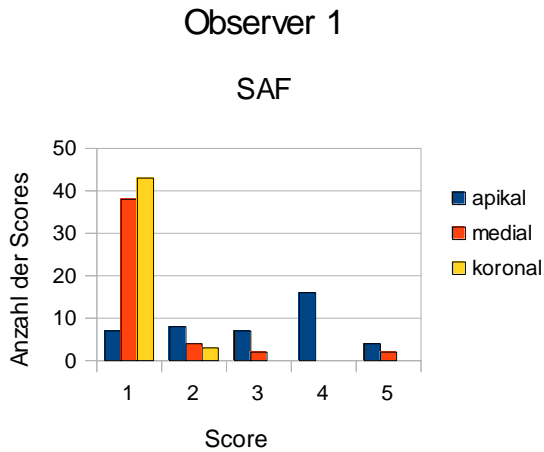


Abbildung 26: Verteilung der Scores für smear layer in der SAF Gruppe von Observer 1

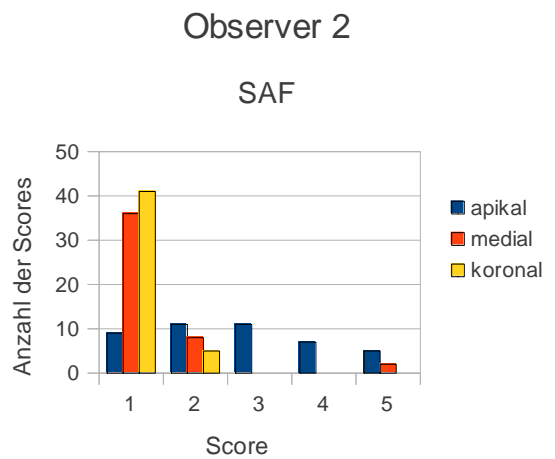


Abbildung 27: Verteilung der Scores für smear layer in der SAF Gruppe von Observer 2

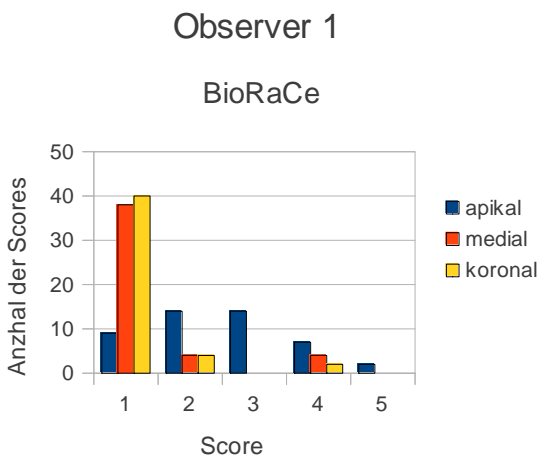


Abbildung 28: Verteilung der Scores für smear layer in der BioRaCe Gruppe von Observer 1

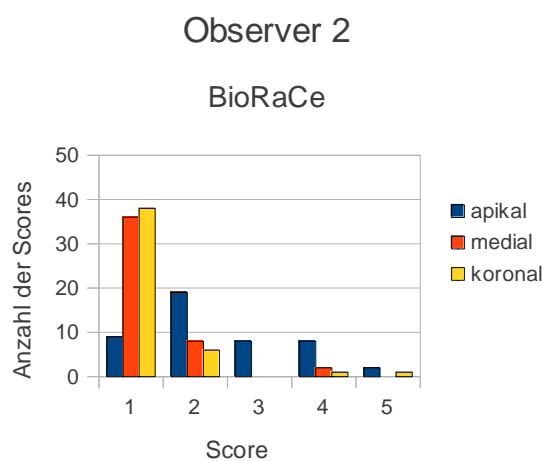


Abbildung 29: Verteilung der Scores für smear layer in der BioRaCe Gruppe von Observer 2

Vergleicht man die Grafiken der beiden Observer für jedes System (Abbildung 26-29), so zeigt sich hier ein homogeneres Bild in der Verteilung der Scores als bei der Debris-Bewertung.

### 5.3. Präparation

#### Wurzelkanalkrümmung

Vor der Präparation wurde überprüft, ob Verteilung von Kanalkrümmung und -radius in beiden Gruppen vergleichbar ist (Tabelle 3) und ob die Gruppen homogen gemischt sind. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf den mittleren Krümmungswinkel ( $26^\circ$ ) und -radius (14,37 mm) festgestellt werden ( $p > 0,05$ , Students t-Test). Beide Versuchsgruppen zeigten keine signifikante Begradigung der Kanäle ( $p > 0,05$ ; Students t-Test). Der Krümmungswinkel änderte sich im Mittel um  $2,65^\circ$ , der Wurzelkanalradius um 0,03 mm beim SAF-System (Tabelle 4). Bei dem BioRaCe-System zeigte sich eine Änderung des Krümmungswinkels von  $2,66^\circ$  und eine Radiusänderung von 0,4 mm ( $p > 0,05$ ; Students t-Test, Tabelle 5).

Versuchsreihe		Mittelwert der Krümmungswinkel (Schneider 1971)	Mittelwert der Radien (Zhang und Hu 2010)
SAF	bukkal	27,23513043	13,94910503
	lingual	26,035	14,44082234
BioRaCe	bukkal	26,84404348	14,29
	lingual	26,47	14,31

*Tabelle 3: Darstellung der Mittelwerte von Krümmungswinkel und -radius für beide Aufbereitungssysteme*



## Ergebnisse

ID	Kanalkrümmung nach Aufbereitung	Differenz Kanalkrümmung	Kanalkrümmung bukkal
3	7,055	13,403	20,458
8	27,7	9,448	37,148
11	31,263	1,07	32,333
14	24,569	0,701	25,27
27	19,283	1,214	20,497
29	21,569	0,425	21,994
59	14,515	5,92	20,435
61	24,16	1,982	26,142
35	20,549	2,387	22,936
39	25,205	1,157	26,362
42	33,532	3,016	36,548
46	19,663	3,888	23,551
55	31,79	0,563	32,353
56	24,91	1,613	26,523
67	20,228	1,443	21,671
68	29,326	1,884	31,21
70	24,649	1,314	25,963
73	25,695	2,207	27,902
77	37,354	1,314	38,668
84	19,61	2,412	22,022
85	27,939	0,747	28,686
88	35,273	2,022	37,295
92	19,667	0,774	20,441
N	23	23	23
Minimum		0,43	
Maximum		13,4	
Median		1,613	
Mittelwert	24,58713043	2,648	27,23513043

**Tabelle 4: Veränderung der Kanalkrümmung der mesiobukkalen Kanäle durch das SAF-System**

ID	Kanalkrümmung nach Aufbereitung	Differenz Kanalkrümmung	Kanalkrümmung bukkal
2	24,794	0,756	25,55
10	20,854	2,184	23,038
15	38,586	0,558	39,144
16	20,563	4,477	25,04
19	25,57	1,578	27,148
20	22,775	5,51	28,285
24	29,983	0,881	30,864
47	24,107	5,01	29,117
50	24,736	4,486	29,222
54	20,002	0,244	20,246
57	32,258	1,822	34,08
30	35,114	1,899	37,013
31	36,001	2,169	38,17
62	20,508	1,912	22,42
64	19,263	2,743	22,006
72	25,163	4,699	29,862
74	24,789	2,605	27,394
79	15,475	5,037	20,512
81	18,305	3,269	21,574
82	19,863	2,691	22,554
83	19,228	0,966	20,194
86	22,564	1,407	23,971
90	15,752	4,257	20,009
N	23	23	23
Minimum		0,24	
Maximum		5,51	
Median		2,184	
Mittelwert	24,18491304	2,659130435	26,84404348

**Tabelle 5: Veränderung der Kanalkrümmung der mesiobukkalen Kanäle durch das BioRaCe-System**

#### 5.4.Querschnitte

Die Bewertung der Querschnitte erfolgte nach qualitativen und quantitativen Gesichtspunkten. Die qualitative Beurteilung erfasste die Form, welche nach der Aufbereitung resultierte. Hier wurden runde und ovale Querschnitte als akzeptabel und irreguläre Querschnitte als inakzeptabel bewertet.

Qualitativ konnten in den apikalen, medialen und koronalen Bereichen keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ , Fishers exact-Test und Chi-Quadrat-Test) zwischen dem SAF-System und BioRaCe-System gefunden werden.

	SAF				BioRaCe			
	koronal	medial	apikal	total	koronal	medial	apikal	total
Rund	13	7	5	25	16	14	12	42
Oval	6	11	10	27	4	7	5	16
Irregulär	4	5	8	17	3	2	6	11
akzeptabel	19	18	15	52	20	21	17	58

*Tabelle 6: Postoperative Querschnitte nach Präparation mit dem SAF-System (links) und mit dem BioRaCe-Systems (rechts)*

Die quantitative Beurteilung erfasste den Kontakt zwischen präoperativer und postoperativer Kanaloberfläche. Je geringer die Kontaktfläche zwischen aufbereitetem Kanalquerschnitt und präoperativem Querschnitt, desto vollständiger wurde das Kanalvolumen in dem entsprechenden Segment erweitert.

	SAF				BioRaCe			
	koronal	medial	apikal	total	koronal	medial	apikal	total
0%	10	7	3	20	1	6	4	11
0-25%	12	10	17	39	7	13	17	37
>25%	0	4	3	7	9	4	0	13
>50%	1	2	0	3	4	0	2	6
>75%	0	0	0	0	2	0	0	2

Tabelle 7: Kontakt zwischen prä- und postoperativem Kanalriss

Quantitativ gab es einen signifikanten Unterschied im koronalen Abschnitt der experimentellen Gruppen ( $p = 0,00001$ , Fischers Test, zusätzlich Mann-Whitney U Test:  $p = 0,000015$ ) wobei 0% und 0%-25% Wandkontakt als annehmbare Werte festgelegt wurden (Tabelle 7). Das SAF-System schnitt bei der Präparation der koronalen Abschnitte signifikant besser ab als das BioRaCe-System. Den medialen und apikalen Kanalanteil präparierten beide Systeme ohne signifikante Unterschiede zueinander ( $p > 0,05$ , Fischer Test).

In beiden Gruppen fanden sich überwiegend Präparate, in denen nicht die gesamte Zirkumferenz des Wurzelkanals bearbeitet worden war (SAF 71%, BR 84%).

### 5.5. Zwischenfälle

Zwischenfälle im Sinne von Arbeitslängenverlust, Perforationen, Blockaden des Wurzelkanals, Stufenbildung, Instrumentenfrakturen oder Instrumentenbeschädigungen traten in beiden Versuchsgruppen nur sehr selten auf.

Zwischenfälle bei der Präparation mit den SAFs

- 1 Fraktur eines Verbindungselementes einer SAF
- 5 Verluste an Arbeitslänge von ca. 1 mm
- 1 Kombination von partieller Instrumentenfraktur und Verlust an Arbeitslänge

Zwischenfälle bei der Präparation mit den BioRaCe-Feilen

- 1 Instrumentenfraktur
- 1 Verlust an Arbeitslänge

Die Häufigkeit von Zwischenfällen beider Systeme differierte nicht signifikant ( $p > 0,05$ , Students t-Test). Es zeigte sich, dass das Auftreten von Zwischenfällen nicht signifikant durch den Winkel oder Radius der Wurzelkanalkrümmung beeinflusst wird ( $p > 0,05$ , Students t-Test).

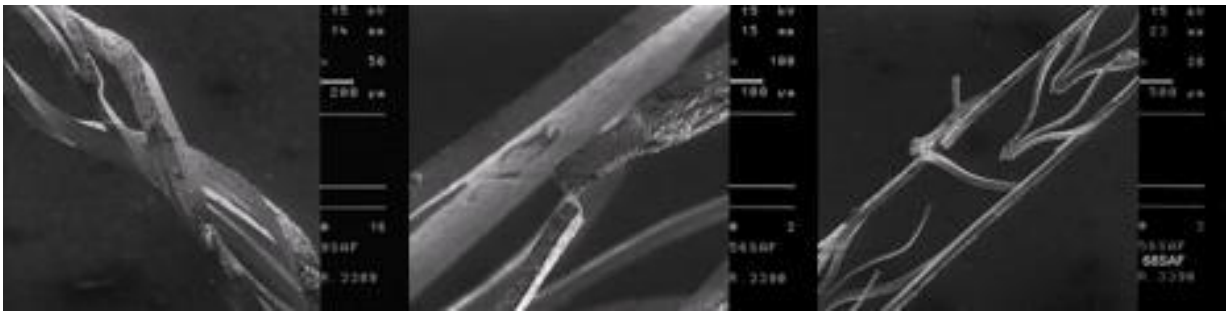


Abbildung 29: Verdrillung einer SAF (links), Fraktur eines Verbindungselements, (mittig und rechts)

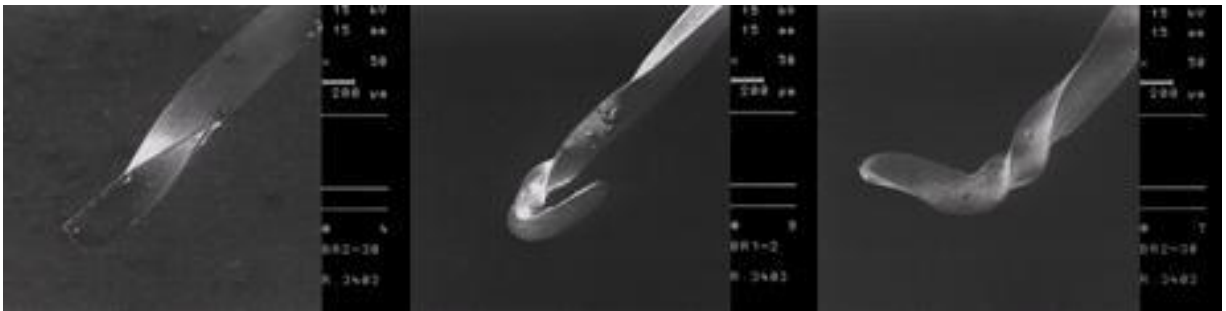


Abbildung 30: Fraktur einer BioRaCe-Feile (links), Verformung von BioRaCe-Feilen (mittig und rechts)

## **6. Diskussion**

### **6.1. Material und Methode**

#### 6.1.1. Studiendesign

Das in dieser Form verwendete Studiendesign geht auf Hülsmann (1998) zurück und gibt dem Untersucher die Möglichkeit, insgesamt sieben Parameter der Präparation des Wurzelkanalsystems und der damit verbundenen Faktoren zu ermitteln. Aufgrund der Standardisierung des Designs wurde es möglich, die Studienergebnisse unterschiedlicher Systeme zur Wurzelkanalpräparation miteinander zu vergleichen. Innerhalb der letzten Jahre wurden etliche Vergleichsstudien mit dieser Methodik durchgeführt, so dass die Datenlage für die Bewertung maschineller Wurzelkanalpräparationssysteme nach dieser Systematik mittlerweile umfangreich ist (Hülsmann et al. 2001, Hülsmann et al. 2003a+b, Nordmeyer et al. 2011, Paqué et al. 2005, Rhodes et al. 2011, Rödiger et al. 2007 und Versümer et al. 2002).

Anzumerken ist, dass die gesamte Bildgebung bei dem verwendeten Studiendesign eine rein zweidimensionale ist. Die Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden innerhalb der letzten Jahre machte es möglich, die dritte Dimension zu berücksichtigen. Die Art dieser Untersuchungen ist möglicherweise von Vorteil, da es bei der Darstellung dreidimensionaler Körper in einer zweidimensionalen Ebene zu optischen Verzerrungen kommen kann, welche eine mögliche Fehlerquelle darstellen können.

Einige Parameter der angewandten Methodik lassen sich auch mit dem Mikro-CT ermitteln, wie Peters et al. (2001) zeigten. Sie untersuchten die Zähne vor und nach Präparation und ermittelten den Dentinabtrag, Kanalbegradigungen, den Anteil nicht bearbeiteter Kanaloberfläche und die Kanalverlagerung aus den Mikro-CT Datensätzen mit Hilfe einer speziellen Software. Die Technik des Mikro-CT-Scans erlaubt sehr detaillierte räumliche Aufnahmen des Kanalsystems, weshalb es in immer mehr Studien zum Einsatz kommt. Die von Peters et al. (2001) untersuchten Parameter ließen sich problemlos erweitern.

So könnte nach dem letzten Scan der Zahn im Ganzen der Länge nach aufgespalten werden und die Reinigungswirkung der Feilen in Bezug auf *smear layer* und Debris mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops ermittelt werden.

### 6.1.2. Zahnauswahl

Die Zuordnung der Zähne in die zwei Gruppen erfolgte randomisiert. Das Ziel ähnlicher Durchschnittswerte bezüglich Radius und Krümmungswinkel innerhalb beider Gruppen wurde durch Austausch weniger Zähne erreicht.

Wie bereits in ähnlichen Arbeiten schon angesprochen, stellt die Wahl der Kanäle zur Überprüfung der Systeme ein viel diskutiertes Thema dar. Hier musste man sich zwischen Kunststoffkanälen und natürlichen Präparaten entscheiden. Kunststoffkanäle bieten dem Untersucher einen konstanten Krümmungswinkel und -radius, die optische Kontrolle der Präparation, konstante Materialhärte und Kanaldurchmesser in allen Proben (Campos & Del Rio 1990), so dass die Auswertung hier etwas leichter fällt, da man bei jeder Präparation gleiche Ausgangsbedingungen hat.

Ebeleseder et al. (1995) kritisierten die mangelnde Standardisierbarkeit der natürlichen Zähne. Aus der Verwendung der künstlichen Wurzelkanäle ergeben sich jedoch auch Nachteile. So können Dentin und Kunststoff in Abriebverhalten und Härte nicht verglichen werden, so dass die Bewertung der Reinigungswirkung des Präparationssystems und eine Analyse der Materialeigenschaften unsinnig wird, da die Systeme der Abriebfestigkeit und Härte des Dentins angepasst sind (Kazemi et al. 1996, Lim & Webber 1985, Miserendino et al. 1988). Bishop & Dummer (1997) warnen davor, die an künstlichen Kanälen erhobenen Studien auf klinische Verhältnisse zu übertragen.

In dieser Studie fanden ausschließlich die mesialen Kanäle von Unterkiefermolaren Verwendung, um eine hohe klinische Relevanz zu erreichen. Es wurden dabei ausschließlich Unterkiefermolaren verwendet, deren mesiale Wurzelkanäle einen Krümmungswinkel zwischen 20 und 40° aufwiesen. Die Wahl fiel auf Unterkiefermolaren, da Cunningham & Senia (1992) feststellten, dass die mesialen Wurzelkanäle dieser Zähne immer eine Krümmung aufweisen.

Weitere Kriterien, welche zum Ausschluss von primär verwendbaren Unterkiefermolaren führten, waren Wurzelkaries, ein nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, falsche Lagerung der Zähne, bereits endodontisch vorbehandelte Zähne und zwei nicht voneinander abzugrenzende mesiale Kanäle. Letzterer Punkt führte dazu, dass in beiden Gruppen nach Anfertigung der Querschnitte jeweils zwei Proben aussortiert werden mussten.

### 6.1.3. Muffelsystem

Die angewandte Methode resultiert aus dem Versuchsaufbau nach Bramante et al. (1987) und hat im Laufe der letzten Jahre etliche Modifikationen erfahren. Der von Bramante et al. (1987) beschriebene Versuchsaufbau diente ausschließlich zum Vergleich prä- und postoperativer Wurzelquerschnitte. Hinzugekommen sind mittlerweile die Röntgenvorrichtung zur Bestimmung der Wurzelkanalkrümmung und des Radius (Walker 1986 und Sydney et al. 1991). Durch Hülsmann (1998) konnte die Systematik um die Erfassung der Reinigungswirkung, der Formgebung und der Arbeitssicherheit erweitert werden.

Auch das Mikro-CT bietet die Möglichkeit, einige der von uns untersuchten Parameter zu untersuchen. Verschiedene Studien zur Bestimmung der Reinigungswirkung eines Präparationssystems verwendeten nach der Präparation der Kanäle auch nur die Längsspaltung, um das Kanallumen rasterelektronenmikroskopisch zu untersuchen.

### 6.1.4. Einbetten der Zähne und Gruppeneinteilung

Das Einbetten der Zähne in Kunststoff stellt ihm Rahmen der Bestimmung des Krümmungswinkels und des Krümmungsradius eine große Variable dar. Durch die Positionierung des Zahnes in der Muffel ist der Strahlengang vorbestimmt.

Da hier nur eine Aufnahme in bucco-oraler Richtung erfolgt, die Krümmung des Wurzelkanals aber nicht nur in mesio-distaler Richtung vorliegt, kann eine Rotation des Zahnes in der Muffel große Veränderungen des Krümmungswinkels und des Radius hervorrufen. Die dreidimensionale Darstellung mit Hilfe eines Mikro-CT so wie sie Peters et al. (2001) entwickelt haben, bietet hier möglicherweise Vorteile.

### 6.1.5. Krümmungsbestimmung

Sydney et al. (1991) beschrieben als Erste den Einsatz einer Röntgenvorrichtung in Zusammenhang mit einer Muffel, so dass auch die Wurzelkanalkrümmungen prä- und postoperativ ermittelt und verglichen werden konnten.

Hinsichtlich der Methodik haben sich in der letzten Zeit einige Änderungen ergeben. Im Speziellen sind hier die Nutzung des digitalen Röntgens und die Verwendung von Computerprogrammen zur Vermessung der Röntgenbilder zu nennen. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nach Vermessung digitaler und analoger Aufnahmen ist in Frage zu stellen. Die Bestimmung der Wurzelkanalkrümmung erfolgte anfangs nach der Methode von Schneider (1971). Ebeleseder (1995) kritisierte, dass nach Schneider nur der Krümmungswinkel berücksichtigt wird und damit keine Aussage über die Lage und Ausprägung der Krümmung gemacht werden kann.

Lim & Webber (1985) führten als Erste den apikalsten Punkt der Kanalpräparation als zusätzlichen Orientierungspunkt ein. Alodeh & Dummer (1989), Alodeh et al. (1989) und Dummer et al. (1989) führten weitere Punkte zur Bestimmung des Schwierigkeitsgrades der Kanalpräparation ein, wie den Krümmungsbeginn und den Krümmungsradius. Daraus folgend schlugen Zhang & Hu (2010) die Bestimmung des Radius auf Basis der Werte des Schneiderwinkels vor, wie sie in dieser Studie auch angewandt wurde. Trotz der definierten Punkte zur Ermittlung des Krümmungswinkels und des Krümmungsradius konnte festgestellt werden, dass die Anwendung der Vermessung, speziell das Setzen der Orientierungspunkte, eine gewisse Variabilität aufweist. Somit ist es wichtig, dass alle Vermessungen durch einen Untersucher durchgeführt werden. Aus statistischer Sicht sollte die spätere Auswertung durch mehrere Observer erfolgen, um Bias zu vermeiden.

Da in einigen Studien festgestellt wurde, dass nicht allein der Krümmungswinkel für den Schwierigkeitsgrad einer Wurzelkanalpräparation verantwortlich ist, sondern ebenso der Krümmungsradius (Roane et al. 1985), wurde dieser in folgenden Studien ebenfalls berücksichtigt. Zhang & Hu (2010) modifizierten die Vermessung nach Schneider (1971) so, dass aus den Messungen des Krümmungswinkels und dem Abstand zwischen Krümmungsbeginn und Apex der Krümmungsradius berechnet werden konnte.



Die verwendeten technischen Mittel zur Erzeugung und Vermessung der Röntgenbilder erlauben ein sehr präzises Arbeiten. So liefert die Software zur Bestimmung der Kanalkrümmung Winkelangaben mit drei Nachkommastellen, was im Vergleich zur analogen Vermessung mit Hilfe eines Geodreiecks sehr genaue Ergebnisse liefert. Zu fragen ist jedoch, ob die Variabilität in Bezug auf die Positionierung der Orientierungspunkte diesen Vorteil nivelliert.

### 6.1.6. Auswertung der Wurzelkanalquerschnitte

Nachdem der mesiobukkale Kanal präpariert und die postoperative Krümmung des Wurzelkanals radiologisch dokumentiert wurde, erfolgte das horizontale Schneiden der Präparate. Die Bewertung der Querschnitte fand statt, indem prä- und postoperative Bilder übereinander gelagert wurden. Die Aufnahme der Bilder geschah bei 20-facher Vergrößerung mit Hilfe eines Lichtmikroskops und einer angeschlossenen Kamera. Zur Auswertung wurden die Aufnahmen digital übereinander gelagert, statt wie in den zuvor erfolgten Vergleichsstudien analog mit Hilfe von Durchzeichenfolien (Hülsmann et al. 2001, Hülsmann et al. 2003a+b, Nordmeyer et al. 2011, Paqué et al. 2005, Rhodes et al. 2011, Rödig et al. 2007 und Versümer et al. 2002).

Trotz Anschlag und gezielter Positionierung ergab sich immer ein zu großer Versatz, als dass die Bilder zur Querschnittsanalyse direkt übereinander gelagert werden konnten. Um dies möglich zu machen, mussten die Bilder rotiert und skaliert werden, bis eine Überlagerung möglich wurde. Zur Orientierung wurden die Außengrenzen der eingebetteten Zähne herangezogen. Das Abweichen bei der Bewertung der Querschnittsproben von der bisher verwendeten Methodik macht auch hier eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den oben genannten Studien nur bedingt möglich. Im Zuge der digitalen Datenverarbeitung schien es hier aber sinnvoll, die ohnehin digital vorliegenden Querschnittsbilder auch digital zu analysieren.

### 6.1.7. Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen

Die Auswertung erfolgte durch zwei Observer nach Kodierung der Präparate, so dass das verwendete Präparationsinstrument bei der Auswertung nicht bekannt war oder identifiziert werden konnte.

Bewertet wurden Debris und *smear layer*, jeweils im apikalen, medialen und koronalen Segment einer jeden Probe. Bei 200-facher Vergrößerung wurde der Debris beurteilt, bei 1000-facher Vergrößerung der *smear layer*. Dazu musste jedes der drei Segmente eines Zahnes der Länge nach aufgetrennt werden. Hier stellt sich die Frage, in wie weit die horizontalen Schnitte das Kanallumen der mesiobukkalen Kanäle verunreinigen.

Auch das horizontale Spalten der Segmente erfolgt mit einem Sägeblatt, so dass auch hier Schleifstaub potentiell eine Verunreinigung auslösen kann. Der Einsatz von Papierspitzen im Kanal, um die Verunreinigung zu verhindern, ist ebenfalls kritisch, da hier eine Modifikation des *smear layers* nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Zu der Bewertung von *smear layer* und Debris wurden alle Bilder von beiden Observern zwei Mal bewertet. Zwischen beiden Bewertungsdurchgängen lag immer eine Woche, um Bias zu vermeiden. Die Bewertung erfolgte nach den von Hülsmann et al. (1997) aufgestellten Kriterien.

### **6.2. Diskussion der Ergebnisse**

#### 6.2.1. Veränderung der Krümmungswinkel

Aufgrund der Instrumenteneigenschaft, sich linear auszurichten, erwartet man eine geringe Begradigung.

Die Vermessung nach der Methode von Schneider (1971), modifiziert nach Zhang & Hu (2010), führt jedoch dazu, dass bei entsprechender Kanalgeometrie (besonders bei weiter koronaler und medialer Aufbereitung) z.T. leicht erhöhte Krümmungswinkel festzustellen sind. Hier stößt die Methodik der Vermessung an ihre Grenzen, da trotz gleichmäßigster Kanalaufbereitung und sichtbarer Erhaltung der Kanalanatomie erhöhte Krümmungswerte resultieren können.

Vergleicht man die Änderung der Krümmungswerte (SAF 2,65° und BR 2,66°, Tabelle 8) miteinander, so zeigt sich, dass beide Systeme nur zu einer geringen Begradigung der Kanäle geführt haben.

Zwischen den untersuchten Systemen konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Im Vergleich mit anderen Studien gleichen Designs fällt auf, dass die hier ermittelten Werte sehr groß sind. Aufgrund der digitalen Auswertung und Vermessung der Bilder kann man davon ausgehen, dass die Ergebnisse eine größere Genauigkeit aufweisen, als es die Vermessung mit einem Geodreieck auf vergrößerten Röntgenbildern bisher zugelassen hat.

Studie	Untersuchtes System	
	Hülsmann et al. (2001)	Quantec SC 2,3
Hülsmann et al. (2003a)	Flexmaster 0,6	Hero 642 0,5
Hülsmann et al. (2003b)	Quantec SC 1,7	Lightspeed 1,8
Nordmeyer (2011)	Flexmaster 0,3	Endo-Eze AET 4,6
Paque et al. (2005)	ProTaper 0,8	RaCe 0,9
Rhodes et al. (2011)	Vortex .06 0,72	Safesiders 16,6
Rödig et al. (2007)	ProFile .04 0,7	GT Rotary 0,3
Versümer et al. (2002)	ProFile .04 0,2	Lightspeed 0,4
vorliegende Studie	BioRaCe 2,66	SAF 2,65

*Tabelle 8: Mittlere Krümmungsänderung [°], entnommen aus Studien des gleichen Designs*

### 6.2.2. Querschnittspräparate

Mit Hilfe der Querschnittsuntersuchung kann der Untersucher direkt überprüfen, an welchen Stellen der Kanalwand die Instrumente gearbeitet haben und welche Form der Kanal im Querschnitt nach der Bearbeitung hat. Ziel ist es immer, die Kanalwand möglichst gleichmäßig abzutragen (Lim & Weber 1985, Lim et al. 1987) und eine Querschnittsform zu präparieren, die sich mit den aktuell verwendeten Wurzelkanalfüllmethoden verschließen lässt.

Zur Erweiterung der koronalen Region wurden innerhalb dieser Studie Gates Bohrer verwendet. Je nach Länge des Zahnes lag der Kanaleingang nach dem koronalen Kürzen so im Bereich des koronalen Segments (9 mm von der Wurzelspitze entfernt) oder weiter koronal. Aus diesem Grund führte die Kanalerweiterung mit Gates Bohrern im koronalen Bereich teilweise dazu, dass schon präoperativ stark erweiterte Kanäle vorlagen, die durch die nachfolgenden Instrumente nur noch marginal erweitert wurden. Das führte dazu, dass prä- und postoperative Kanalquerschnitte vor allem im koronalen Bereich sich durch die eigentliche Präparation kaum veränderten und dies zu falsch negativen Ergebnissen in Bezug auf die akzeptable Kanalerweiterung führten. Die qualitative Querschnittsanalyse innerhalb dieser Studie zeigte keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ , Fishers exact-Test und Chi-Quadrat-Test) zwischen dem SAF- und BioRaCe-System auf.

Aus der Tabelle 6 wird deutlich, dass circa 64% aller Präparate der SAF Gruppe postoperativ keine runden Querschnitte aufwiesen. Bei der Präparation der SAF ist es jedoch auch nicht Ziel der Aufbereitung, einen runden Querschnitt zu präparieren, sondern das Kanallumen die Anatomie während und den Kanal gleichmäßig formerhaltend zu erweitern. Wie für das BioRaCe-System erwartet, zeigen sich postoperativ zu circa 61% runde Querschnitte.

Quantitativ zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied im koronalen Abschnitt der experimentellen Gruppen ( $p = 0,00001$  Fischers Test, zusätzlich Mann-Whitney U Test:  $p = 0,000015$ ). Das SAF-System schnitt in der Präparation der koronalen Abschnitte signifikant besser ab als BioRaCe.

Hier ist anzumerken, dass das SAF-System in der Lage ist, auch in einem bereits durch Gates Bohrer stark erweiterten koronalen Kanalanteil, noch zirkulär Kanalkontakt zu erreichen und so den Kanal noch stärker zu erweitern. Je weiter jedoch das Kanallumen, desto geringer sind die Rückstellungskräfte der SAF und somit auch der zu erwartende Abtrag (Hof et al. 2010).

In der folgenden Tabelle sind die akzeptablen Querschnittsformen der Systeme der aktuellen Studien im Vergleich zu vorangegangenen Studien des gleichen Designs dargestellt (Tabelle 9).

Segment	aktuelle Studie		Hülsmann et al. (2001)		Hülsmann et al. (2003a)		Hülsmann et al. (2003b)		Nordmeyer et al. (2011)		Paque et al. (2005)		Rhodes et al. (2011)		Rödig et al. (2007)		Versümer (1999)	
	Bio-RaCe	SAF	Hero 642	Quante c SC	Hero 642	Flex-master	Light-speed	Quantec SC	Endo-Eze AET	Flex-master	Pro-Taper	RaCe	Safe-siders	Vortex .06	GT Rotary	ProFile .04	Light-speed	ProFile .04
koronal	86,96	82,61	80	40	64	54,16	72	95,44	88	84	48	48	68	92	92	88	88	92
medial	91,3	78,26	88	64	84	79,16	88	81,82	92	92	72	48	60	88	84	75	88	96
apikal	73,91	65,22	92	56	68	79,16	72	77,26	80	76	29,17	52	52	92	76	79,17	84	96

Tabelle 9: Prozentwerte der akzeptablen Querschnittsformen, entnommen aus Studien des gleichen Designs (Hülsmann et al. 2001, Hülsmann et al. 2003a+b, Nordmeyer et al. 2011, Paqué et al. 2005, Rhodes et al. 2011, Rödig et al. 2007 und Versümer et al. 2002).

### 6.2.3. Bewertung der Reinigungswirkung

Bei der Bewertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigten sich verstärkt Interraterabweichungen bei der Auswertung der Bilder, welche zur Bewertung des Debris herangezogen wurden. Es stellte sich dabei die Frage, warum besonders die Bewertung des Debris im Vergleich zu der Bewertung des *smear layers* eine geringere Reliabilität aufwies.

Die zuvor durchgeführte Kalibrierung der Observer wurde mit zufällig ausgewählten Bildern durchgeführt. Dabei wurde nicht berücksichtigt, welchen Score die Bilder repräsentierten. Viele Proben wurden sehr gut bzw. schlecht bewertet, so dass wenige Bilder den mittleren Bereich repräsentierten und somit auch die Kalibrierung zu der Bewertung dieser Bilder etwas zurück blieb. Das galt sowohl für die Bilder zur Bewertung des Debris als auch zur Bewertung des *smear layer*. Im Weiteren warf dies die Frage auf, aus welchem Grund die Interobserverreliabilität bei der Bewertung des *smear layer* weniger stark ins Gewicht fiel. Eine mögliche Erklärung war die exaktere Definition und bessere Abgrenzbarkeit der Scores für *smear layer* im Vergleich zu Debris.

Die Intraraterreliabilität war nach den Bewertungskriterien von Landis & Koch (1977) im sehr guten Bereich einzuordnen. Die Bilder wurden in einem Zeitabstand von einer Woche ausgewertet, um die Gefahr der Wiedererkennung einzelner Bilder zu minimieren.

Das Spülprotokoll der verglichenen zwei Systeme ist grundsätzlich unterschiedlich, da das SAF-System mit einer kontinuierlichen Spülung arbeitet und durch die Vibrationen der Feile auch die Spülflüssigkeit aktiviert. Im Gegensatz dazu erfolgt bei dem BioRaCe-System die Spülung zwischen den Präparationsschritten. Trotzdem wurde in dieser Arbeit versucht, eine Vergleichbarkeit zu schaffen, indem für das BioRaCe-System 3%ige NaOCl-Lösung und für das SAF-System wie angegeben nur 1%ige NaOCl-Lösung verwendet wurde. Grundlage für diese Entscheidung war die Feststellung, dass mechanisch aktivierte 1%ige NaOCl-Lösung vergleichbar gute antibakterielle Ergebnisse erzielte wie 3%ige NaOCl-Lösungen (Moorer und Wesselink 1982).

Es wurde versucht, die Spülprotokolle so anzupassen, dass das Spülvolumen und die Wirkung der Spülflüssigkeiten bei beiden Systemen ähnlich effektiv waren, um den Einfluss der unterschiedlichen Spülvolumina auf das Endergebnis zu reduzieren. Da bei dem SAF-System das Spülvolumen und die Konzentration klar definiert waren, orientierten sich die Spülvolumina für das BioRaCe-System an den Flüssigkeitsmengen, die das SAF-System vorgegeben hatte. Darüber hinaus wurden die Systeme den Herstellerangaben folgend angewendet. Auch hier stellt sich die Frage der Vergleichbarkeit der Ausgangssituationen. Das SAF-System erwartet vor Einsatz der Feile die Kanalaufbereitung bis zur ISO Größe 20, was die Anwendung der Feile erst möglich macht.

Innerhalb dieser Studie konnten im Vergleich mit dem BioRaCe-System keine signifikanten Unterschiede in der Fähigkeit zur Debris-Entfernung festgestellt werden.

Dietrich et al. (2012) zeigten in ihrer Vergleichsstudie zwischen WaveOne, K3 und SAF, dass keine wesentlichen Unterschiede in Bezug auf die Debris-Entfernung zwischen den drei Systemen festzustellen waren. Sie nutzten das SAF-System auch als zusätzliches Spülsystem nach der Aufbereitung mit dem WaveOne- und dem K3-System. Dabei zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Sauberkeit im apikalen Anteil der K3-Gruppe.

Metzger et al. (2010a) führten ebenfalls eine rasterelektronenmikroskopische Studie zur Bestimmung der Reinigungswirkung der SAF durch. Sie verwendeten ein modifiziertes Spülprotokoll in Form einer sequentiellen Spülung mit NaOCl über zwei Minuten, gefolgt von einer zweiminütigen Spülung mit EDTA. Dabei zeigte sich eine vollständige Debris-Entfernung in allen Proben. Der innerhalb dieser Studie erreichte Wert liegt bei durchschnittlich 83,7% für alle Segmente und stellt sich damit deutlich schlechter dar als in der Studie von Metzger et al. (2010a). Im koronalen Bereich lag er bei 100%, im medialen Bereich bei 94,57% und im apikalen Bereich bei 56,52% (Tabelle 10).

Metzger et al. (2010a) berichten von einer Entfernung des *smear layer* in den koronalen Segmenten von 100%, in den medialen Segmenten von 80% und in den apikalen Segmenten von 65%. Die innerhalb dieser Studie ermittelten Werte liegen für den koronalen Anteil bei 100%, für die medialen Segmente bei 93,48% und für die apikalen Segmente bei 40,22% (Tabelle 10). Die medialen Segmente wurden innerhalb dieser Studie demnach deutlich besser bewertet, die apikalen deutlich schlechter als in der Studie von Metzger et al. (2010a).

Segment	Debris [%]		<i>smear layer</i> [%]	
	aktuelle Studie	Metzger et al. (2010a)	aktuelle Studie	Metzger et al. (2010a)
koronal	100	100	100	100
medial	94,57	100	93,48	80
apikal	56,52	100	40,22	65

*Tabelle 10: Gegenüberstellung der Debris- und smear layer-Auswertung der SAF in den drei Schnittebenen von Metzger et al. (2010a) und der Ergebnisse dieser Studie*

Vergleicht man die Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von zuvor erfolgten Studien des gleichen Designs, so zeigt sich folgendes Bild für die Bewertung von Debris (Tabelle 11) und *smear layer* (Tabelle 12):



Segment	aktuelle Studie		Hülsmann et al. (2001)		Hülsmann et al. (2003a)		Hülsmann et al. (2003b)		Metzger et al. (2010a)		Nordmeyer et al. (2011)		Paqué et al. (2005)		Rödig et al. (2007)		Versümer et al. (2002)	
	Bio- RaCe	SAF	Hero 642	Quantec SC	Hero 642	Flex-master	Light-speed	Quantec SC	SAF	Endo-Eze AET	Flex-master	ProTaper	RaCe	GT Rotary	ProFile .04	Light-speed	ProFile .04	
koronal	96,74	100	96	83,33	87,5	84	85	75	100	80	92	50	54,17	100	88	76	63,63	
medial	96,74	94,57	96	86,36	76	68	85,71	69,56	100	60	84	60	52	76	79,16	68	59,09	
apikal	67,39	56,52	48	58,33	54,16	47,82	61,9	54,54	100	52	68	34,78	33,33	37,35	54,17	60	27,27	

Tabelle 12: Ergebnisse der vorliegenden Studie für Debris Scores 1 und 2 im Vergleich zu den Studien von Hülsmann et al. (2001), Hülsmann et al. (2003a+b), Metzger et al. (2010a), Nordmeyer et al. (2011), Paqué et al. (2005), Rhodes et al. 2011, Rödig et al. (2007) und Versümer et al. (2002) in Prozent

Segment	aktuelle Studie		Hülsmann et al. (2001)		Hülsmann et al. (2003a)		Hülsmann et al. (2003b)		Metzger et al. (2010a)		Nordmeyer et al. (2011)		Paqué et al. (2005)		Rödig et al. (2007)		Versümer et al. (2002)	
	Bio- RaCe	SAF	Hero 642	Quantec SC	Hero 642	Flex-master	Light-speed	Quantec SC	SAF	Endo-Eze AET	Flex-master	Pro- Taper	RaCe	GT Rotary	ProFile .04	Light-speed	ProFile .04	
koronal	95,65	100	60	50	54,16	44	15	33,33	100	80	92	33,33	54,17	36	20	44	18,18	
medial	93,48	93,48	72	50	32	32	19,05	39,13	80	60	84	40	40	32	29,17	36	31,81	
apikal	55,43	40,22	28	25	12,5	0	14,28	12	65	52	68	26,09	50	8	20,83	12	4,54	

Tabelle 11: Ergebnisse der vorliegenden Studie für smear layer Scores 1 und 2 im Vergleich zu den Studien von Hülsmann et al. (2001), Hülsmann et al. (2003a+b), Metzger et al. (2010a), Nordmeyer et al. (2011), Paqué et al. (2005), Rhodes et al. 2011, Rödig et al. (2007) und Versümer et al. (2002) in Prozent

### 6.2.4. Arbeitssicherheit

Im Rahmen der klinischen Anwendbarkeit spielt die Arbeitssicherheit eine wesentliche Rolle. So sollten die Zwischenfälle, die bei der Kanalpräparation auftreten, nicht die abschließende Bearbeitung des Kanalsystems behindern.

Ein Problem der Nickel-Titan-Instrumente ist die Materialermüdung, die sich dem Instrument nicht ansehen lässt. Aus diesem Grund sind die Hersteller von multi-use-Systemen dazu übergegangen, für die Feilen eine maximale Anzahl an Anwendungen zu empfehlen.

Die innerhalb dieses Studiendesigns betrachteten Parameter, welche die Arbeitssicherheit repräsentierten, waren apikale Blockaden, Perforationen, Instrumentenfrakturen und Arbeitslängenverluste.

Die Differenz zwischen beiden Systemen in Bezug auf die Arbeitssicherheit (Häufigkeit von Zwischenfällen) war nicht signifikant ( $p < 0,05$ , Students t-Test).

Diese Ergebnisse folgen den innerhalb ähnlicher Studien gemachten Beobachtungen (Hülsmann et al. 2001, Hülsmann et al. 2003a+b, Nordmeyer et al. 2011, Paqué et al. 2005, Rhodes et al. 2011, Rödiger et al. 2007 und Versümer et al. 2002, Tabelle 13). Die verschiedenen untersuchten Systeme zeigten dabei Häufigkeiten von Zwischenfällen von 0 bis 14 Fehlern bei in der Regel 25 Proben mit je zwei Kanälen pro System, also jeweils 50 präparierten Wurzelkanälen. Das SAF-System liegt damit im Vergleich etwa im Mittelfeld, das BioRaCe-System am unteren Ende der Häufigkeit von Zwischenfällen und damit von der Arbeitssicherheit besser als das SAF-System. Dieses bessere Abschneiden des BioRaCe-Systems stellte sich statistisch jedoch als nicht signifikant dar.

	aktuelle Studie		Hülsmann et al. (2001)		Hülsmann et al. (2003a)		Hülsmann et al. (2003b)		Nordmeyer et al. (2011)		Paqué et al. (2005)		Rhodes et al. (2011)		Rödig et al. (2007)		Versümer et al. (2002)	
	Bio-RaCe	SAF	Hero 642	Quantec SC	Hero 642	Flex-master	Light-speed	Quantec SC	Endo-Eze AET	Flex-master	ProTaper	RaCe	Vortex .04	Safe-siders	GT Rotary	ProFile .04	Light-speed	ProFile .04
Zwischenfall																		
apikale Blockade	0	0	0	3	0	0	1	4	0	0	0	0	2	9	3	4	0	0
Perforation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0
Instrumententfraktur	1	2	0	3	0	1	5	3	0	0	1	0	0	0	2	2	0	3
Stufenbildung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbeitslängenverlust	1	6	0	8	0	0	5	5	0	0	2	2	3	7	0	4	0	0

*Tabelle 13: Übersicht der Zwischenfälle der aktuellen Studie im Vergleich zu den Ergebnissen von Hülsmann et al. (2001), Hülsmann et al. (2003a+b), Nordmeyer et al. (2011), Paqué et al. (2005), Rhodes et al. 2011, Rödig et al. (2007) und Versümer et al. (2002)*

Akçay et al. (2011) zeigten an unterschiedlich stark gekrümmten künstlichen Wurzelkanälen, dass eine Abhängigkeit beim SAF-System zwischen der Frakturanfälligkeit und der Wurzelkanalkrümmung besteht. Innerhalb dieser Studie konnte für beide Systeme keine signifikante Interaktion zwischen Wurzelkanalkrümmung oder -radius und dem Auftreten von Zwischenfällen ( $p < 0,05$ , Students t-Test) festgestellt werden.

Die von Hof et al. (2010) ermittelte Arbeitszeit von  $29,1 \pm 1,2$  Minuten bis zum ersten Ermüdungsbruch der SAF konnte innerhalb dieser Studie nicht bestätigt werden. Hof et al. verwendeten einen speziellen Prüfkörper aus Metall, welcher den Wurzelkanal simulierte und somit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur bedingt zulässt.

Bonaccorso et al. (2009) zeigten in einer Vergleichsstudie an künstlichen S-förmigen Kanälen, dass die Verwendung von BioRaCe-Instrumenten in Zusammenhang mit den S-Apex-Instrumenten seltener zum Auftreten des *zip-/elbow*-Effektes führte als bei den Vergleichsinstrumenten. Ähnliche Effekte konnten in dieser Studie nicht beobachtet werden. Es wurden jedoch auch nur einfach gekrümmte Wurzelkanäle für die Studie herangezogen.

### 6.2.5. Keim- und Debrisverschleppung

In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass bei mehrmaliger Verwendung von Instrumenten zur Wurzelkanalpräparation keine verlässliche Keimreduktion gewährleistet werden kann (Letters et al. 2005, Morrison & Conrod 2009). Hier zeigen beide Systeme deutliche Unterschiede, da das BioRaCe-System im Gegensatz zum SAF System ein *multi-use*-System darstellt. Das bedeutet, dass die verwendeten Feilen nach erfolgter Reinigung und Sterilisation mehrfach verwendet werden können.

Da nachgewiesen wurde, dass die Gefahr der Keimverschleppung bei *multi-use*-Systemen besteht, kommen momentan viele Systeme als *single-use*- und zum Teil auch *single-file*-Systeme auf den Markt (WaveOne, Reciproc). Ein *single-use*-System stellt einen Einmalartikel dar, welcher nach Präparation des Kanalsystems eines Zahnes verworfen wird.

Smith et al. (2002) berichten von Varianten der Creuzfeld-Jacob-Krankheit, welche möglicherweise über Instrumente zur Wurzelkanalbehandlung übertragen werden können. Auslöser der Erkrankung sind sogenannte Prionen. Es sind besonders kleine Proteine, welche mit Hilfe der Standardverfahren zur Reinigung und Sterilisation nur unzureichend entfernt werden können. Sie zeigten, dass 22 von 29 Proben von endontischem Instrumentarium aus Praxen Spuren von biologischem Material aufwiesen. Bei Proben aus Krankenhäusern fanden sie biologisches Material auf 5 von 37 Instrumenten. Sonntag & Peters (2007) überprüften verschiedene Methoden der Reinigung gefolgt von der Sterilisation mit dem Ergebnis, dass keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Belastung mit biologischem Material festgestellt werden konnten. Dem Ergebnis folgend sehen sie einen Nutzen in der einzeitigen Verwendung endodontischer Instrumente.

### **6.3. Abschlussbetrachtung beider Systeme**

#### 6.3.1. Das SAF-System

Das Arbeiten mit der SAF erwies sich nach Gewöhnung an die neuartige Handhabung als komfortabel. Nachdem ein Gleitpfad geschaffen wurde, ließ sich die Feile meist ohne Probleme innerhalb von 30 Sekunden auf Arbeitslänge vorschieben. Nachdem diese Position für weitere 150 Sekunden gehalten wurde, war die Präparation beendet. Die vom Hersteller vorgeschriebene kontinuierliche Rotation der Feile stellte sich als problematisch dar. Durch das Einbringen in den Kanal kam es immer wieder zum Verklemmen der Feile im Kanal oder zu einem Verhaken im Bereich des Isthmus. Das spontane Verklemmen führte bei einigen Feilen zur Verdrillung der Feilenstruktur, so dass sie anschließend nicht mehr einsatzfähig waren. Aufgrund der variablen Wurzelkanalkonfigurationen (de Pablo et al. 2010) kann selbst bei einer Präparation bis ISO-Größe 20 durch einen akzessorischen apikalen Ausgang ein apikales Verklemmen der Feile vorkommen. Diese Problematik stellt sich nicht allein bei der SAF, sondern kann auch bei konventionellen Feilen zu einer Fraktur führen. In diesem Fall zeigt die SAF einen Vorteil gegenüber konventionellen Nickel-Titan-Systemen, da sich in der Regel nur die Feile verdrillte ohne abzubrechen.

Besonders komfortabel wurde die kontinuierliche Spülung durch die Spüleinheit Vatea empfunden. Neben dem akustischen Signal, das jede Minute ertönt, wäre eine Zeitanzeige auf dem ohnehin digitalen Display wünschenswert gewesen. Das System ist aktuell das einzige, das in der Lage ist, ovale Wurzelkanäle bei größtmöglicher Formerhaltung zu präparieren. So könnte es vor allem bei ovalen bis lang ovalen Kanälen bessere Ergebnisse liefern, als es die konventionellen Systeme bisher erreichen. Hier fehlen noch Studien, welche diese Behauptung stützen.

### 6.3.2. Das BioRaCe-System

Die bisher vorliegenden Studien zum BioRaCe-System zeigten keine Schnittpunkte mit den in dieser Studie durchgeführten Tests, so dass keine Rückschlüsse auf die Qualität der Studienergebnisse bezüglich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gezogen werden können.

Das BioRaCe-System stellt im Vergleich zum SAF-System ein *multi-use-, multi-file-*System dar. Wie bereits angesprochen, stellt sich die Frage, ob multi-use-Systeme aufgrund der bereits genannten Studien noch das Mittel der Wahl sein sollten. Eine Keimverschleppung bzw. Kontamination der Feilen trotz erfolgter Sterilisation birgt immer die Gefahr der Infektion einer primären sterilen Pulpitis oder einer Verschleppung von potentiell infektiösem biologischem Material. Aus diesem Grund verfolgen viele Hersteller von Präparationsinstrumenten mittlerweile das *single-use-*Prinzip (WaveOne, Reciproc).

Das BioRaCe-System lieferte gute Präparationsergebnisse bei nur wenigen Präparationszwischenfällen. Besonders bei Präparation runder Kanäle konnte es auch im apikalen Bereich formerhaltend arbeiten und führte nur zu geringen Begradigungen der Wurzelkanäle.

## 7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zwischen den beiden Versuchsgruppen fanden sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Reinigungswirkung ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney U). Sie war jedoch innerhalb der beiden Systeme koronal signifikant ( $p > 0,05$ ) besser als in den beiden übrigen Bezirken. Die überwiegende Mehrzahl der Proben erreichte in beiden Gruppen Score 1 oder 2, so dass von einer guten Reinigungswirkung gesprochen werden kann.

Weder die SAF noch BioRaCe bewirkten eine signifikante Begradigung der Wurzelkanäle ( $p = 0,05$ ; Students t-test). Der Krümmungswinkel (Schneiderwinkel) wurde im Mittel um 2,65 Grad (SAF) bzw. 2,66 Grad (BioRaCe) verändert und der Wurzelkanalradius um 0,03 mm (SAF) bzw. 0,4 mm (BioRaCe).

Die qualitative Querschnittsanalyse zeigte keinen signifikanten Unterschied ( $p < 0,05$ , Fishers exact-Test und Chi-Quadrat-Test) zwischen SAF und BioRaCe auf.

Quantitativ zeigte sich ein signifikanter Unterschied im koronalen Abschnitt der experimentellen Gruppen ( $p = 0,00001$  Fischers Test, zusätzlich Mann-Whitney U Test:  $p = 0,000015$ ). Das SAF-System schnitt in der Präparation der koronalen Abschnitte signifikant besser ab als BioRaCe.

Beide Gruppen zeigten, dass in der überwiegenden Anzahl der Präparate nicht die gesamte Zirkumferenz des Wurzelkanals bearbeitet worden war.

Die Differenz zwischen beiden Systemen in Bezug auf die Arbeitssicherheit (Häufigkeit von Zwischenfällen) war nicht signifikant ( $p < 0,05$ , Students t-Test). Es gab keine signifikante Interaktion zwischen Wurzelkanalkrümmung oder -radius und dem Auftreten von Zwischenfällen ( $p < 0,05$ , Students t-Test).

Beide Systeme stellen gute Hilfsmittel für die Aufbereitung einfach gekrümmter Wurzelkanäle dar. Jedes System hat seine Einsatzberechtigung, da sowohl die Reinigungswirkung, der Erhalt der Kanalanatomie, sowie die Arbeitssicherheit keine signifikanten Unterschiede aufwiesen.

## 8. Materialien

1. Aluminiumnieten (DN 661, 3,0 mm x 12,0 mm, Fa. Gesipa, Waldorf, Deutschland)
2. Antriebseinheit für BioRaCe-System (EndoIT Professional, VDW GmbH, München, Deutschland)
3. Antriebseinheit für SAF-System (Anyxing 303B, Micro-NX LTD., Samcheong-ri Waegwan-eup, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea )
4. Bildanalysesoftware (ImageJ, Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA)
5. BioRaCe-System (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Schweiz)
6. Diamantierter Torpedo (Kometdental, Lemgo, Deutschland)
7. Digitales Mikroskop (Leica EZ4 D, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland)
8. EDTA (EDTA-Lösung, lege artis Pharma GmbH + Co. KG, Dettenhausen)
9. Exsikkator (Exsikkator novus, Fa. W. Kranich, Göttingen)
10. Gates-Bohrer Größe 2, 3 (VDW GmbH, München, Deutschland)
11. Kunststoff (Paladur Autopolymerisat, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau)
12. Muffel (Wissenschaftliche Werkstätten, Universität Göttingen, Deutschland)
13. Natriumhypochlorit (NaOCl 3%, Apotheke des Klinikums Göttingen)
14. Peripheriewachs (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland)
15. Rasterelektronenmikroskop (Digital Scanning Microscope DSM 960, Fa. Zeiss, Oberkochen)
16. Reamer (VDW Antaeos, München)
17. Röntgengerät (Elitys, Trophy Radiologie, Washington, USA)
18. Röntgensensor (CDR 1, CoSi Elektronik GmbH, Eching, Deutschland)
19. SAF-System (ReDent-Nova, Ra'anana, Israel)
20. Spülgerät (Piezonmaster 600, EMS - ELECTRO MEDICAL SYSTEMS S.A., Nyon, Schweiz)
21. Spülkanüle (BD Mikrolance 3, 0,4 x 19 mm, BD Drogheda, Irland)
22. Spülsystem (VATEA, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel)
23. Sputter-Coater (SC 51, Fissons Instruments, Uckfield, Großbritannien)
24. Vaseline (Vaseline weiss DAB 10, Winthrop Arzneimittel GmbH, Mülheim-Kärlich, Deutschland)



25. Winkelstück für BioRaCe-System (WD-77M, W&H Dentalwerk Bürmoos GmbH, Bürmoos, Österreich)
26. Winkelstück für SAF-System (GENTLEpower LUX 20 LP, KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, Deutschland)
27. Winkelstückkopf (RDT3, ReDent-Nova, Ra'anana, Israel)

## 9. Literaturverzeichnis

**Akçay I, Yiğit-Özer S, Adigüzel Ö, Kaya S (2011):**

Deformation of the self-adjusting file on simulated curved root canals: a time-dependent study.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 112, e12-e17

**Alhadainy HA (1994):**

Root perforations: a review of literature.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 368–374

**Alodeh MHA, Dummer PMH (1989):**

A comparison of the ability of K-files and Hedstrom files to shape simulated root canals in resin blocks.

Int Endod J 22, 226–235

**Alodeh MHA, Doller R, Dummer PMH (1989):**

Shaping of simulated root canals in resin blocks using the step-back technique with K-files manipulated in a simple in/out motion.

Int Endod J 22, 107–117

**Alves FRF, Rocas IN, Almeida BM, Neves MAS, Zoffoli J, Siqueira JF (2012):**

Quantitative molecular and culture analyses of bacterial elimination in oval-shaped root canals by a single-file instrumentation technique.

Int Endod J 45, 871-877

**American Association of Endodontists, Glossary**

Contemporary Terminology for Endodontics, 5<sup>th</sup> edn.

American Association of Endodontists, Chicago, IL, USA, 1999

**Ando N, Hoshino E (1990):**

Predominant obligate anaerobes invading the deep layers of root canal dentine.

Int Endod J 23, 20-27

**Arvaniti IS, Khabbaz MG (2011):**

Influence of root canal taper on its cleanliness: A scanning electron microscopic study.

J Endod 37, 871-874

**Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A (2002):**

Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental technique for cleaning root canals.

Int Endod J 35, 929-933

**Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P (2001):**

Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry.

Am J Dent 14, 324–333

**Bishop K, Dummer PM (1997):**

A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals.

Int Endod J 30, 25-34

**Bonaccorso A, Cantatore G, Condorelli GG, Schäfer E, Tripi TR (2009):**

Shaping ability of four nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals.

J Endod 35, 883–886

**Bramante CM, Berbert A, Borges RP (1987):**

A methodology for evaluation of root canal instrumentation.

J Endod 13, 243–445

**Campos JM, del Rio C (1990):**

Comparison of mechanical and standard hand instrumentation techniques in curved root canals.

J Endod 16, 230-234

**Cunningham CJ, Senia ES (1992):**

A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars.

J Endod 18, 294-300

**Debelian G (2011):**

BioRaCe NiTi system: Biologically desirable apical sizes: Safely and efficiently.

Stomatološki Glasnik Srbije 58, 44-50

**De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, Kfir A (2011):**

The Self-Adjusting File optimizes debridement quality in oval-shaped root canals.

J Endod 37, 701-705

**De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N (2009):**

Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study.

J Endod 35, 891-895

**De Pablo OV, Estevez R, Sanchez MP, Heilborn C, Cohenca N (2010):**

Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: A systematic review.

J Endod 36, 1919-1931

**Dietrich MA, Kirkpatrick TC, Yaccino JM (2012):**

In vitro canal and isthmus „debris“ removal of the Self-Adjusting File, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars.

J Endod 38, 1040-1044

**Dummer PMH, Alodeh MHA, Doller R (1989):**

Shaping of simulated root canals in resin blocks using files activated by a sonic handpiece.

Int Endod J 22, 211–215

**Ebeleseder KA, Glockner K, Städtler P:**

Eine Klassifikation von Untersuchungen zur Wurzelkanalaufbereitung.  
In: 2. Endodontischer Weltkongress der I.F.E.U., Rom 1995  
Zusammenfassung der Autorenreferate, o. Hrsg., o. Verl., o. O. **1995**, 1-4

**European Society of Endodontology (2006):**

Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology.  
Int Endod J 39, 921-930

**Gambarini G (2001):**

Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after prolonged clinical use.  
Int Endod J 34, 386–389

**Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ (2001):**

In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*.  
Int Endod J 34, 424–428

**Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F (2006):**

Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems.  
Int Endod J 39, 755–763

**Greene KJ, Krell KV (1990):**

Clinical factors associated with ledged canals in maxillary and mandibular molars.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 70, 490–497

**Haikel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C (1999):**

Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel titanium endodontic instruments.  
J Endod 25, 434–440

**Hand RE, Smith ML, Harrison JW (1978):**

Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite.  
J Endod 4, 60–65

**Harrison JW (1984):**

Irrigation of the root canal system.  
Dent Clin North Am 28, 797–808

**Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z (2010):**

The self-adjusting file (SAF). Part 2: mechanical analysis.  
J Endod 36, 691-696

**Hülsmann M:**

Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende In-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.  
Med. Habil.-Schr. Göttingen **1998**

**Hülsmann M, Rümmelin C, Schäfers F (1997):**

Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation.  
J Endod 23, 301–306

**Hülsmann M, Gambal A, Bahr R (1999):**

An improved technique for the evaluation of root canal preparation.  
J Endod 25, 599–602

**Hülsmann M, Schade M, Schäfers F (2001):**

A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni–Ti instruments.  
Int Endod J 34, 538–546

**Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F (2003a):**

A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni–Ti instruments.  
Int Endod J 36, 358–366

**Hülsmann M, Herbst U, Schäfers F (2003b):**

A comparative study of root canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments.  
Int Endod J 36, 748-756

**Hülsmann M, Peters OA, Dummer P (2005):**

Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means.  
Endod Topics 10, 30-76

**Jungmann CL, Uchin RA, Bucher JF (1975):**

Effect of instrumentation on the shape of the root canal.  
J Endod 1, 66-69

**Kaya S, Yiğit-Özer S, Adigüzel Ö (2011):**

Evaluation of radicular dentin erosion and „smearlayer“ removal capacity of Self-Adjusting File using different concentrations of sodium hypochlorite as an initial irrigant.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 112, 524-530

**Kazemi RB, Stenman E, Spångberg LS (1996):**

Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 81, 596-602

**Landis RJ, Koch GG (1977):**

The measurement of observer agreement for categorical data.  
Biometrics 33, 159-174

**Lester KS, Boyde A (1977):**

Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals.  
Br Dent J 143, 359-367

**Letters S, Smith AJ, McHugh S, Bagg J (2005):**

A study of visual and blood contamination on reprocessed endodontic files from general dental practice.  
Br Dent J 199, 522–525

**Lilley JD (1976):**

Endodontic instrumentation before 1800.  
Int Endod J 9, 67-70

**Lim KC, Webber J (1985):**

The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal.  
Int Endod J 18, 233-239

**Lim KC, McCabe JG, Johnson MR (1987):**

SEM evaluation of sonic and ultrasonic devices for root canal preparation.  
Quintessence Int 18, 793-797

**Loel DA (1975):**

Use of acid cleanser in endodontic therapy.  
J Am Dent Assoc 90, 148 –151

**Lopes HP, Elias CN, Vieira VTL, Moreira EJM, Marques RVL, Machado de Oliveira JC, Debelian G, Siqueira JF (2010):**

Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace Nickel-Titanium rotary instruments.  
J Endod 36, 1653-1657

**Loushine RJ, Weller RN, Hartwell GR (1989):**

Stereomicroscopic evaluation of canal shape following hand, sonic, and ultrasonic instrumentation.  
J Endod 15, 417–421

**Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M (2010a):**

The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of „debris“ and „smearlayer“ - A scanning electron microscope study.  
J Endod 36, 697-702

**Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R (2010b):**

The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation.  
J Endod 36, 679-690

**Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F (2010c):**

The quality of root canal preparation and obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: A three-dimensional micro-computed tomography study.  
J Endod 36, 1569–1573

**Milas VB:**

History.

In: Pathways of the Pulp; hrsg. v. Cohen S, Burns RC, 4. Auflage;  
C.V. Mosby Company, St. Louis, 1987, 619–634

**Miserendino LJ, Miserendino CA, Moser JB, Heuer MA, Osetek EM (1988):**

Cutting efficiency of endodontic instruments. Part III. Comparison of sonic and ultrasonic instrument systems.

J Endod 14, 24-30

**Moorer WR, Wesselink PR (1982):**

Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite.

Int Endod J 15, 187-196

**Morrison A, Conrod S (2009):**

Dental burs and endodontic files: Are routine sterilization procedures effective?

J Can Dent Assoc 75, 39

**Nordmeyer S, Schnell V, Hülsmann M (2011):**

Comparison of root canal preparation using Flex Master Ni-Ti and Endo-Eze AET stainless steel instruments.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 111, 251-259

**Oliet S, Sorin SM (1978):**

Inhibition of the corrosive effect of sodium hypochlorite on carbon steel endodontic instruments.

J Endod 4, 12-16

**Oltramare (1892):**

Plötzliche Exstirpation der Zahnpulpa mittels einer durch die Bohrmaschine in Rotation versetzten Nadel.

Dtsch Monatsschr Zahnheilk 32, 407–409

**Paiva SS, Siqueira JF Jr, Rôças IN, Carmo FL, Ferreira DC, Curvelo JA, Soares RM, Rosado AS (2012):**

Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: a clinical study.

J Endod, 38, 1202-1206

**Paqué F, Peters OA (2011):**

Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file.

J Endod 37, 517-521

**Paqué F, Musch U, Hülsmann M (2005):**

Comparison of root canalpreparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments.

Int Endod J 38, 8-16

**Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA (2010):**

Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study.  
J Endod 36, 703-707

**Paqué F, Al-Jadaa A, Kfir A (2012):**

Hard-tissue debris' accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars.  
Int Endod J 45, 413-418

**Parashos P, Gordon I, Messer HH (2004):**

Factors influencing defects of rotary nickel titanium endodontic instruments after clinical use.  
J Endod 30, 722–725

**Pauksch E:**

Zerspantechnik, 11. Auflage;  
Vieweg und Sohn, Braunschweig 1996

**Peters OA, Boessler C, Paqué F (2010):**

Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time.  
J Endod 36, 1068-1072

**Peters OA, Paqué F (2011):**

Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time.  
J Endod 37, 53-57

**Peters OA, Peters CI:**

Cleaning and shaping of the root canal system.  
In: Pathways of the Pulp; hrsg. v. Cohen S, Burns RC, 9. Auflage;  
C.V. Mosby Company, St. Louis, **2006**, 181-201

**Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F (2003):**

ProTaper rotary root canal preparation: Effects of root canal anatomy on final shape analyzed by micro CT.  
Int Endod J 36, 86–92

**Peters OA, Schönenberger K, Laib A (2001):**

Effects of four Ni–Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography.  
Int Endod J 34, 221–230

**Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Testarelli L, Gambarini G (2010):**

Cyclic fatigue of Ni–Ti rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature.  
Int Endod J 43, 226–230

**Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F (2006):**

Influence of a brushing working motion on the fatigue life of NiTi rotary instruments.  
Int Endod J 40, 45-51



**Powell SE, Simon JH, Maze BB (1986):**

A comparison of the effect of modified and nonmodified instrument tips on apical canal configuration.

J Endod 12, 293–300

**Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL (1997):**

Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 23, 77-85

**Rhodes SC, Hülsmann M, McNeal SF, Beck P, Eleazer PD (2011):**

Comparison of root canal preparation using reciprocating Safesiders stainless steel and Vortex nickel-titanium instruments.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 111, 659-667

**Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. (1985):**

The 'balanced force' concept for instrumentation of curved canals.

J Endod 11, 203–211

**Rödig T, Hülsmann M, Kahlmeier C (2007):**

Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: profile 0.04 and GT rotary.

Int Endod J 40, 553-562.

**Ruddle C:**

Cleaning and shaping the root canal system.

In: Pathways of the Pulp; hrsg. v. Cohen S, Burns RC, 8. Auflage;

C.V. Mosby Company, St. Louis, **2002**, 231–292

**Schäfer E, Bössmann K (2005):**

Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against *Enterococcus faecalis*.

J Endod 31, 53–56

**Schilder H (1974):**

Cleaning and shaping the root canal.

Dent Clin North Am 18, 269–296

**Schneider SS (1971):**

A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.

Oral Surg 32, 271–275

**Sen BH, Piskin B, Demirci T (1995):**

Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM.

Endod Dent Traumatol 11, 6–9

**Siqueira JF, Rocas IN, Faviera A, Lima KC (2000):**

Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1.0%, 2.5% and 5.25% sodium hypochlorite.

J Endod 26, 331–334

**Siqueira JF Jr, Alves FR, Almeida BM, de Oliveira JC, Rôças IN (2010):**  
Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or Self Adjusting File to disinfect oval-shaped root canals.  
J Endod 36, 1860-1865

**Smith A, Dickson M, Aitken J, Bagg J (2002):**  
Contaminated dental instruments.  
J Hosp Infect. 51, 233-235.

**Sonntag D, Peters OA (2007):**  
Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces.  
J Endod 33, 442-446

**Souza RA (2006):**  
The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation.  
Braz Dent J 17, 6–9

**Sydney GB, Batista A, de Melo LL (1991):**  
The radiographic platform: a new method to evaluate root canal preparation in vitro.  
J Endod 17, 570-572

**Taşdemir T, Er K, Çelik D, Aydemir H (2010):**  
An in vitro comparison of apically extruded debris using three rotary nickel-titanium instruments.  
J Dent Sci 5, 121-125

**Thompson SA (2000):**  
An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry.  
Int Endod J 33, 297–310

**Versümer J, Hülsmann M, Schäfers F (2002):**  
A comparative study of root canal preparation using ProFile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments.  
Int Endod J 35, 37–46

**Walia H, Brantley W, Gerstein H (1988):**  
An Initial Investigation of the Bending and Torsional Properties of Nitinol Root Canal Files.  
J Endod 14, 346-351

**Walker RT (1986):**  
Device for the radiographic examination of teeth in vitro.  
Int Endod J 19, 315-317

**Weine FS:**  
Endodontic therapy, 5. Auflage;  
C.V. Mosby Company, St. Louis **1996**

**Weine FS, Kelly R, Lio P (1975):**

The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape.

J Endod 1, 262–266

**Weine FS, Kelly RF, Bray KE (1976):**

Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape.

J Endod 2, 298-303

**Wildey W, Senia S, Montgomery S (1992):**

Another look at root canal instrumentation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 74, 499–507

**Yamazaki-Arasaki A, Cabrales R, Santos M, Kleine B, Prokopowitsch I (2012):**

Topography of four different endodontic rotary systems, before and after being used for the 12th time.

Microsc Res Tech 75, 97-102

**Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ (2006):**

Cyclic fatigue of three types of rotary nickel-titanium files in a dynamic model.

J Endod 32, 55-57

**Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z (2012):**

Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the Self-Adjusting File.

J Endod 38, 223-235

**Zhang R, Hu T (2010):**

Root canal curvature.

Int Endod J 43, 616-621

### **Danksagung**

Ich danke Herrn Prof. Dr. M. Hülsmann, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat diese Dissertationsschrift zu verfassen. Herrn Johannes Sydow aus der Anatomie Göttingen danke ich für die Unterstützung bei der Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Bilder. Herrn David Ellenberger aus der medizinischen Statistik der Universität Göttingen danke ich für die freundliche Hilfe bei der Auswertung der statistischen Daten.

Besonderer Dank gilt meinem Mentor Herrn Dr. C. Holscher, der mir bei der Anfertigung dieser Arbeit immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

### **Lebenslauf**

Am 25.07.1982 wurde ich, Tobias Wrastil, als Sohn von Dipl. Ing. Horst Wrastil und Gudrun Wrastil geb. Wichmann in Göttingen geboren. Meinen Wehersatzdienst absolvierte ich nach meinem Abitur im Jahr 2002 im Universitätsklinikum in Göttingen. In den folgenden drei Jahren absolvierte ich, studiumsvorbereitend, eine Ausbildung zum Zahntechniker im Dentallabor Reprodent in Göttingen. Parallel zu den letzten Monaten der Ausbildung begann ich im Sommersemester 2007 das Studium der Zahnmedizin an der Georg-August-Universität zu Göttingen. Im Juli 2012 schloss ich das Studium mit dem Staatsexamen ab, so dass ich im Juli 2012 meine Approbation als Zahnarzt erhielt. Parallel zu zwei folgenden Promotionssemestern begann ich Mitte Oktober 2012 mit der zahnmedizinischen Tätigkeit in der Praxis von Herrn Dr. Jan Linneweber in Bremerhaven, wo ich bis heute tätig bin.