

Aus der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

(Direktor: Prof. Dr. C. Dörfer)

im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel

an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Vergleichende Untersuchung zur Genauigkeit von zwei
elektronischen Messgeräten zur Ermittlung der endodontischen
Arbeitslänge.
Eine In-vitro-Studie.**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Christian Flörke

aus Bünde

Kiel 2014

1. Berichtstatter: Prof. Dr. B. Grössner-Schreiber

2. Berichtstatter: Prof. Dr. H-J Wenz

Tag der mündlichen Prüfung: 17.06.2015

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 18.06.2015

gez.:

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Aufbau und Anatomie des Endodonts	3
1.1.1 Aufbau des Dentins.....	3
1.1.2 Aufbau der Pulpa	4
1.2. Morphologie der apikalen Region	5
1.3. Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung	7
1.4 Die Arbeitslänge in der Endodontie	8
1.4.1 Bedeutung der Arbeitslänge in der Endodontie.....	8
1.4.2. Definition und Festlegung der Arbeitslänge.....	9
1.5 Die Arbeitslängenbestimmung.....	9
1.5.1 Digital-taktile Arbeitslängenbestimmung	9
1.5.2 Röntgenologische Arbeitslängenbestimmung	10
1.5.3 Endometrische Arbeitslängenbestimmung.....	12
1.5.3.1 Historischer Rückblick.....	12
1.5.3.2 Heutiger Stand der Endometrie.....	14
1.6 Die Kombination von Endometrie und maschineller Aufbereitung.....	15
2. Fragestellung.....	17
3. Material und Methoden.....	18
3.1 Material und Geräte.....	18
3.1.1 Geräte	18
3.1.2 Materialien	18
3.2 Einteilung der Versuchsgruppen.....	19
3.3 Probenherstellung	19
3.3.1 Auswahl der Zähne	19
3.3.2 Vorbereitung der Zähne	20
3.3.3 Beschreibung der Endometrieeräte.....	21

3.3.3.1 Raypex 6	21
3.3.3.2 EndoPilot.....	22
3.3.4 Versuchsaufbau	24
3.3.5 Herstellung der Zahnblöcke	27
3.3.6 Aufschleifen der Zahnblöcke.....	27
3.4 Probenauswertung	28
3.4.1 Auflichtmikroskopische Bildherstellung	28
3.4.2 Bestimmung der apikalen Konstriktion	29
3.4.3 Auswertung der Bilddateien	30
3.4.4 Statistische Analyse	33
4. Ergebnisse.....	34
4.1 Breite der apikalen Konstriktion.....	34
4.2 Breite des Foramen apicale.....	35
4.3 Abstand der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale.....	36
4.4 Lage der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion	38
4.5 Lage der Feilenspitze zum anatomischen Foramen	40
4.6 Lage der Feilenspitze im Trefferintervall apikale Konstriktion und Foramen apicale	43
4.7 Korrelation zwischen der Lage der Feilenspitze und der Breite des apikalen Foramens	44
5. Diskussion	45
5.1 Diskussion von Material und Methode.....	45
5.1.1 Diskussion Versuchsaufbau	45
5.1.2 Diskussion der Probenherstellung und Bildauswertung	49
5.2 Diskussion der Ergebnisse (Messgenauigkeit).....	51
5.2.1 EndoPilot ohne rotierendes Messinstrument.....	52
5.2.3 EndoPilot mit rotierendem Messinstrument.....	53
5.2.2 Raypex 6.....	55

5.3. Schlussfolgerungen	56
6. Zusammenfassung	58
7. Literaturverzeichnis.....	60
8. Abkürzungsverzeichnis.....	66
9. Danksagung	67
10. Lebenslauf	68

1. Einleitung

Die Endodontologie befasst sich mit der Anatomie, der Ätiologie und Pathologie, der Prävention und Therapie von Erkrankungen des Endodonts. Der Begriff Endodont umfasst die Zahnpulpa (auch: Zahnmark) und das die Pulpa umgebende Dentin, die gemeinsam entwicklungsgeschichtlich eine anatomisch-funktionelle Einheit bilden (HOFFMANN-AXTHELM 2000).

Erkrankungen der Zahnpulpa können je nach ihrer Ausprägung und Schwere sowie der daraus resultierenden Schmerzsymptomatik in verschiedene therapeutisch relevante Formen eingeteilt werden. Dabei werden eine reversible Pulpitis, eine irreversible Pulpitis, eine Parodontitis apicalis und ein akuter apikaler Abszess voneinander unterschieden (ZERO et al. 2011). Schmelz- oder Dentinsprünge, durch Karies oder Trauma freigelegte Dentinkanälchen oder eine iatrogen eröffnete Pulpakammer können zu einer Verletzung des Pulpa-Dentin-Systems führen (KLIMM 2003). In etwa 95% konnte allerdings dabei eine Karies als Hauptursache für die Erkrankung ausgemacht werden (SCHÄFER 2001).

Das Ziel einer endodontischen Therapie besteht darin, den Erhalt des erkrankten Zahnes bei fortgeschrittener Pulpaerkrankung mittels instrumenteller und chemischer Reinigung des Wurzelkanalsystems zu sichern. Dieses Therapieverfahren, das als Wurzelkanalbehandlung bezeichnet wird, teilt sich in zwei Behandlungsabschnitte auf. Zuerst erfolgt die Wurzelkanalaufbereitung, die sich aus einem instrumentellen Dentinabtrag im Bereich der Wurzelkanalwände und einer Ausformung des Wurzelkanals zusammensetzt. Im zweiten Abschnitt wird die Wurzelkanalfüllung eingebracht, die sich bis zum apikalen Endpunkt der Wurzelkanalaufbereitung erstrecken sollte.

Die Endodontologie gewinnt, entsprechend einem weltweiten Trend in den Industrieländern, als eigene Fachdisziplin innerhalb der Zahnerhaltungskunde immer mehr an Bedeutung. Erkrankungen des Endodonts sind in der Weltbevölkerung weit verbreitet und steigen mit Zunahme des Lebensalters signifikant an (ERIKSEN 1991). So lag in einer Untersuchung von Eriksen et al. (1995) die Häufigkeit für eine apikale Parodontitis in der Altersgruppe von 35-jährigen bei 14%. In der Altersgruppe von ≥ 65 -jährigen bezifferten Allard und Palmqvist die Anzahl mit 72% (ALLARD & PALMQVIST 1986).

Heute fordert der aufgeklärte Patient, bedingt durch eine verbesserte Langzeitprognose von wurzelkanalbehandelten Zähnen und der durch den Erhalt der Zähne verbesserten Lebensqualität, vermehrt endodontische Maßnahmen ein. Die Anzahl der mit den Primär- und Ersatzkassen 2002 in Deutschland abgerechneten Wurzelkanalfüllungen lag bei rund 6.8 Millionen. Während die Anzahl der Wurzelkanalfüllungen im Zeitraum von 1975 bis heute stetig anstieg, sank im gleichen Zeitraum die Anzahl der Extraktionen (HABL 2005). Bereits für das Jahr 2010 stieg die Anzahl der abgerechneten Wurzelkanalfüllungen weiter und erreichte etwa eine Anzahl 7.38 Millionen (WEIßIG 2011).

Unabhängig vom Ausgangsbefund des zu behandelnden Zahnes wird die Langzeitprognose für wurzelkanalbehandelte Zähne zwischen 70 und 95% angegeben. Hierbei lag der Beobachtungszeitraum im Durchschnitt zwischen 1-5 Jahren, wobei auch in Ausnahmefällen Zähne über 17 Jahre beobachtet werden konnten. Die Prognose für Zähne, bei denen eine Revisionsbehandlung, also eine erneute Wurzelkanalbehandlung, erforderlich ist, wird allerdings nur mit 50 - 70% beziffert (DGZ 2001, GORNI & GAGLIANI 2004). Die Einflussgrößen und Faktoren auf die Langzeitprognose sind sehr heterogen. Neben dem Grad und der Ausdehnung der Entzündung spielen sowohl die Dichte der späteren Wurzelkanalfüllung, die Aufbereitungstechnik und die anschließende koronale Versorgung des Zahnes eine große Rolle (RICUCCI 1998, RICUCCI et al. 2011). Für die Prognose als maßgeblich entscheidend wird allerdings die Aufbereitungslänge und damit verbunden die Lage der Wurzelfüllung innerhalb der anatomischen Strukturen des Wurzelkanals diskutiert (RICUCCI & LANGELAND 1998, SCHAEFFER et al. 2005, LIANG et al. 2012). Hierbei steht die mögliche Über- bzw. Unterinstrumentierung des Wurzelkanals im Vordergrund. Wird die Arbeitslänge und damit auch die Eindringtiefe des Wurzelkanalinstruments zu gering gewählt, verbleiben (bei einer Nekrose der Pulpa) Bakterien im apikalen Bereich des Wurzelkanals, wo ihnen ein langfristiges Überleben gesichert ist (RAMACHANDRAN NAIR 1987). Bei einer Überinstrumentierung werden Bakterien und infiziertes Gewebe in den periapikalen Bereich verbracht, die dort den Ausheilungsprozess und damit die vollständige Regeneration der Gewebe verhindern können (RICUCCI & LANGELAND 1998, HELLWIG 2003).

Für die genaue Festlegung der Aufbereitungslänge stehen dem Behandler verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, unter denen sich in den letzten Jahrzehnten die Endometrie als präziseste Bestimmungsmethode herausgestellt hat.

1.1 Aufbau und Anatomie des Endodonts

1.1.1 Aufbau des Dentins

Das Dentin stellt die Hauptmasse des Zahnes dar und umschließt mit seiner Struktur die Pulpa. Dentin wird während der gesamten Lebensdauer der Zahnpulpa durch Odontoblasten neu gebildet. Es ist ein vitales Gewebe, das wie ein Puffer unter dem härteren und weniger elastischen Schmelzmantel liegt. Die Strukturmerkmale des mineralisierten Dentins bilden die Odontoblasten mit ihren Fortsätzen, die Dentinkanälchen mit dem periodontoblastischen Raum, das peritubuläre Dentin, das intertubuläre Dentin und das Manteldentin (Abb. 1).

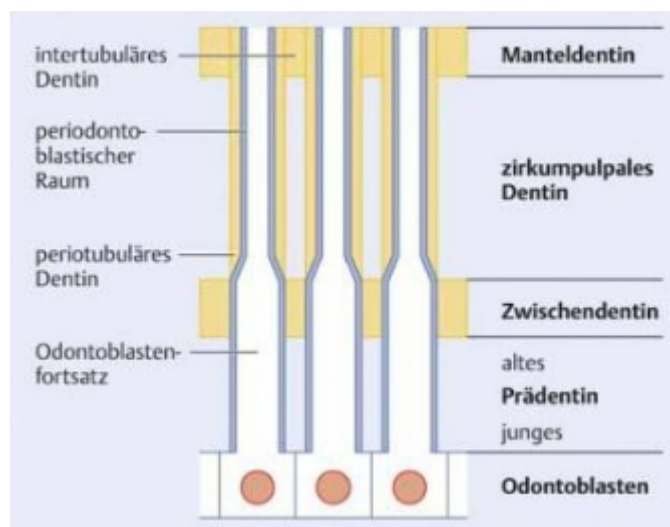


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Dentinstruktur (HÜLSMANN 2008)

Die Odontoblasten liegen an der Peripherie der Pulpa und versorgen den Dentinmantel physiologisch. Mit ihren Fortsätzen durchziehen sie das gesamte Dentin beginnend vom Prädentin bis hin zur äußeren Dentinegrenze. Der Durchmesser der Odontoblastenfortsätze variiert und ist zwischen 0,5 - 5 μm groß. Seitenäste verlaufen entlang der Längsachse und können mit den Nachbarästen in Kontakt stehen. Das Zytoplasma ist von Filamenten und Mikrovilli durchzogen, die Mitochondrien enthalten.

Die Dentinkanälchen, auch Dentintubuli genannt, durchziehen das mineralisierte Dentin. Sie beinhalten die Odontoblastenfortsätze sowie Dentinliquor und werden vom peritubulären Dentin umgeben. Die Pulpa steht mit den Dentinkanälchen in direkter Verbindung, allerdings besteht keine Durchgängigkeit auf der Strecke vom

äußeren Dentinmantel bis in die Pulpa. Diese Beschaffenheit verhindert die direkte Kontamination der Pulpa mit möglichen schädigenden Agenzien und bildet somit eine natürliche Barriere.

Das peritubuläre Dentin ist sehr gut mineralisiert und röntgenopak. Es fehlt im Bereich des Prädentins. Die Dicke dieser Schicht ist von der Lokalisation und vom Alter des Individuums abhängig. Das intertubuläre Dentin ummantelt das peritubuläre Dentin und kleidet die Zwischenräume aus. Als äußerste parallele Schicht zum Zahnschmelz liegt das Manteldentin mit einer Dicke von 10 – 30 µm.

Aufgrund des engen Zusammenhanges zwischen dem Dentin und der Pulpa ist es nicht verwunderlich, dass beide gemeinsam auf äußere Einflüsse reagieren und somit unter dem Begriff Endodontium zusammengefasst werden (SCHROEDER 2000, HÜLSMANN 2008).

1.1.2 Aufbau der Pulpa

Die Pulpakammer, die allseits durch das Dentin begrenzt ist, wird von der Zahnpulpa, einem stark vaskularisierten und spezialisierten Bindegewebe ausgefüllt. Sie entwickelt sich aus der früheren Zahnpapille. Topographisch kann die Kronenpulpa von der Pulpa der Wurzelkanäle unterschieden werden. In Richtung der Höckerspitzen dehnt sich die Kronenpulpa in Form von Pulpahörnern aus. Die Wurzelkanäle sind in ihrem Verlauf, in ihrer Gestaltung und ihrer Anzahl sehr heterogen. Die Verbindung zum parodontalen Ligament bildet das Foramen apicale (auch Foramen major; Abb. 2). Seitenkanälchen, sogenannte akzessorische Wurzelkanäle, finden sich an ca. 70% der untersuchten Wurzelkanäle. Ihre Erscheinung und Lokalisation ist sehr unterschiedlich. So ist ihre Häufigkeit im unteren Wurzelkanaldrittel mehr als zehnmals größer als im koronalen Bereich. Zu den Strukturkomponenten der Pulpa werden Odontoblasten, Fibroblasten, Ersatzzellen und Abwehrzellen gezählt.

Die Hauptgefäße der Pulpa sorgen für eine starke Vaskularisation und gelangen über das Foramen apicale in das Gewebe. Mit ihnen ziehen Lymphgefäße und Nervenfasern in die Pulpakammer. Das Pulpagewebe ist einheitlich strukturiert und zonenartig aufgebaut. Die Funktion der Pulpa lässt sich aus dem Aufbau ableiten. So dient sie der Nährstoffversorgung der Odontoblasten, die für die Neubildung des Dentins verantwortlich sind. Durch die Anwesenheit von Abwehrzellen und einem dichten Gefäßnetz kann die Vitalerhaltung der Odontoblasten auch bei Infektionen

aufrechterhalten werden. Das Nervenfasergeflecht sorgt für eine Schmerzempfindung des Dentins (SCHROEDER 2000).

1.2. Morphologie der apikalen Region

Die apikale Region eines Zahnes bildet das apikale Parodont, das aus dem Wurzelzement, dem parodontalen Ligament und dem Alveolarknochen zusammengesetzt ist. Das Wurzelzement überzieht den gesamten Bereich der Wurzelzementoberfläche sowie einen kleinen Teil der Wurzelkanalinnenwand. In ihm verankern sich die desmodontalen Fasern, womit es funktionell zum Zahnhalteapparat gerechnet wird. Die Zusammensetzung ist unterschiedlich und führt zur Unterscheidung von azellulär-afibrillärem, zellulär-fibrillärem und azellulär-fibrillärem Zement. Ziel einer endodontischen Behandlung ist es unter anderem, die Regeneration des Zements herbeizuführen. Das parodontale Ligament besteht aus kollagenen Faserbündeln, die den Raum zwischen Wurzelzement und Alveolarknochen ausfüllen. Seine Breite variiert zwischen 0,1 - 0,3 mm. Seine Hauptfunktionen sind in der Regulierung der Druckbelastung, in der Befestigung des Zahnes in der Alveole, in der Tastfunktion und in der Zementneubildung zu sehen. Der Alveolarknochen unterliegt einer ständigen Resorption und Neubildung und ist damit ein sehr vitales Gewebe. Er setzt sich aus Osteoblasten, Osteoklasten, Zementoblasten, Fibroblasten und unspezifischen Zellen der Abwehr zusammen. Auf äußere Stimuli kann der Alveolarknochen sehr schnell reagieren. Seine Hauptfunktion dient der Befestigung der desmodontalen Fasern.

Die natürliche Verbindung der Pulpa mit dem apikalen Parodont bildet das Foramen apicale bzw. Foramen major, das zusammen mit den akzessorischen Seitenkanälchen im Bereich des apikalen Deltas der Zahnwurzel zu finden ist. Der Durchmesser der Öffnung, über den das Pulpa-Dentin-System mit dem periradikulären Gewebe kommuniziert, kann 0,06 bis 0,08 mm betragen und bildet in der Regel die Form eines Trichters. Als wichtige Information für den Behandler gilt die Tatsache, dass in über 90% der Fälle der röntgenologisch tiefste Punkt der Zahnwurzel nicht mit dem Foramen apicale übereinstimmt (PINEDA & KUTTLER 1972). Dieses ist sehr häufig koronal des röntgenologischen Apex zu finden und kann sich auch seitlich zur Oberfläche der Zahnwurzel öffnen. Des Weiteren besteht in über

60% keine Übereinstimmung zum anatomischen Apex des Zahnes (DUMMER et al. 1984). Die Art und Lage des Foramen apicale ist sowohl vom Alter des Individuums als auch vom Zahntyp abhängig (STEIN & CORCORAN 1990, BLASKOVIC-SUBAT et al. 1992).

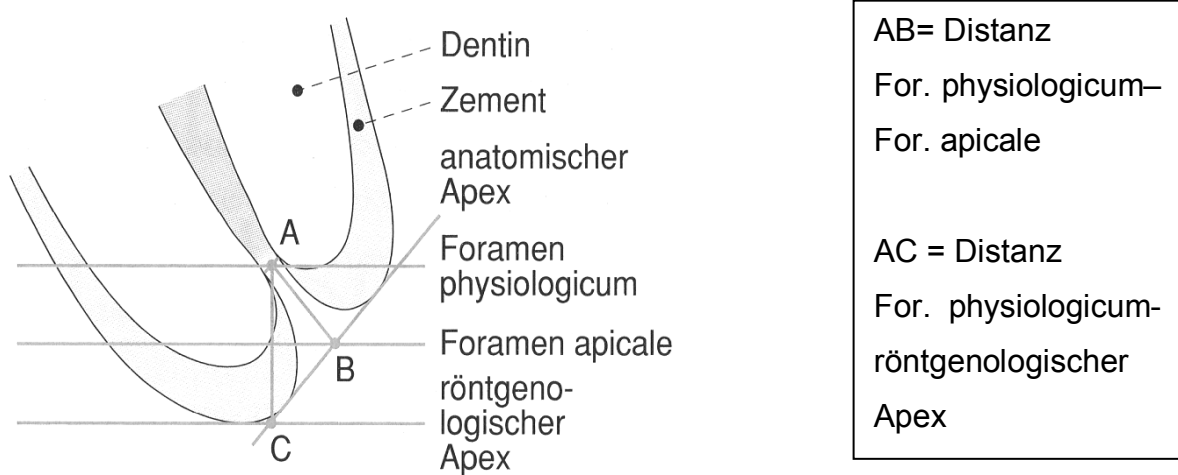


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Topographie der Wurzelspitze (HELLWIG 2003)

Der Hauptkanal verjüngt sich meist an der Wurzelspitze. Die engste Stelle des Wurzelkanals wird durch das Foramen physiologicum, die sogenannte apikale Konstriktion (auch Foramen minor genannt), gebildet (Abb. 2). Dies ist der Bereich, an dem das Wurzel dentin in das Wurzelzement und das Pulpagewebe in ein pulpo - parodontales Mischgewebe übergeht, das zur vollständigen Regeneration befähigt ist (HÜLSMANN 2007). Frühere Annahmen gingen davon aus, dass es sich hierbei um eine punktförmige, singuläre Konstriktion handelt, die somit das Ende des Wurzelkanals markierte (KUTTLER 1955, 1958, RICUCCI 1998). Allerdings kann die Lage der Dentin-Zement-Grenze schon auf der gegenüberliegenden Seite des Wurzelkanals um mehr als 3 mm variieren (GUTIERREZ & AGUAYO 1995, PONCE & VILAR FERNANDEZ 2003). Morphologische Untersuchungen beschreiben eine heterogene Form der apikalen Konstriktion, die in über 50% von einem punktförmigen Aussehen abweichen kann (DUMMER et al. 1984). So kann bis zu 30% von keiner eindeutigen Konstriktion ausgegangen werden. In 19% der Fälle handelt es sich um eine multiple Konstriktionsform (Abb. 3).

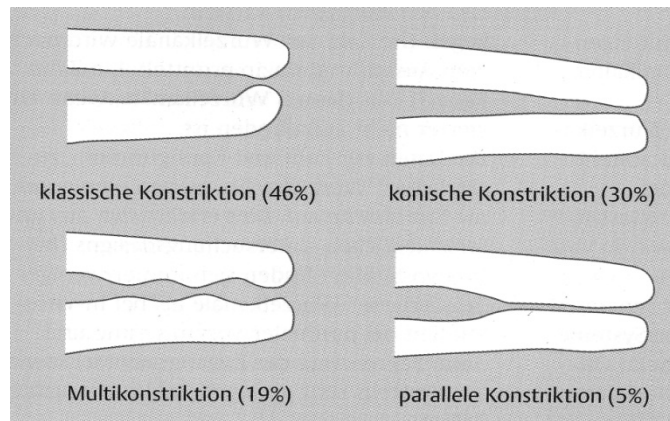


Abbildung 3: Morphologie der apikalen Konstriktion (DUMMER et al. 1984)

Die jeweilige Distanz der beschriebenen Strukturen ist unterschiedlich groß und verändert sich mit zunehmendem Lebensalter und mit dem Zahntyp. Der Abstand zwischen physiologischem und röntgenologischem Apex wird in der Literatur mit 0,5 bis 2 mm angegeben (Weine 1982; Dummer et al. 1984; Hellwig et al. 2003). Ältere Studien zeigen, dass zu über 90% mit einer Entfernung zwischen 0,5 und 1 mm gerechnet werden kann (McDonald 1992). Die Distanz zwischen dem anatomischen Apex und der apikalen Konstriktion beträgt in über 50 bis 98% bis zu 3 mm (KUTTLER 1955, HÜLSMANN 2008). Die Distanz vom Foramen apicale zum anatomischen Apex beträgt 0,3 bis 0,6 mm (GREEN 1956, VANDE VOORDE & BJORND AHL 1969). Für die Distanz apikale Konstriktion – Foramen apicale lassen sich in der Literatur zur morphologischen Beschreibung des Zahnes Werte zwischen 0,5 bis 0,8mm finden.

1.3. Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung

Der Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung konnte Ende November 2003 auf dem Kongress der europäischen Gesellschaft für Endodontologie in London länderübergreifend definiert werden (ESE 2004). Diese Festlegung wurde 2007 in einer gemeinsamen Stellungnahme der DGZ und DGZMK erneut bestätigt.

Die Therapie beginnt mit der Präparation des zu behandelnden Zahnes. Hierbei wird die kariöse Läsion oder eine defekte Restauration entfernt und anschließend der Zahn erneut auf seine Erhaltungswürdigkeit hin überprüft. Danach kann eine Isolierung des Zahnes von den Nachbarzähnen und der Mundhöhle mittels eines Spanngummis erfolgen. Erst jetzt wird die Zugangskavität präpariert. Für diesen

Schritt wird das Pulpakammerdach vollständig abgetragen, wobei gesunde Restzahnschubstanz größtmöglich geschont wird. Wurzelkanalinstrumente sollten jetzt möglichst gradlinig in den Kanal einzubringen sein. Nun erfolgt die Bestimmung der Arbeitslänge, wobei für den Behandler verschiedene Techniken zur Verfügung stehen. Nach genauer Festlegung der Arbeitslänge kann das Wurzelkanalsystem präpariert werden. Der Behandler kann zwischen einer Handaufbereitungsmethode und verschiedenen maschinellen Verfahren auswählen.

Neben einer mechanischen Aufbereitung wird der Zahn auch mit Hilfe einer chemischen Aufbereitung von Bakterien und Gewebsresten gereinigt. Mit der Wurzelkanalbehandlung soll eine möglichst vollständige Entfernung des entzündeten, infizierten oder nekrotischen Pulpagewebes erfolgen, da sich sonst Bakterien, die in dem häufig sehr komplexen Wurzelkanalsystem (gerade auch gekrümmter Kanäle) verblieben sind, wieder vermehren und möglicherweise auch nach apikal ausbreiten können. Je nach Ausgangsbefund wird eine medikamentöse, desinfizierende Zwischeneinlage empfohlen, bevor abschließend die definitive Wurzelkanalfüllung erfolgen kann.

1.4 Die Arbeitslänge in der Endodontie

1.4.1 Bedeutung der Arbeitslänge in der Endodontie

Das Ziel jeder endodontischen Behandlung ist der dauerhafte Erhalt des erkrankten Zahnes. Als wichtige Voraussetzung für eine gute Langzeitprognose gelten die vollständige Entfernung von infiziertem Gewebe, die chemische Desinfektion und die anschließende dichte Obturation des Wurzelkanals. Der Begriff „endodontische Arbeitslänge“ beschreibt die Distanz zwischen einem koronalen Referenzpunkt des Zahnes (z.B. der Schneidekante oder Höckerspitze) und dem vom Behandler gewählten apikalen Endpunkt der Wurzelkanalpräparation und -füllung. Wird die Arbeitslänge zu lang und damit weiter apikal als erforderlich gewählt, kommt es zur Überinstrumentierung und damit zur Traumatisierung und möglicherweise Kontamination des periapikalen Gewebes (ABBOTT 1994). Persistierende Beschwerden und eine reduzierte Erfolgsprognose von bis zu 20% können die Folge sein (RICUCCI & LANGELAND 1998). Eine zu kurz gewählte Arbeitslänge führt dazu,

dass infiziertes Gewebe im Wurzelkanal verbleibt und für eine permanente Aufrechterhaltung der Infektion in der apikalen Region verantwortlich ist (NAIR et al. 2005). Dieser Mechanismus kann nicht durch eine dichte Obturation verhindert werden und führt ggf. zu einem erneuten Aufflammen der Infektion.

1.4.2. Definition und Festlegung der Arbeitslänge

Als adäquater (apikaler) Endpunkt für eine mechanische und chemische Aufbereitung sowie für eine dichte Obturation des Wurzelkanals wird von vielen Autoren und den nationalen und internationalen Gesellschaften für Zahnheilkunde das Foramen physiologicum angegeben (DGZ 2000, DGZ 2005, ENDODONTOLOGIE 2006). Es minimiert als engster Punkt im Wurzelkanal das Risiko, infiziertes Dentindebris (Dentinspäne, Gewebereste) und Spülflüssigkeit in das periapikale Gewebe zu transportieren (HÜLSMANN & HAHN 2000). Es vereinfacht die Schaffung eines apikalen Stopps, der ein Überpressen der Wurzelfüllung verhindert und Irritationen auf Fremdgewebe minimiert (GULDENER 1993).

1.5 Die Arbeitslängenbestimmung

Für die Bestimmung der apikalen Arbeitslänge stehen dem Behandler verschiedene technische Möglichkeiten zur Verfügung. Diese unterscheiden sich in Bezug auf ihre Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit sowie in ihrer Handhabbarkeit.

1.5.1 Digital-taktile Arbeitslängenbestimmung

Diese Methode zur Bestimmung der Arbeitslänge verlangt ein hohes Maß an Erfahrung und Arbeitsroutine von dem jeweiligen Behandler. So spielen auch die Länge und Breite des Wurzelkanals sowie seine Anatomie (z.B. Krümmungen und Unebenheiten der Kanalwand) eine wesentliche Rolle für das Aufspüren des Foramen physiologicums. Der Einfluss vieler variabler Faktoren führt zu einer Messungenauigkeit, die mit 32 - 75% angegeben wird (HÜLSMANN 2008). Als alleinige Methode zur Bestimmung des apikalen Endpunktes ist dieses Verfahren damit obsolet (DGZMK 2004).

1.5.2 Röntgenologische Arbeitslängenbestimmung

Obwohl die röntgenologische Arbeitslängenbestimmung mit einer hohen Messungengenauigkeit verbunden ist, gilt sie immer noch als Standardtechnik zur Ermittlung der Arbeitslänge (VANDE VOORDE & BJORND AHL 1969). Für diese Methode ist die Anfertigung von mindestens drei Röntgenbildern notwendig. Als erste Aufnahme wird ein präoperatives diagnostisches Röntgenbild angefertigt, das der approximativen Längenbestimmung des Zahnes dient. Ein Aufbereitungsinstrument (z.B. eine Stahlfeile) geeigneter ISO-Größe wird auf eine vorläufige Aufbereitungslänge eingestellt (Zahnlänge minus 2 mm Sicherheitsabstand = approximative Aufbereitungslänge). Anschließend wird der Wurzelkanal mit diesem Instrument sondiert.

Die zweite Zahnfilmaufnahme ist die sogenannte Röntgenmessaufnahme, die mit einer zuvor in den Wurzelkanal eingebrachten Feile durchgeführt wird. Dieses verwendete Instrument sollte eine Mindestgröße von ISO 15 aufweisen, damit die Spitze des Instruments auf dem Röntgenbild sicher erkennbar ist. Das Röntgenbild zeigt die Relation der Instrumentenspitze zum röntgenologischen Apex. Die Bestimmung der tatsächlichen Zahnlänge kann nun mit Hilfe eines Dreisatzes berechnet werden. Dafür wird die Distanz vom koronalen Referenzpunkt bis zur Instrumentenspitze bestimmt (röntgenologische Instrumentenlänge) und nochmals die röntgenologische Zahnlänge vermessen. Die eingestellte Instrumentenlänge ist bekannt. Somit ergibt sich die folgende Verhältnisgleichung:

$$\frac{\text{Eingest. Instrumentenlänge} \times \text{röntg. Zahnlänge}}{\text{röntg. Instrumentenlänge}} = \text{Tatsächliche Zahnlänge}$$

Da es sich bei dem röntgenologischen Apex um den am weitesten apikal liegenden Punkt im Röntgenbild handelt, der keine direkte Beziehung zu einem anatomischen Punkt besitzt, scheint es nicht verwunderlich, dass je nach Röntgeneinstellung die Lage des röntgenologischen Apex variiert. Auch kann die apikale Konstriktion in der Aufnahme nicht dargestellt werden, sodass der Bereich des Foramen physiologicums (an dem die Wurzelkanalaufbereitung enden soll) abgeschätzt werden muss. Hierfür wird von der rechnerisch ermittelten wahren Zahnlänge 0,5 - 1,0 mm subtrahiert, um die Arbeitslänge für die für die Wurzelkanalaufbereitung einzusetzenden Instrumente

zu erhalten. Ältere Studien zeigen, dass dies der Mittelwert der Distanz zwischen röntgenologischem Apex und dem physiologischen Foramen ist (McDONALD 1992). In einer Untersuchung zur Interpretation der röntgenologischen Arbeitslängenbestimmung betrug die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Untersuchern bei Korrekturen von weniger als 0,5 mm 67.91%. Bei Korrekturen von mehr als 1 mm betrug die Übereinstimmung lediglich 14.33% (COX et al. 1991). Allerdings konnten viele Langzeitstudien zeigen, dass die höchste Erfolgsquote für eine Wurzelkanalfüllung bei einem Abstand von 0 – 2 mm vom röntgenologischen Apex vorliegt (HÜLSMANN 2008). Weitere Untersuchungen konnten belegen, dass die röntgenologische Ermittlung der Arbeitslänge in 50 - 80% der Fälle den Bereich der apikalen Konstriktion erreicht (PALMER et al. 1971, OLSON et al. 1991).

Nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung wird ein Kontrollröntgenbild als dritte Aufnahme angefertigt. Diese Aufnahme dient zur Kontrolle auf eine suffiziente, den Richtlinien entsprechende Wurzelkanalfüllung. Hierbei wird besonders die Lage der Wurzelkanalfüllung in Relation zu den anatomischen Zahnstrukturen beurteilt und der Kanal auf eine homogene und damit röntgenologisch dichte Füllung überprüft.

In vielen Fällen ist es allerdings notwendig, im Ablauf der endodontischen Behandlung weitere Bilder anzufertigen. Hierbei spielen schwierige anatomische Kanalverläufe eine wichtige Rolle. Technische Fehler, z.B. eine Instrumentenfraktur, oder auch die fehlende Erfahrung des Behandlers (beispielsweise bei der Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle), können somit im Behandlungsablauf die Anfertigung weiterer röntgenologischer Aufnahmen erforderlich machen.

Alle benötigten Röntgenbilder sollten in der Paralleltechnik hergestellt werden, um eine möglichst maßstabsgetreue Wiedergabe zu erzielen. Das Objekt und der Aufnahmefilm werden parallel zueinander eingestellt, der Zentralstrahl verläuft senkrecht zu beiden. Für diese Einstellung kann ein spezieller Zahnfilmhalter zu Hilfe genommen werden, der die Einstellung des Aufnahmefilms in vivo erleichtert. Wird auf eine andere Aufnahmetechnik ausgewichen, so können Bildvergrößerungen von 5 bis 7% resultieren. Eine weitere Schwierigkeit für die Arbeitslängenbestimmung stellen Wurzelkanäle dar, die im Strahlengang hintereinander liegen. In diesen Fällen muss auf eine mesial- oder distal- exzentrische Aufnahmetechnik ausgewichen werden. Sollte mehr als nur ein Wurzelkanalinstrument verwendet werden, müssen diese radiologisch gut voneinander differenzierbar sein. Die Überlagerung von anatomischen Strukturen, z.B. der Jochbogen im Oberkiefer oder ein fehlerhafter

Umgang mit dem Röntgenfilm, nehmen erheblichen Einfluss auf die Bildqualität und können so zu Fehlinterpretationen führen. In einigen Fällen ist dann die Neuanfertigung des Röntgenbildes unumgänglich.

Als weiterer Nachteil der röntgenologischen Arbeitslängenbestimmung ist die Strahlenbelastung des Patienten zu diskutieren. Mehr als die Hälfte der jährlichen Strahlenbelastung von Personen in Deutschland entsteht durch medizinische Diagnostikmethoden oder Therapieverfahren. Dabei kann von einer zusätzlichen Belastung von 2,0 mSV ausgegangen werden. Etwa 33% der Röntgenaufnahmen in der medizinischen Diagnostik entstehen in der Zahnmedizin. Hierbei sei allerdings auch erwähnt, dass die Effektivdosis in der Zahnmedizin im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren in der Medizin zu vernachlässigen ist.

1.5.3 Endometrische Arbeitslängenbestimmung

1.5.3.1 Historischer Rückblick

Die Grundlagen für eine endometrische Arbeitslängenbestimmung konnten bereits im Jahr 1942 gelegt werden. Hier postulierte *Suzuki 1942* in seiner Arbeit einen konstanten Widerstand von 6,5 k Ω zwischen einem in den Wurzelkanal verbrachten Instrument am Foramen apicale und einer Mundschleimhautelektrode. Die zur Längenbestimmung verwendeten Wurzelkanalinstrumente leiten den Strom an ihrer gesamten Oberfläche. Der ermittelte Widerstand war sowohl vom Zahntyp, vom Patientenalter als auch vom Kanalinhalt unabhängig (SUZUKI 1942) (siehe Abb.4).

Von diesem Zeitpunkt an sollten allerdings weitere 20 Jahre vergehen, bis das erste Endometriegerät, das sogenannte „Endometer“ als ein einfaches Widerstandsmessgerät, entwickelt wurde (SUNADA 1962). Die Messung erfolgte innerhalb eines Gleichstromkreises. Der im Wurzelkanalverlauf hohe Widerstand fiel bei einem Kontakt des Wurzelkanalinstruments mit dem Desmodont auf 6,5 k Ω ab. Um einen verfrühten Schluss des Stromkreises zu verhindern, musste der Wurzelkanal zuvor intensiv getrocknet werden. Blut, Gewebeflüssigkeit oder auch Spülflüssigkeit führten also - bedingt durch einen Kurzschlussstrom - zu erheblichen Fehlmessungen (KOBAYASHI 1995). Ein weiteres Problem stellten die wechselnde Ionenkonzentration und eine Elektronendepolarisation des Messinstruments in verschiedenen Flüssigkeiten an der Instrumentenspitze dar. Der so entstandene instabile Stromkreis verhinderte die Widerstandsmessung (HÖR 2005). Ein nicht abgeschlossenes

Wurzelwachstum oder auch das Fehlen des Desmodonts an der Wurzelspitze sind weitere Faktoren, die eine korrekte Messung verhinderten. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Treffsicherheit für das Erreichen des Referenzpunktes ± 0.5 mm aufgrund der hohen Anzahl von Störfaktoren im Maximalfall 50% betrug.

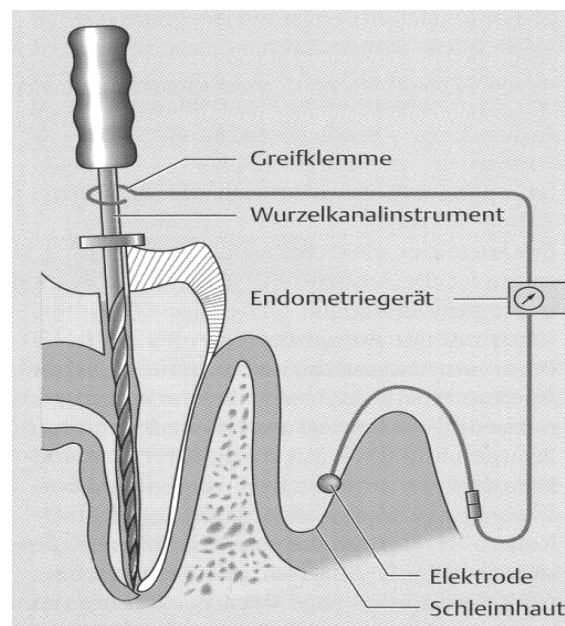


Abbildung 4: Schematische Darstellung der elektronischen Arbeitslängenbestimmung (HÜLSMANN 2008)

Die zweite Generation der Endometriegeräte wurde mit dem Ziel entwickelt, den durch die Elektrodenpolarisation bedingten instabilen Stromkreis zu beseitigen. So wechselte Suda 1969 den Gleichstromkreis gegen einen Wechselstromkreis aus. Diese Veränderung beruhte auf dem Wissen, dass mit Zunahme der Frequenz Polarisationsprozesse an der Messinstrumentenspitze beseitigt werden können (HÖR 2001). Bei Erreichen eines zuvor festgelegten Gewebeimpedanzwerts konnte so das Ende des Wurzelkanals angegeben werden. Flüssigkeiten im Wurzelkanal nahmen auch hier Einfluss auf die Messung, sodass sich der gemessene Wert aus der Elektrodenimpedanz und der Gewebeimpedanz zusammensetzte (GORDON & CHANDLER 2004). Dabei ist unter dem Begriff Elektrodenimpedanz der Wechselstromwiderstand zu verstehen, der an der Instrumentenspitze im Zusammenspiel mit Elektrolyten entsteht. Die Gewebeimpedanz ist der Wechselstromwiderstand zwischen dem Desmodont und der Mundschleimhaut (VOß 1989). Spätere Modifikationen konnten die Elektrodenimpedanz verringern,

verhinderten aber aufgrund ihrer Bauweise die Benutzbarkeit für viele Wurzelkanäle (PAHNCKE et al. 1986, McDONALD 1992).

Die Messgenauigkeit variierte stark und wurde mit 15 - 93,4% beziffert (CHUNN et al. 1981, McDONALD & HOVLAND 1990). Kurze Zeit später konnte die Annahme von einem konstanten Gewebewiderstand von 6,5 k Ω widerlegt werden (HUANG 1987).

Die dritte Generation der Endometriegeräte beruhte auf dem sogenannten Differenzverfahren. Hierbei stellte man die Elektrodenimpedanz in den Vordergrund, die bei Verwendung von zwei Frequenzen aus der Gesamtimpedanz berechenbar wurde. Eine im Wurzelkanal sehr hohe aber auch konstante Elektrodenimpedanz, bedingt durch eine kleine freie Oberfläche am Messinstrument, fiel bei Vorschub aus dem Wurzelkanal ab. Diese Methode ermöglichte jetzt zum ersten Mal eine Arbeitslängenbestimmung in Anwesenheit von Flüssigkeiten (KOBAYASHI 1994). Einen erheblichen Nachteil stellte die notwendige Kalibrierung der Geräte kurz vor dem Erreichen des Referenzpunktes dar. Pathologische Gewebeveränderungen im Wurzelkanal oder im Bereich des apikalen Desmodonts konnten die Messungen nicht beeinflussen (MAYEDA et al. 1993). Auch die Wahl des Materials für das Messinstrument veränderte die Messung zur Arbeitslängenbestimmung nicht (THOMAS et al. 2003).

Mit der Entwicklung dieser Endometriegeräte war es nun gelungen, sichere und reproduzierbare Ergebnisse bei der Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge zu erzielen (FELIPPE & SOARES 1994, LAUPER et al. 1996).

1.5.3.2 Heutiger Stand der Endometrie

Die vierte Generation der Messgeräte ist eine Weiterentwicklung und Modifikation der zuvor auf dem Markt befindlichen Geräte, bei denen die Differenzmethode zur Ermittlung der Elektrodenimpedanz durch die Quotientenmethode ersetzt wurde (KOBAYASHI 1994). Bei diesem Verfahren wird durch zwei verschiedene Frequenzen die zugehörige Impedanz ermittelt und aus beiden Werten der Quotient gebildet. Durch die Verwendung von Mikroprozessoren ist eine Kalibrierung der Geräte nicht mehr notwendig. Da der apikale Referenzpunkt für die Arbeitslänge nun abhängig von der Dentinleitfähigkeit und damit unabhängig vom Desmodont als Referenzgewebe errechnet wird, kann so mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Bereich zwischen dem Foramen physiologicum und dem Foramen apicale ermittelt werden. Die Weiterverbesserung der Endometriegeräte und die daraus resultierende

exaktere Festlegung des Referenzpunktes erfolgte durch eine Gerätekalibrierung an 300 extrahierten Zähnen z.B. für das Endometriegerät Raypex 5 (VDW, München, Deutschland). Das so optimierte Gerät konnte in einer Untersuchung den Bereich zwischen dem Foramen physiologicum und dem Foramen apicale mit einer Messgenauigkeit von 95% detektieren (HÖR 2006). Eine noch exaktere Ermittlung der apikalen Konstriktion ist allerdings auch mit dieser Generation von Endometriegeräten nicht möglich, sodass lediglich die hieraus resultierende Messungenauigkeit in einem sogenannten Trefferintervall „apikale Konstriktion - Foramen apicale“ eingegrenzt werden kann. Elektrolyte oder Restgewebe nahmen keinen großen Einfluss auf die Messung.

Raypex 6 (VDW, München, Deutschland) ist das zurzeit neueste manuelle Endometriegerät der Firma VDW und eine Weiterentwicklung des Vorgängers Raypex 5. Es erfolgte eine Modifikation der visuellen und akustischen Darstellung der apikalen Region, allerdings wurde keine Veränderung innerhalb des Messverfahrens vorgenommen.

1.6 Die Kombination von Endometrie und maschineller Aufbereitung

Um den derzeitigen Anforderungen an eine Wurzelkanalbehandlung gerecht zu werden, konnten bis heute eine Vielzahl von mechanischen Arbeitsinstrumenten für die Bearbeitung des Wurzelkanals entwickelt werden. Die Entdeckung und Weiterentwicklung von maschinellen Arbeitsinstrumenten für die Wurzelkanalaufbereitung begann bereits am Anfang des 20. Jahrhunderts und hält bis heute ununterbrochen an. Die zurzeit am häufigsten verwendeten Geräte arbeiten mit einem vollrotierenden System und mit Nickel-Titan-Instrumenten. Als Aufbereitungstechnik kann vom Behandler je nach Herstellersystem zwischen der Crown-Down-Technik und der Single-Length-Technik gewählt werden. Bei der Crown-Down-Technik handelt es sich um ein Verfahren, bei dem sich der Anwender mit Größenzunahme des Instruments vom Kanaleingang beginnend dem apikalen Referenzpunkt annähert. Hierbei wird also zunächst der koronale Anteil des Kanals erweitert, bevor die apikale Region instrumentiert werden kann. Bei der Single-Length-Technik werden bereits die ersten Bearbeitungsinstrumente bis zum apikalen Referenzpunkt in den Wurzelkanal eingeführt und die Seitenwände bearbeitet.

Neben der Gefahr der Feilenfraktur steht bei dieser Methode besonders der Verlust der Arbeitslänge im Mittelpunkt der Diskussion (SCHÄFER 1999). Auch das Instrumentieren über das Foramen apicale hinaus mit einer möglichen Verletzung der Fasern des Desmodontalspalts und ggf. auch des Knochens, kann häufig beobachtet werden. Modifikationen, z.B. durch eine Drehmomentbegrenzung, verringern effektiv die Frakturgefahr (TULUS 2002).

Um die Arbeitslänge während der maschinellen Aufbereitung konstant zu halten, kombinierte man diese mit der elektrometrischen Längenbestimmung. Das erste Gerät, das diese Kombination aus zwei Funktionen vereinte, war das 1997 entwickelte Tri Auto ZX-Winkelstück (J. Morita Europe GmbH, Dietzenbach, Deutschland). Studien konnten belegen, dass je nach Voreinstellung des apikalen Referenzpunktes die rotierend gemessene Aufbereitungslänge entweder kürzer oder gleich der gemessenen Arbeitslänge im ruhenden Instrumentenzustand ist (CAMPBELL et al. 1998). Weitere Untersuchungen konnten eine sichere und reproduzierbare Arbeitslängenbestimmung mit dem Kombinationsgerät zeigen, wenn vom Behandler zuvor eine definierte Voreinstellung gewählt wurde (GAMBAL 2003). In einer neueren Studie verglichen die Autoren das Root ZX II (J. Morita USA, Irvine, Kalifornien (USA)), ein weiteres auf dem Markt befindliches Kombinationsgerät, mit dem Tri Auto ZX-Winkelstück. Hier sahen die Autoren keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Geräten, postulierten allerdings, dass die Arbeitslängenbestimmung mit rotierenden Instrumenten keine suffiziente Alternative zu der alleinigen manuellen Arbeitslängenbestimmung ist (FELIPPE et al. 2008). Der 2006 entwickelte EndoPilot der Firma Schlumbohm GmbH & Co. KG (Brokstedt, Deutschland) ist das dritte Gerät, das die Kombinationsmöglichkeit von einer elektrometrischen Arbeitslängenkontrolle und einer maschinellen Wurzelkanalaufbereitung verwirklicht. Zu diesem Zeitpunkt liegen keine Studien über den Vergleich des Arbeitslängenmessgeräts Raypex 6 und dem Kombinationsgerät EndoPilot vor.

2. Fragestellung

Bedingt durch eine qualitative Weiterentwicklung der Endometriegeräte und ihrem schnellen und weitestgehend bedenkenlosen Einsatz am Patienten bildet die neueste Generation eine sehr gute Alternative zu der alleinigen röntgenologischen Arbeitslängenbestimmung.

Für die Aufbereitung des Wurzelkanals bis zu seinem apikalen Endpunkt ist die korrekte Arbeitslängenbestimmung eine wesentliche Voraussetzung. Eine Über- oder Unterschreitung der Arbeitslänge würde zu einer erheblichen Verringerung der Erfolgsprognose des betroffenen Zahnes führen.

Das Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich von zwei Endometriegeräten (EndoPilot (Schlumbohm) und Raypex 6) zur Messgenauigkeit bei der Ermittlung der Aufbereitungslänge von Wurzelkanälen. Endometriegeräte kommen bei der Ermittlung der Aufbereitungs- beziehungsweise der Arbeitslänge in der Endodontie zum Einsatz und sollen die apikale Konstriktion (als den Endpunkt der Wurzelkanalaufbereitung) möglichst genau detektieren können.

Beide Geräte arbeiten mit unterschiedlichen Messtechniken, die bis heute nie zuvor in vorliegenden Studien verglichen wurden.

Für die Auswertung der in der Studie hergestellten Zahnproben wurde ein eigens dafür geschriebenes Konsolenprogramm verwendet und ein neuartiges Auswertungsverfahren konstruiert. Hierdurch soll eine möglichst exakte histologische Auswertung der Zahnproben ermöglicht werden und eine sichere Aussage über die Messgenauigkeit der Geräte getroffen werden können.

Des Weiteren werden neben den überprüften Geräten auch verschiedene Messtechniken einander gegenüber gestellt. Hierfür wird das klassische passive Messverfahren mit der aktiven Technik verglichen, bei der der Messvorgang bei gleichzeitiger maschineller Wurzelkanalaufbereitung erfolgt. Diese Technik kann den Behandlungsablauf innerhalb der Wurzelkanalaufbereitung vereinfachen und durch Zeitersparnis ökonomische Vorteile erbringen.

3. Material und Methoden

3.1 Material und Geräte

3.1.1 Geräte

EndoPilot	Schlumbohm GmbH & Co. KG, Brokstedt D
Mikroskop Axiophot 2	Carl Zeiss Microscopy GmbH, Göttingen D
Raypex 6	VDW GmbH, München D
ATM Saphir 360 E Schleifmaschine	ATM GmbH, Mammelzen D

3.1.2 Materialien

Einmalskalpell mit Griff Fig. 10	Martin Gebrüder GmbH & Co KG, Tuttlingen D
Endo-Z HM Bohrer	Dentsply DeTrey GmbH, Hanau D
Gates Bohrer 8 Größe 2/4 32mm	Dentsply DeTrey GmbH, Hanau D
Inject Luer-Lock Spritzen 2ml	B. Braun Melsungen AG, Melsungen D
K- Feile ISO 10	VDW GmbH, München D
KaVoGENTLEpower Lux 25LP	KaVo Dental GmbH, Biberach D
KaVoGENTLEpower Lux 29LP	KaVo Dental GmbH, Biberach D
Technovit 4071 Pulver und Flüssigkeit	Heraeus Kulzer, Wehrheim D
MTwo® Feile 10/.04	VDW GmbH, München D
Navi Tips 29Gauge 21mm	Ultradent, München D
Scaler Ergotouch 969/204SD	Gebrüder Martin GmbH & Co KG, Tuttlingen D
Schleifpapier 500/1200/2400/4000	Strüvers GmbH, Willich D
Smartlite PS Sunset Series 230 V PA	Dentsply DeTrey GmbH, Hanau D
Sonde RS Pluline	Pluradent AG & Co KG, Offenbach D
Sterofundin Ecoflac plus 500ml	B. Braun Melsungen AG, Melsungen D
Tetric EVOFlow A2/A3	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, LI
Wattekügelchen Pluline 3mm D	Pluradent AG & Co KG, Offenbach D

3.2 Einteilung der Versuchsgruppen

Für die vorliegende Untersuchung wurden drei Gruppen gebildet, auf die insgesamt 126 Zähne (unter Berücksichtigung des Zahntyps: Front- und Einzelzähne, Prämolaren, Molaren) randomisiert aufgeteilt wurden. In der ersten Gruppe EH wurde der EndoPilot, als Endometriegerät zur manuellen Arbeitslängenbestimmung, verwendet (Tab. 1). Als Messinstrument diente hierbei eine Kerr-Feile mit der ISO-Größe 10. Der zweiten Versuchsgruppe EM wurde als Messgerät der EndoPilot mit rotierendem Messinstrument zugelost. Hierbei diente eine MTwo®-Feile mit der ISO-Größe 10 als Messinstrument. In der dritten Versuchsgruppe Raypex wurde das Endometriegerät Raypex 6 verwendet. Als Messinstrument diente eine Kerr-Feile mit der ISO-Größe 10. In allen drei Gruppen wurde der visuelle und akustische Stoppunkt entsprechend der jeweiligen Herstellerangaben definiert.

Tabelle 1 Beschreibung der Gruppeneinteilung

Gruppe	Gerät & Hersteller	Messtechnik	Messinstrument	Apikaler Stoppunkt	Zahnzahl
EH	EndoPilot Schlumbohm	Spannungssprungtechnik ohne Rotation am Messinstrument	Kerr-Feile ISO 10	Voreingestellte horizontale Referenzlinie (Wert 36)	43
EM	EndoPilot Schlumbohm	Spannungssprungtechnik mit Rotation am Messinstrument und automatischem Stopp	MTwo®-Feile ISO 10	Voreingestellte horizontale Referenzlinie (Wert 36)	42
Raypex	Raypex 6 VDW	Mehrfrequenztechnik	Kerr-Feile ISO 10	Dritter gelber Balken	41

3.3 Probenherstellung

3.3.1 Auswahl der Zähne

Alle in der Studie verwendeten Zähne (n=126) wurden zuvor aus kieferorthopädischer oder parodontologischer Indikationsstellung entfernt. Die

Lagerung erfolgte direkt im Anschluss an die Extraktion in einer 0,08%igen Thymollösung. Die Oberfläche der Zähne musste karies- und füllungsfrei sein. Ein abgeschlossenes Wurzelwachstum wurde visuell kontrolliert, eine vorhergehende Wurzelkanalbehandlung ausgeschlossen. Um ein repräsentatives Ergebnis für alle Zahntypen zu erstellen, wurden für die Studie mehrwurzelige (Molaren und Prämolaren) und einwurzelige Zähne (Prämolaren, Front- und Eckzähne) ausgewählt. Je 40 wurden randomisiert und auf drei Gruppen verteilt, sodass in jeder Gruppe alle Zahntypen in gleicher Anzahl vorkamen. Zähne, die nach visueller Kontrolle Schmelzrisse oder andere sichtbare Beschädigungen aufwiesen, z.B. Frakturen im Bereich der Zahnwurzel, wurden aussortiert und durch nicht beschädigte Zähne ersetzt.

3.3.2 Vorbereitung der Zähne

Alle in der Studie verwendeten Zähne wurden 24 Stunden vor der Weiterbearbeitung aus der Lösung entnommen und mit einem Handscaler und einem Einmalskalpell von Konkrementen, Geweberesten und Verfärbungen gereinigt. Es wurde streng darauf geachtet, die apikale Region nicht zu verletzen oder anatomische Strukturen am Apex nicht zu verändern. Danach wurden die so gesäuberten Zähne in einen Behälter mit physiologischer Kochsalzlösung umgebettet.

Um eine sichere und an allen verwendeten Zähnen reproduzierbare Bestimmung eines koronalen Referenzpunktes zu gewährleisten, wurde die Zahnkrone entfernt. Dies erfolgte mittels eines blau beringten Diamanten zirka 2 – 3 mm oberhalb der Schmelz-Zement-Grenze. Die Schnittfläche wurde dabei senkrecht zur Zahnachse ausgerichtet (Abb. 5). Mit einem Schleifpapier der Körnung P2400 erfolgte die anschließende Glättung der bearbeiteten Fläche.

Alle Zähne, deren Pulpakavum nach Zahnkronenentfernung noch nicht eröffnet waren, wurden mit einem zylindrischen, blau beringten Diamanten trepaniert. Überstehende Reste des Pulpakammerdachs konnten mit einem Endo-Z-Bohrer vorsichtig entfernt werden. Es erfolgte eine visuelle Kontrolle, ob die Kanaleingänge für Instrumente frei und gerade zugänglich aufzufinden waren. Mit einem Gates-Glitten-Bohrer der Größen 2 und 4 erfolgte dann die Erweiterung des koronalen Kanaleingangs. Um die Verschleppung von Dentinspänen in den Wurzelkanal sicher zu verhindern, wurden alle Zähne vor der Sondierung des Wurzelkanals ausgiebig mit physiologischer Kochsalzlösung gespült. Auf eine Erweiterung des Wurzelkanals

mit Gates-Glidden-Bohrern bis in das mittlere Drittel wurde verzichtet, um Manipulationen im Kanalverlauf möglichst gering zu halten. Die Durchgängigkeit der Kanäle bis in das mittlere Wurzeldrittel wurde anschließend vorsichtig mit einer Kerr-Feile der ISO-Größe 10 geprüft, ohne dabei den Kanal zu erweitern. Alle Zähne, deren Wurzelkanäle verlegt oder nicht aufzufinden waren, wurden aus der jeweiligen Gruppe entfernt und durch Zähne des gleichen Typs ersetzt. Ebenso wurde mit Zähnen verfahren, bei denen bereits die Kerr-Feile ISO 10 im koronalen Bereich Klemmpassung aufwies. Hier hätte später nicht sichergestellt werden können, dass ein spannungsloser Vorschub des Messinstruments bis in das apikale Drittel möglich gewesen wäre.

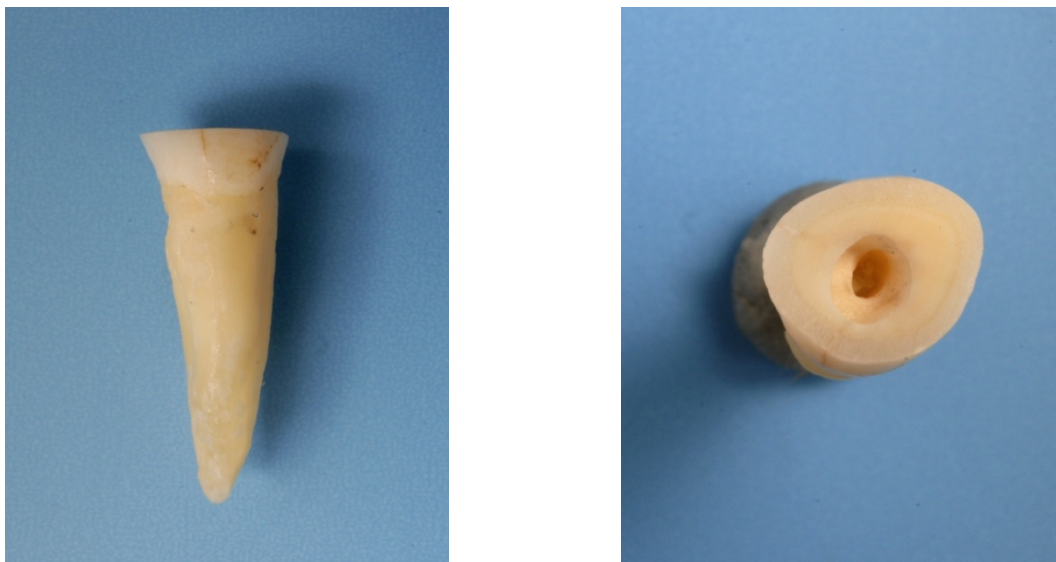


Abbildung 5: Links: Längsansicht eines Zahnes nach Entfernung der klinischen Krone. Rechts: Darstellung der Zugangskavität

3.3.3 Beschreibung der Endometriegeräte

3.3.3.1 Raypex 6

Das Endometriegerät Raypex 6 der Firma VDW ist eine Weiterentwicklung des bereits in zahlreichen Studien etablierten Endometriegeräts Raypex 5. Das Gerät arbeitet mit der Mehrfrequenzmethode und stellt auf einem Touchscreendisplay die Position der Feilenspitze dreidimensional dar. Durch eine automatische Vergrößerungsfunktion verspricht der Hersteller eine sicherere Handhabung zur Referenzpunktbestimmung im apikalen Bereich. Die farbliche Differenzierung der Lokalisation der Feilenspitze und ein akustischer Ton vereinfachen die Festlegung

der Arbeitslänge für den Behandler. Nach Herstellerangaben entspricht der rote Balken dem Bereich des Foramen apicale. Die gelben Balken entsprechen dem Bereich zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale. Die grünen Balken signalisieren die apikale Konstriktion, wo hingegen die blauen Balken den Beginn der apikalen Region signalisieren (Abb. 6). Das Gerät ist mit einer Grundeinstellung ausgestattet, sodass es nach dem Einschalten direkt einsetzbar ist. Für die Benutzung bedarf es keiner vorhergehenden Kalibrierung.



Abbildung 6: Raypex 6 mit apikalem Zoom im grünen Balkenbereich

3.3.3.2 *EndoPilot*

Der EndoPilot der Firma Schlumbohm integriert in seinem System fünf verschiedene Funktionsmöglichkeiten. Eine dieser Funktionen ist die endometrische Längenbestimmung, die auf der Basis einer Spannungssprungfunktion den apikalen Referenzpunkt bestimmt. Es wird dabei ein zuvor rechtwinkeliges Eingangssignal bei Sondierung im Wurzelkanal verformt. Je stärker das Signal verformt werden kann, desto größer ist die Annäherung an den apikalen Referenzpunkt. Eine weitere Funktion bietet die Kombination des Endomotors mit der elektrometrischen Längenbestimmung. Hierdurch wird es ermöglicht, dass die Wurzelkanalaufbereitung und die Bestimmung und Kontrolle des apikalen Referenzpunkts zusammen bzw. gleichzeitig erfolgen. Diese Kombination stellt im Behandlungsablauf eine erhebliche Zeitersparnis dar. Eine ständige sich über die gesamte Aufbereitungsdauer wiederholende Kontrolle der Arbeitslänge durch den Behandler kann somit entfallen. Technische Ausführungsfehler, die durch eine falsche Übertragung der

ausgemessenen Arbeitslänge auf das Arbeitsinstrument entstehen, entfallen ebenfalls. Die Bedienung des Geräts erfolgt über einen Touchscreen oder einen kabellosen Fußschalter.

Für die Bestimmung der Arbeitslänge ist direkt nach dem Start eine Kalibrierung nicht mehr notwendig. Aus dem Startmenü lassen sich sofort die verschiedenen Funktionen auswählen. Die Annäherung an den apikalen Referenzpunkt wird mittels einer Balkenanzeige visualisiert und durch akustische Signale unterlegt. Die in der Balkenanzeige durch den Hersteller als Endpunkt definierte horizontale Linie lässt sich durch den Behandler individuell verändern und für spätere Behandlungen abspeichern. Der an der Displayseite angegebene Wert ist rein fiktiv und entspricht keiner Maßeinheit. Der vom Hersteller angegebene Wert 36 entspricht an der voreingestellten horizontalen Linie dem Bereich zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale (Abb. 7). Die endometrische Arbeitslängenbestimmung ist laut Herstellerangaben mittels physiologischer Kochsalzlösung kalibriert. Der Messstromkreis verläuft im Inneren des Winkelstücks und ist gegen die Außenhülle isoliert. Hierdurch kann bei der Längenbestimmung am Patienten auf eine zusätzliche Ummantelung verzichtet werden (RODERJAN 2009). Für die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung stehen dem Behandler voreingespeicherte Feilensysteme zur Verfügung. Das maximale Drehmoment oder die Sequenzabfolge für die Feilen kann individuell verändert werden und über den Speichermodus für weitere Behandlungen abrufbar sein. Das Arbeitsinstrument kann über einen Druckknopf am oberen Kopf des Winkelstücks arretiert werden. Die Rotation beginnt mit der Betätigung des Fußschalters. Bei Erreichen der Aufbereitungslänge kann der EndoMotor durch eine zuvor durch den Behandler eingestellte Start-Stopp-Funktion am Gerät angehalten werden. Der automatische Stopp des Endomotors kann je nach Auswahl bis zu zwei Sekunden andauern und nicht durch die Betätigung des Fußschalters unterbrochen werden.



Abbildung 7: Endopilot im Apexmodus

3.3.4 Versuchsaufbau

Für den Versuchsablauf wurden alle Zähne einer Gruppe aus der physiologischen Kochsalzlösung entnommen und auf einem Filterpapier ausgebreitet. Als Halterung und Messeinrichtung diente ein modifizierter Plastikbecher, der am oberen Rand mit vier kleinen Einkerbungen versehen wurde. Aus einem Kunststoff (Pattern-Resin) erfolgte dann die Anfertigung eines kleinen Innenrings, der mit einem Bohrer an vier gleichmäßig entfernten Punkten durchbohrt wurde. Durch diese Löcher konnten nun drei spitze Schrauben gedreht werden, die bei weiterem Eindrehen in den Pattern-Resin-Ring in der Mitte zusammen liefen. Anschließend konnte der Pattern-Resin-Ring in den Plastikbecher mit den Einkerbungen eingehängt werden. Ein fünftes Loch im Ring diente dem Einbringen der Mundschleimhautelektrode. Es wurde dabei genauestens darauf geachtet, dass die Elektrode mit den eingebrachten Schrauben keinen Kontakt hatte (Abb. 8). Zur möglichst genauen Simulation der Verhältnisse in der Mundhöhle wurde der Plastikbecher bis zum oberen Rand mit einer physiologischen Kochsalzlösung aufgefüllt. Das jeweils für die Gruppe verwendete Messgerät konnte nun mit der Mundschleimhautelektrode verbunden werden. Danach wurde der vorbehandelte Zahn mit Hilfe einer Pinzette in den Pattern-Resin-Ring eingebracht und mittels der vier Schrauben in der Mitte fixiert. Es wurde sichergestellt, dass der befestigte Zahn mindestens bis in das obere Wurzel Drittel mit Flüssigkeit umspült wurde (Abb. 9).

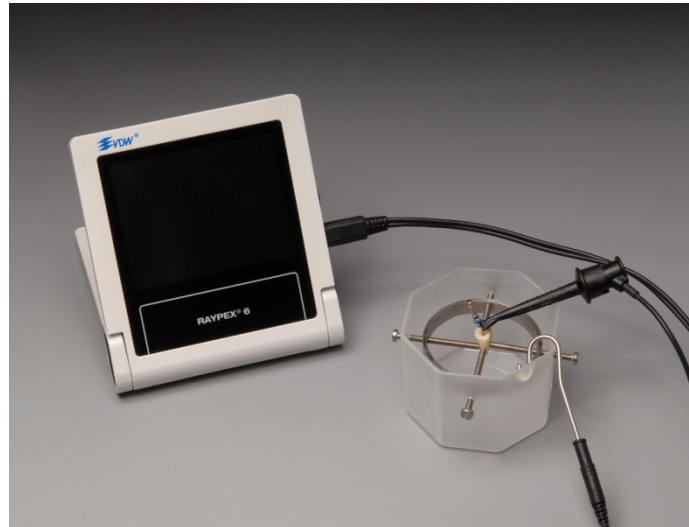


Abbildung 8: Versuchsaufbau bei Anwendung von Raypex 6

Es erfolgte die Spülung des trepanierten Zahnes mit physiologischer Kochsalzlösung, um bei der anschließenden Sondierung mit dem Messinstrument keine Verblockungen von Dentinspänen im Kanalverlauf zu erzeugen. Bei der Auswahl der Spülflüssigkeit wurde streng darauf geachtet, dass diese den Messvorgang der jeweiligen Endometriegeräte nicht negativ beeinflusste, wie es z.B. bei der Verwendung von NaOCl und dem Endometriegerät Raypex, laut Herstellerangaben, beschrieben ist. Die anschließend auf der Schnittfläche stehende Flüssigkeit wurde mit Wattepellets entfernt. Nun konnte das jeweilige Messgerät angeschaltet und das Messinstrument mit dem Gerät verbunden werden. In den ersten beiden Gruppen wurde als Messinstrument eine Kerr-Feile der ISO-Größe 10 verwendet, in der dritten Gruppe wurde eine MTwo-Feile ISO 10 eingesetzt. Der jeweilige apikale Endpunkt für die drei Gruppen ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

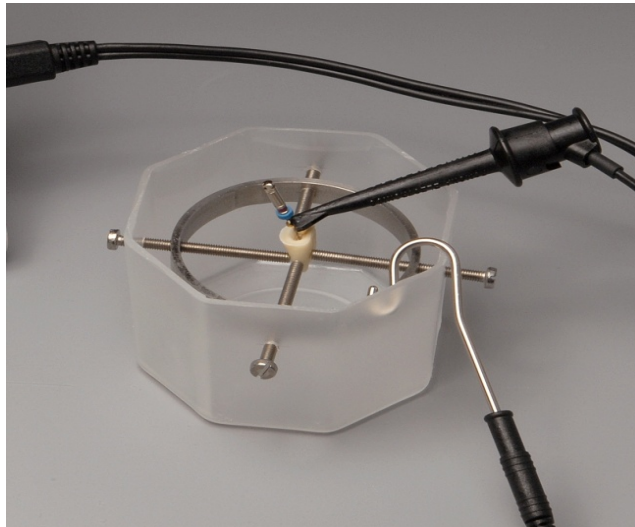


Abbildung 9: Darstellung der Haltevorrichtung für die Zähne (Ausschnitt aus Abb. 8)

Die Kerr-Feile ISO 10, als Messinstrument der ersten beiden Gruppen, wurde langsam in den Wurzelkanal des in der Haltevorrichtung fixierten Zahnes eingebracht und unter stetiger Beobachtung des Gerätedisplays weiter nach apikal verschoben. Sobald der zuvor für die Gruppe festgelegte apikale Referenzpunkt auf dem Display erreicht war, wurde das Messinstrument im Bereich der koronalen Schnittfläche des Zahnes mit dünnfließendem Komposit beschickt und durch die anschließende Lichthärtung im Wurzelkanal fixiert.

Es erfolgte danach umgehend eine erneute Kontrolle der endometrisch ermittelten Lage des fixierten Messinstruments, damit ggf. eine durch die Polymerisationsschrumpfung des verwendeten Komposits bedingte Lageveränderung der Feile sicher ausgeschlossen werden konnte. Danach wurde der Zahn aus der Haltevorrichtung sorgfältig gelöst, ohne dabei das Messinstrument zu berühren.

Das in der dritten Gruppe verwendete Messinstrument wurde in das Winkelstück des verwendeten Gerätes arretiert und ebenfalls langsam in den Wurzelkanal des fixierten Zahnes eingeführt. Der EndoMotor startete nun durch die Betätigung des Fußpedals. Während des gesamten Messvorgangs musste genauestens darauf geachtet werden, dass kein nach apikal gerichteter Druck auf das Winkelstück ausgeübt wurde. Durch die verwendete Start-Stopp-Funktion stoppte der EndoMotor an der durch den Hersteller festgelegten horizontalen Linie mit dem angezeigten Wert 36. Der Stopp am apikalen Referenzpunkt betrug 2 Sekunden und verhinderte somit die Gefahr der erneuten Aktivierung des Endomotors. Die Fixierung des

Messinstruments im Wurzelkanal erfolgte auf die gleiche Weise, wie schon zuvor für die ersten beiden Gruppen beschrieben.

3.3.5 Herstellung der Zahnblöcke

Sofort nach der Fixierung des Messinstruments in den Wurzelkanälen der verwendeten Zähne wurden diese in Kunststoff eingebettet. Hierfür mussten die Zähne in zuvor hergestellte Silikonschalen gelegt werden, die anschließend mit dem nach Herstellerangaben angerührten kaltpolymerisierenden Kunststoff aufgefüllt werden konnten. Nach Aushärtung der nun entstandenen Kunststoffblöcke konnten diese aus der Silikonschale entfernt und von groben Kunststoffüberständen gesäubert werden (Abb. 10). Die Herstellung der Zahnproben erfolgte für ein- oder mehrwurzelige Zähne auf gleiche Weise. Allerdings wurden nur maximal zwei Kanäle bei mehrwurzeligen Zähnen ausgemessen, um den weiteren Ablauf der Aufbereitung nicht zu erschweren.

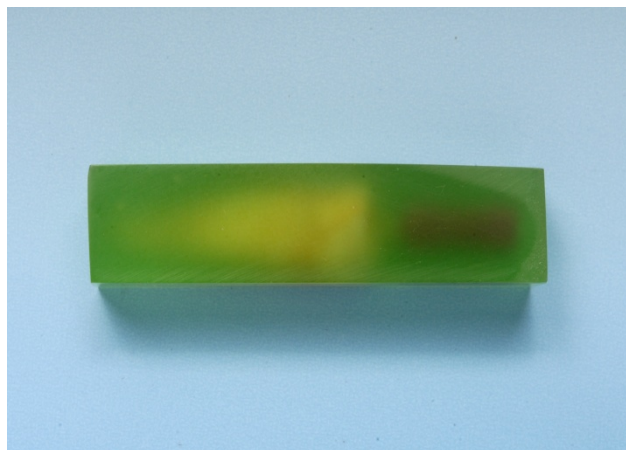


Abbildung 10: Kunststoffblock mit eingebetteter Probe

Alle Seiten der Kunststoffblöcke wurden mit einer Tellerschleifmaschine (ATM GmbH, Mammelzen, Deutschland) unter Verwendung von vier Schleifpapierkörnungen in aufsteigender Körnung poliert. Zuletzt erfolgte die Beschriftung der hergestellten Blöcke, um eine spätere Verwechslung der Gruppen zu verhindern.

3.3.6 Aufschleifen der Zahnblöcke

Alle Kunststoffblöcke einer Gruppe wurden bis auf das Niveau der Messinstrumentenspitze parallel zur Zahnblockebene aufgeschliffen (Abb. 11).

Während des Schleifvorgangs musste die verbleibende Schichtdicke mittels eines Lichtmikroskops stetig überprüft und kontrolliert werden. So konnte sicher ausgeschlossen werden, dass das Messinstrument durch den Schleifvorgang beschädigt oder seine Lage im Wurzelkanal verändert wurde.

Im Anschluss daran wurden die Wurzelkanalwände mit dem Skalpell abgefahren, um Unterschnitte im Bereich des apikalen Kanalverlaufs zu beseitigen, damit sich der apikale Wurzelkanalverlauf genau im Bereich seines größten Durchmessers eröffnete. Eine falsche Detektion der apikalen Konstriktion konnte somit für die weitere Auswertung verhindert werden.

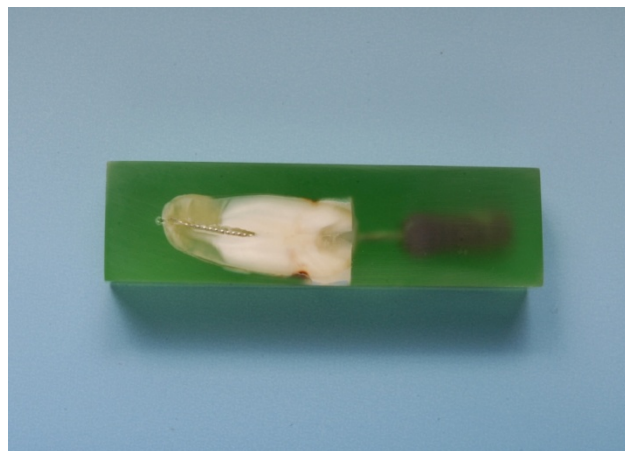


Abbildung 11: Aufgeschliffener Probenblock

Für die weitere Auswertung der Zahnblöcke konnte durch eine auflichtmikroskopische Kontrolle sichergestellt werden, dass die unbeschädigte Messinstrumentenspitze in einer Schliffebene mit der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale lag.

3.4 Probenauswertung

3.4.1 Auflichtmikroskopische Bildherstellung

Die histologische Begutachtung und Auswertung der Zahnblöcke erfolgte durch ein auflichtmikroskopisches Bild mit einer 2,5fachen Vergrößerung (Abb. 12). Hierfür wurden die Zahnblöcke auf dem Mikroskopisch ausgerichtet und im Objektiv nach Einstellung an der Millimeterschraube im Bereich des apikalen Wurzeldrittels scharf gestellt. Die Spitze der Zahnwurzel wurde mit der Öffnung zur rechten Bildseite

ausgerichtet. Da die Schliffebene und die Zahnblockebene parallel zueinander ausgerichtet wurden, war in allen Proben die Bildqualität von Messinstrumentenspitze und apikaler Konstriktion bzw. Foramen apicale identisch. Alle anatomischen Strukturen konnten mit dieser Vorgehensweise mit der gleichen Bildschärfe eingestellt werden. Für die weitere Bearbeitung wurde eine Bilddatei vom Typ JPG erzeugt. Der Verlust von Bildinformationen konnte dadurch minimiert werden. Im Bereich der apikalen Wurzelkanalöffnung wiesen alle Proben eine kleine, im Bild schwarz erscheinende Luftblase auf (Abb. 12). Dadurch wurde sichergestellt, dass kein Kunststoff zur Blockherstellung von apikal in den Wurzelkanal einfließen konnte, der dort ggf. eine verfälschte Darstellung der Kanalwände erzeugt hätte.

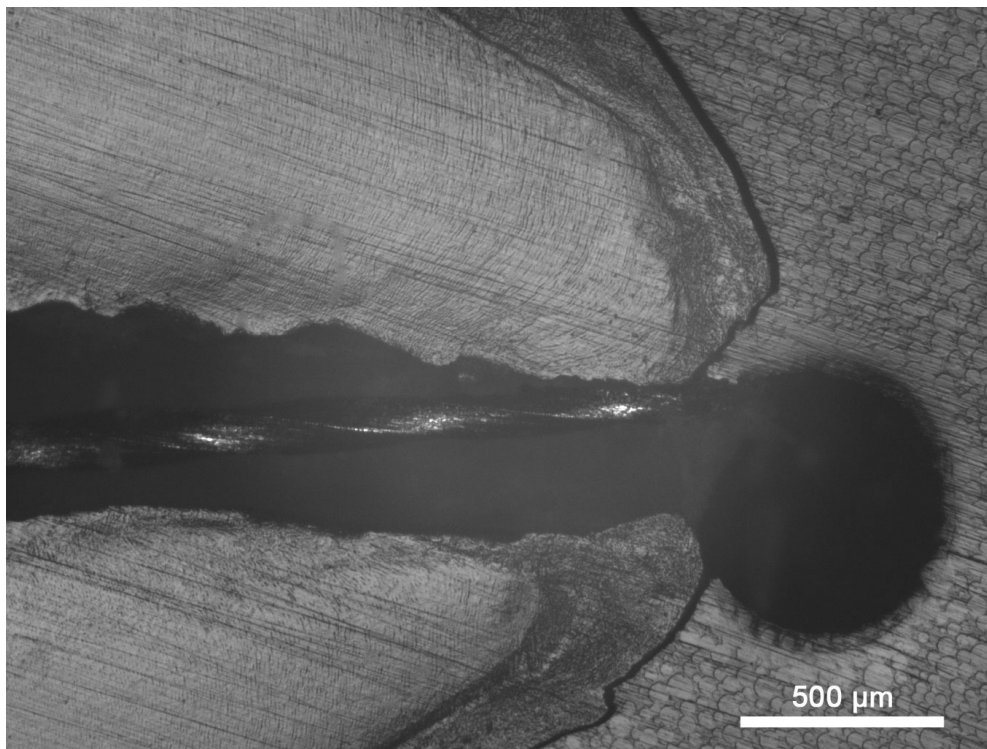


Abbildung 12: Zahnprobe nach 2,5facher Vergrößerung unter einem Auflichtmikroskop

3.4.2 Bestimmung der apikalen Konstriktion

Für die Bestimmung der apikalen Konstriktion und dem damit verbundenen Auffinden des apikalen Referenzpunktes (als Endpunkt der Wurzelkanalaufbereitung) kam ein objektives und personen-unabhängiges Verfahren zur Auswahl. Als apikaler Referenzpunkt wurde das untere Ende der Konstriktion festgelegt. Dabei wurde die engste Stelle des Wurzelkanalverlaufs – gemessen von der Spitze der Zahnwurzel - als unteres Ende der apikalen Konstriktion gewertet. Mit Hilfe des

Bildbearbeitungsprogramms Photoshop CS 5.1 (Adobe Systems GmbH, München, Deutschland) konnten die sich gegenüberliegenden Wurzelkanalwände mit einer roten Linie, die von der Spitze der Zahnwurzel bis zum Beginn des mittleren Wurzelkanaldrittels führte, markiert werden. Die so hergestellten Bilddateien wurden mit Hilfe eines selbst geschriebenen Konsolenprogramms (Alexander Härtl, Bremen) weiter bearbeitet und ausgewertet. Hierfür wurden die zuvor rot markierten Kanalwände, wieder an der Spitze der Wurzel beginnend, digital abgefahren. Die engste Stelle der gegenüberliegenden Kanalwände wurde durch eine gelbe Linie im Bild visualisiert. Die Länge dieser Linie wurde von dem Konsolenprogramm in Bildpixeln angegeben, wobei 497 Bildpixel einer Länge von 10 μm entsprachen. Die so ermittelte Breite entsprach der Konstriktionsbreite in mm (Abb. 13).

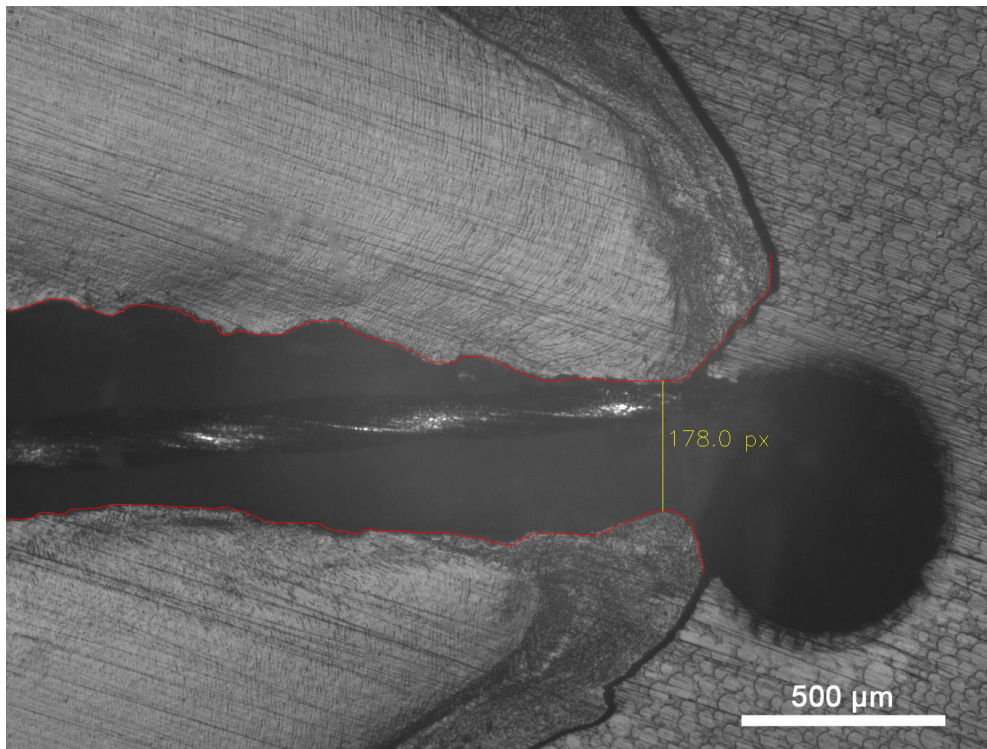


Abbildung 13: Bilddatei nach computergestützter Detektierung der apikalen Konstriktion

3.4.3 Auswertung der Bilddateien

Die weitere Auswertung der ermittelten Messdaten wurde ebenfalls mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms Photoshop CS 5.1 vorgenommen.

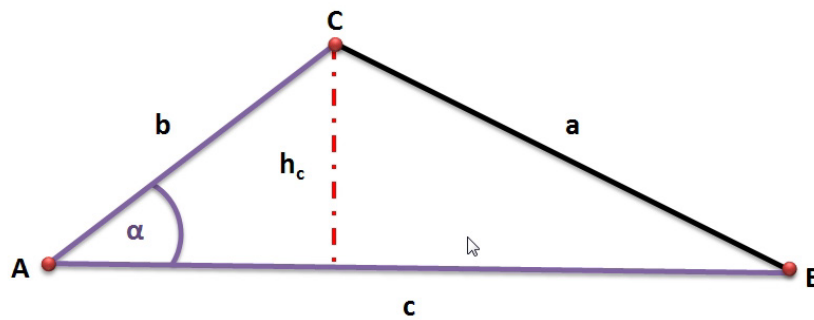


Abbildung 14: Schematische Darstellung eines Dreiecks mit der eingezeichneten Höhe h_c

Die Abstandsermittlung der anatomischen Strukturen, apikale Konstriktion – Foramen apicale sowie die Lage des Messinstruments zu diesen Strukturen, erfolgte mit Hilfe einer trigonometrischen Funktion (Höhenberechnung für ein Dreieck; Abb. 14).

Zur Abstandsberechnung der Feilenspitze zum unteren Ende der apikalen Konstriktion (Strecke h_c) wurde ein Dreieck mit den Punkten Feilenspitze (C) und apikaler Konstriktion mit den Punkten A und B angenommen (Abb. 15, linkes Bild). Anschließend erfolgte die Bestimmung der Strecke Feilenspitze zum oberen Punkt der Konstriktion, entsprechend der Seite b eines Dreiecks (Abb. 15, rechtes Bild). Zuvor wurden alle Bilddateien mit der apikalen Wurzelspitze nach rechts ausgerichtet. Der Winkel α konnte dann zwischen den Seiten a und b errechnet werden.

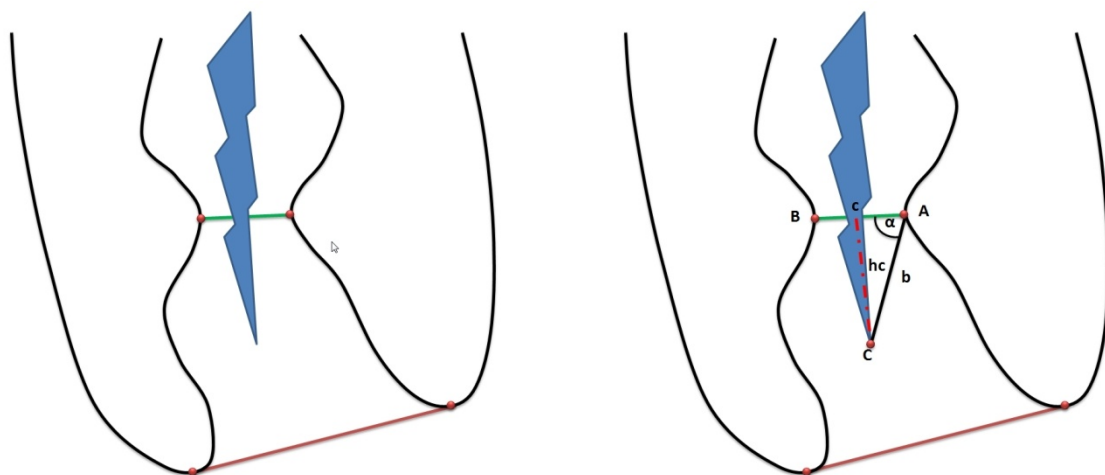


Abbildung 15: Links: Schematische Darstellung der apikalen Region mit eingezeichneter apikaler Konstriktion (grüne Linie, in Abb. 13 als gelbe Linie dargestellt) und Foramen apicale (rote Linie); Rechts: Schematische Konstruktion eines Dreiecks in die Punkte der apikalen Konstriktion (A und B) und der Feilenspitze (C)

Die ausgemessenen Werte konnten nun in die Formel für die Höhenberechnung eines Dreiecks eingesetzt werden.

$$hc = b \times \sin \alpha$$

Für die Entfernungsberechnung der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale erfolgte zunächst die genaue Festlegung der Lage des Foramens. Dafür wurden zwei gegenüberliegende Punkte im Bereich der Wurzelspitze ermittelt, die anschließend mit einer Linie verbunden wurden. Als Voraussetzung für eine korrekte Festlegung des Foramen apicales durfte die konstruierte Gerade den Zahn nur in diesen beiden festgelegten Punkten berühren. Da es sich für die weitere Entfernungsberechnung apikale Konstriktion – Foramen apicale um vier voneinander entfernt liegende Punkte handelte, konnten wiederum über die Konstruktion von zwei rechtwinkligen Dreiecken die entsprechenden Höhenberechnungen (hc) durchgeführt werden (Abb. 16). Diese zwei Messwerte wurden addiert und durch zwei dividiert, um die mittlere Distanz zwischen der apikalen Konstriktion mit ihren beiden Punkten auf den gegenüberliegenden Kanalwänden und den zwei Punkten des Foramen apicales zu ermitteln. Für die Abstandsberechnung der Instrumentenspitze zum Foramen apicale wurde von den ermittelten Werten für den Abstand apikale Konstriktion – Foramen apicale der Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion subtrahiert.

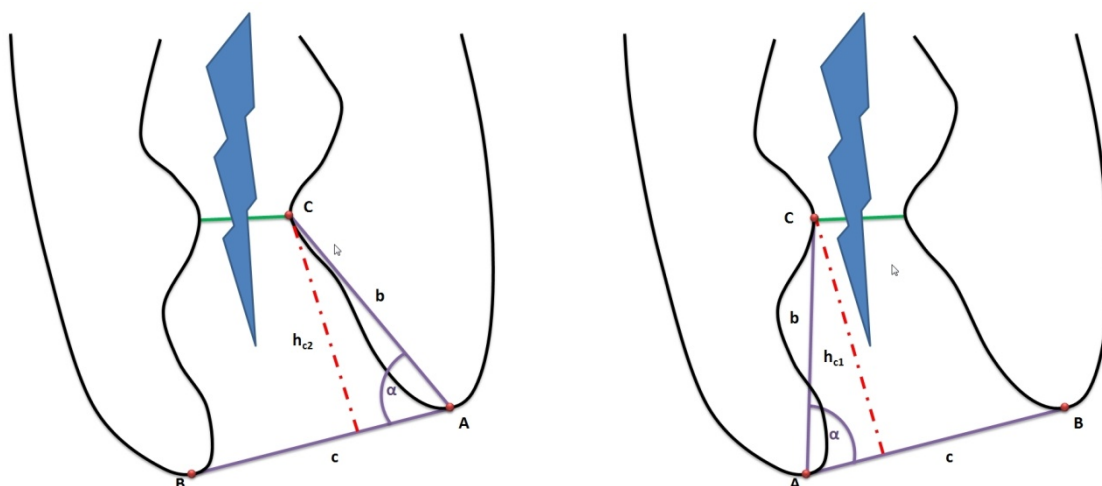


Abbildung 16: Links: Schematische Darstellung der apikalen Region mit Konstruktion eines Dreiecks in die Punkte der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale; Rechts: Schematische Darstellung mit Dreieckskonstruktion auf der gegenüberliegenden Seite

3.4.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der vorliegenden Daten erfolgte mit Microsoft Excel 2008 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington (USA)) und dem Datenverarbeitungsprogramm Graph-Pad-Prism 5.01 (GraphPad Software, La Jolla, Kalifornien (USA)). Die weitere deskriptive Datenauswertung erfolgte anschließend in Tabellen- und Graphikform. Als Testverfahren für die Varianzanalyse dienten der One-way Anova Test sowie der Tukeys-Post-Hoc-Test.

4. Ergebnisse

4.1 Breite der apikalen Konstriktion

Die im Wurzelkanalverlauf von apikal nach koronal engste Stelle wurde in der vorliegenden Studie als apikale Konstriktion gewertet. Die jeweilige Form der apikalen Konstriktion wurde in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. So ist also davon auszugehen, dass bei Vorliegen einer streckenförmigen Konstriktion jeweils das untere Ende der apikalen Konstriktion bestimmt werden konnte.

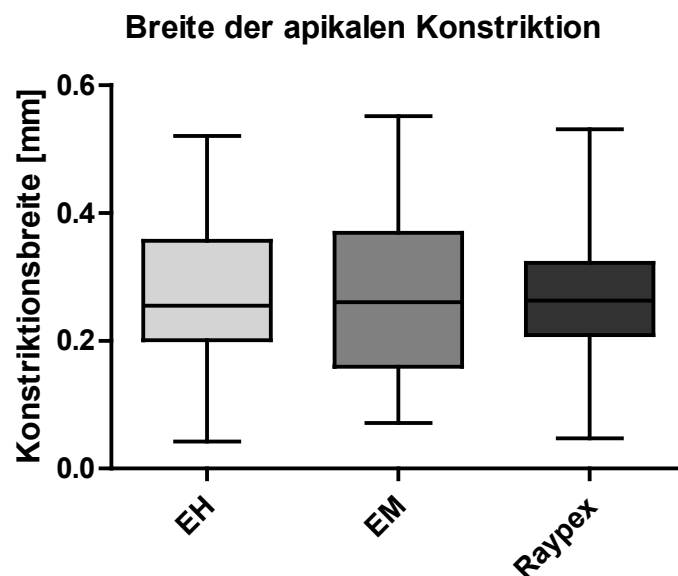


Diagramm 1: Breite der apikalen Konstriktion

In der Versuchsgruppe EH konnten insgesamt 43 Proben ausgewertet werden. Der Median der Gruppe für die Breite der apikalen Konstriktion lag bei 0,255 mm. In der zweiten Versuchsgruppe (EM), in der der Referenzpunkt mit Hilfe des EndoPiloten mit rotierendem Messinstrument bestimmt wurde, lag der Median für die Breite der apikalen Konstriktion bei 0,261 mm. In dieser Gruppe konnten insgesamt 42 Proben ausgewertet werden. Die Versuchsgruppe Raypex wies mit einer Breite von 0,263 mm im Median den höchsten Wert für die apikale Konstriktion auf (n=41, Tab. 2). Für alle drei Versuchsgruppen zusammen lag der Median für die Breite der apikalen Konstriktion bei 0,260 mm (Diagramm 1).

Tabelle 2: Breite der apikalen Konstriktion in [mm]

Statistik	EH	EM	Raypex 6
Anzahl der Proben	43	42	41
Minimum	0,043	0,071	0,047
25% Perzentile	0,201	0,159	0,209
Median	0,255	0,261	0,263
75% Perzentile	0,356	0,369	0,322
Maximum	0,520	0,551	0,531
Mittelwert	0,277	0,268	0,264

4.2 Breite des Foramen apicale

Das Foramen apicale wurde mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms Photoshop ermittelt. Für die Berechnung der Breite wurden jeweils die zwei am weitesten apikal liegenden Punkte auf der Wurzeloberfläche bestimmt. Nach Verbindung der beiden gegenüberliegenden Punkte berührte diese Gerade den Apex ausschließlich in diesen festgelegten Punkten. Im Anschluss erfolgte eine Ausmessung der Distanz der beiden Punkte.

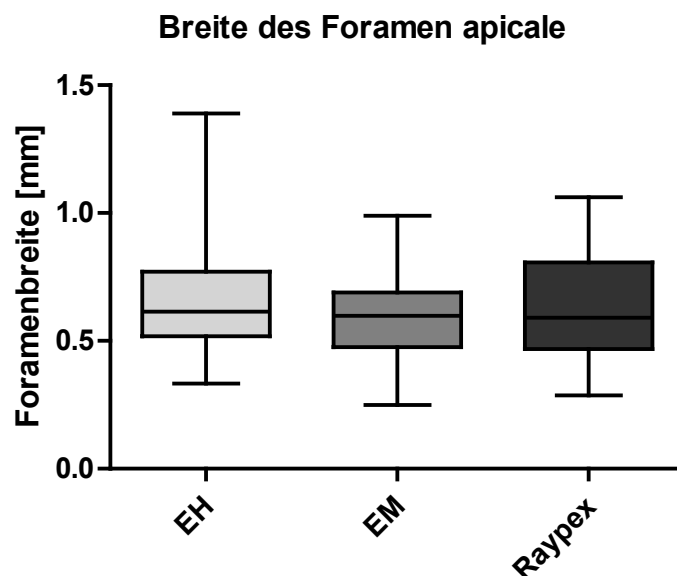


Diagramm 2: Breite des Foramen apicale

Die Breite des Foramen apicale lag im Median für die Versuchsgruppe EH bei 0,615 mm. Die Gruppe Raypex wies im Median mit 0,591 mm die geringste Breite des Foramen apicale auf. Die zweite Versuchsgruppe (EM) bildete mit einer Breite von 0,599 mm im Median die Mitte der drei Versuchsgruppen (Diagramm 2, Tab. 3). Die Anzahl der ausgewerteten Proben für die Breite des Foramen apicale war mit der jeweiligen Probenanzahl der Versuchsgruppen für die Messung der apikalen Konstriktionsbreite identisch. Der Median aller drei Versuchsgruppen zusammen lag bei 0,602 mm. Für keine der untersuchten Gruppen konnten signifikante Unterschiede für die Breite des anatomischen Foramens ermittelt werden.

Tabelle 3: Breite des Foramen apicale in [mm]

Statistik	EH	EM	Raypex 6
Anzahl der Proben	43	42	41
Minimum	0,333	0,250	0,287
25% Perzentile	0,518	0,476	0,468
Median	0,615	0,599	0,591
75% Perzentile	0,771	0,690	0,807
Maximum	1,389	0,989	1,062
Mittelwert	0,680	0,588	0,637

4.3 Abstand der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale

Der Abstand der apikalen Konstriktion vom Foramen apicale wird in vielen Studien zur Endometrie thematisiert. Diese Distanz variiert und nimmt mit steigendem Lebensalter zu. Hierfür ist vor allem die damit einhergehende Verdickung der Zementschicht um die Wurzelspitze verantwortlich.

Für die Ermittlung der Abstandswerte wurde zuerst der Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion mit Hilfe der Höhenberechnung für ein Dreieck ermittelt. Negative Werte beschreiben die Instrumentenspitze, die über der apikalen Konstriktion hinaus liegt. Positive Werte beschreiben die Lage der Instrumentenspitze vor (koronal) der apikalen Konstriktion. Mit der gleichen Methode

erfolgte die Berechnung der Abstände der Feilenspitze zum Foramen apicale. Auch hier beschreiben negative Werte die Instrumentenspitze, die über das apikale Foramen hinaus liegt. Bei positiven Werten ist die Instrumentenspitze vor dem (koronal) Foramen apicale zu finden (Diagramm 3).

Tabelle 4: Abstand der apikalen Konstriktion vom Foramen apicale in [mm]

Statistik	EH	EM	Raypex 6
Anzahl der Proben	43	42	41
Minimum	0,023	0,025	0,031
25% Perzentile	0,243	0,138	0,145
Median	0,349	0,255	0,317
75% Perzentile	0,646	0,444	0,436
Maximum	1,596	0,861	0,934
Mittelwert	0,436	0,302	0,341

Der Abstand der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale lag in der ersten Versuchsgruppe EH im Median bei 0,349 mm. Diese Gruppe wies damit den größten Abstand auf. Für die zweite Versuchsgruppe EM lag der Median bei 0,255 mm, der damit den geringsten Abstand im Vergleich der drei Gruppen bildete. Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen sind nicht signifikant (Tab. 4).

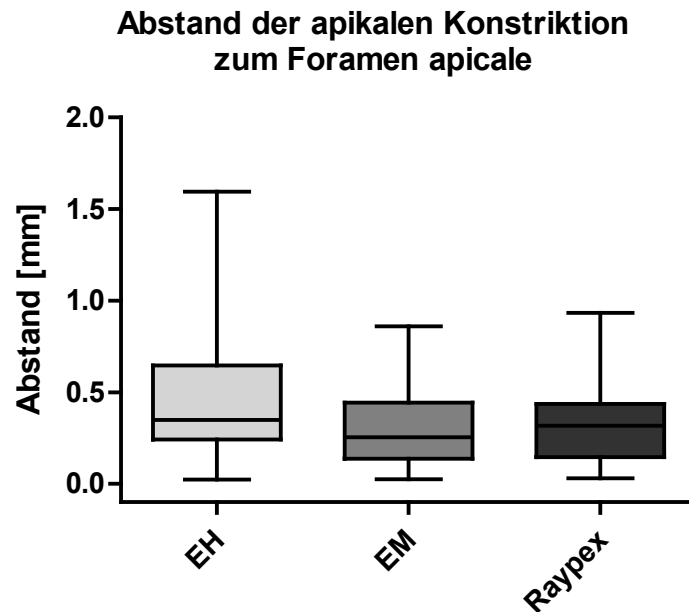


Diagramm 3: Abstand der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale

4.4 Lage der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion

Die Lage der Feilenspitzen in den jeweiligen Wurzelkanälen entspricht dem durch die jeweiligen Endometriegeräte ermittelten Referenzpunkt. Die Entfernung der Messinstrumentenspitze zu der apikalen Konstriktion erfolgte wie bereits beschrieben, mit Hilfe der Höhenberechnung für ein Dreieck, das in die zwei gegenüberliegenden Punkte der apikalen Konstriktion und dem Punkt der Feilenspitze konstruiert wurde. Negative Werte beschreiben eine über (apikal) der apikalen Konstriktion liegende Instrumentenspitze. Positive Werte beschreiben den Abstand der Instrumentenspitze vor der apikalen Konstriktion (Diagramm 4).

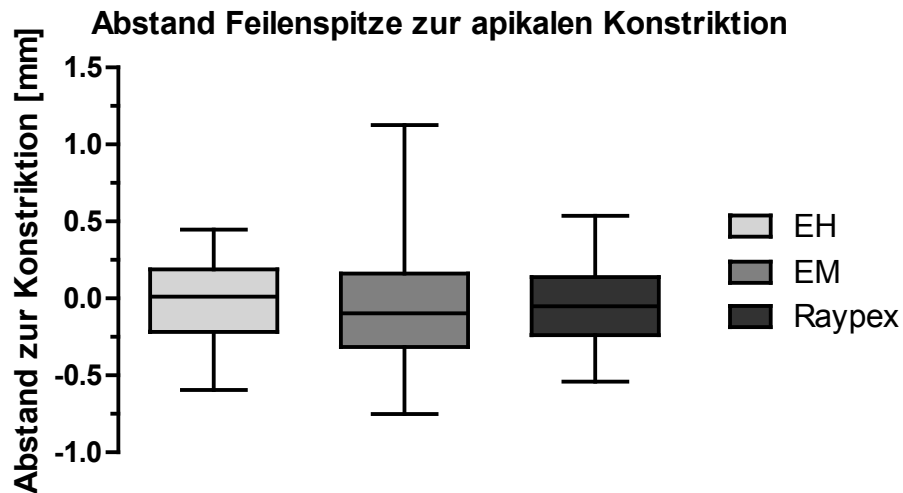


Diagramm 4: Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion

In der ersten Versuchsgruppe lag der Median für den Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion bei 0,012 mm. Da es sich hierbei um einen positiven Wert handelt, wird somit die Lage vor (koronal) der apikalen Konstriktion beschrieben. Die zweite und dritte Versuchsgruppe wiesen negative Werte für den Median auf. Hier war also die Instrumentenspitze apikal der Konstriktion zu finden. Die zweite Versuchsgruppe wies im Median mit -0,097 mm den weitesten Abstand zur apikalen Konstriktion auf. In dieser Gruppe war auch das höchste Maximum mit 1,1 mm zu finden (Tab. 5).

Tabelle 5: Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion in [mm]

Statistik	EH	EM	Raypex 6
Anzahl der Proben	43	42	41
Minimum	-0,590	-0,750	-0,540
25% Perzentile	-0,220	-0,310	-0,240
Median	0,012	-0,097	-0,0510
75% Perzentile	0,190	0,160	0,140
Maximum	0,450	1,100	0,540
Mittelwert	-0,035	-0,064	-0,041

Signifikante Unterschiede der 3 Versuchsgruppen lassen sich in der vorliegenden Studie in Bezug auf die Lage der Instrumentenspitze zur apikalen Konstriktion nicht finden (Tab. 6)).

Tabelle 6: Ergebnisse des Tukeys-Post-Hoc-Tests auf signifikante Unterschiede zur Lage der Feilenspitze zwischen den drei Messmethoden

Tukey's Multi. Comp. Test	mittlerer Unterschied in [mm]	Q**	Signifikanz $p < 0.05$	95% Konfidenzintervall für die mittlere Diff.
FsK* EH vs FsK* EM	0,029	0,62	Nein	-0.13 - 0.19
FsK* EH vs FsK* Raypex	0,0061	0,13	Nein	-0.15 - 0.16
FsK* EM vs FsK* Raypex	-0,023	0,49	Nein	-0.18 - 0.14

* FsK: Lage der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion

** : Quantum

4.5 Lage der Feilenspitze zum anatomischen Foramen

Der Abstand der Feilenspitze zum Foramen apicale konnte auch hier wie bereits beschrieben mit Hilfe des Fotobearbeitungsprogramms ermittelt werden. Zur genauen Berechnung erfolgte hierfür allerdings die virtuelle Konstruktion von zwei Dreiecken, die in den beiden gegenüberliegenden Punkten der apikalen Konstriktion

und den Punkten des apikalen Foramens konstruiert wurden. Die Höhe der beiden Dreiecke konnte anschließend berechnet werden. Beide errechneten Höhen wurden addiert und durch 2 dividiert. Negative Werte beschreiben die Lage der Feilenspitze als apikal des anatomischen Foramens liegend. Positive Werte beschreiben die Lage der Feilenspitze koronal vom Foramen apicale (Diagramm 5).

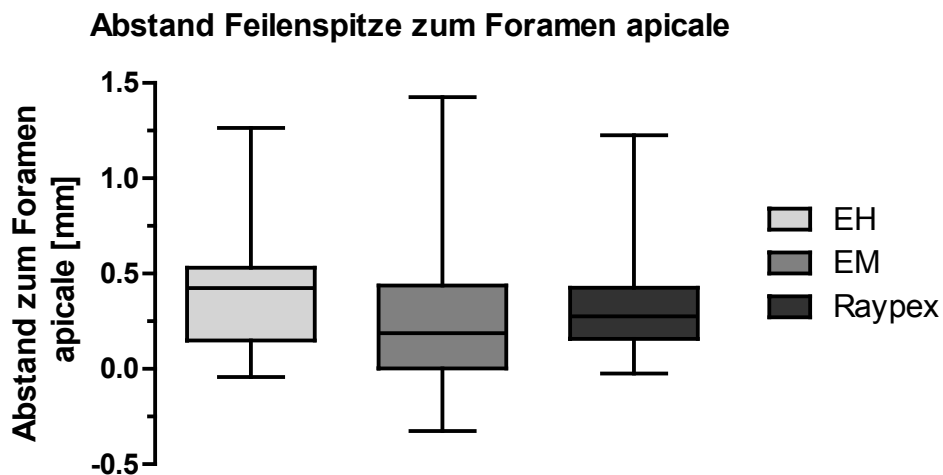


Diagramm 5: Abstand der Feilenspitze zum Foramen apicale

Wie bei allen vorhergehenden Untersuchungen war die Anzahl der untersuchten und damit auch ausgewerteten Proben identisch. Der größte Abstand der Feilenspitze zum Foramen apicale konnte in der Versuchsgruppe EH ermittelt werden. Hier lag der Median bei 0,425 mm. In der Versuchsgruppe EM konnte der geringste Abstand der drei Gruppen mit einem Median von 0,187 mm errechnet werden. In dieser Gruppe war auch das kleinste Minimum mit einem Wert von -0,325 mm zu finden (Tab. 7).

Tabelle 7: Abstand der Feilenspitze zum Foramen apicale [in mm]

Statistik	EH	EM	Raypex 6
Anzahl der Proben	43	42	41
Minimum	-0,042	-0,325	-0,025
25% Perzentile	0,149	0,003	0,157
Median	0,425	0,187	0,275
75% Perzentile	0,531	0,437	0,426
Maximum	1,264	1,426	1,227
Mittelwert	0,411	0,238	0,301

In Bezug auf den Abstand der Feilenspitze zum Foramen apicale konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der ersten und zweiten Versuchsgruppe ermittelt werden. Die dritte Versuchsgruppe Raypex wies keine signifikanten Unterschiede zu der ersten und zweiten Versuchsgruppe in Bezug auf die Instrumentenlage auf (Tab. 8).

Tabelle 8: Überprüfung auf Signifikanz der Feilenspitzenposition zum Foramen apicale zwischen den Versuchsgruppen

Tukey's Multi. Comp. Test	mittlerer Unterschied in [mm]	Q**	Signifikanz p < 0.05	95% Konfidenzintervall für die mittlerer Diff.
FsA* EH vs FsA* EM	0,172	3,805	Ja	0.02 - 0.32
FsA* EH vs FsA* Raypex	0,110	2,414	Nein	-0.04 - 0.26
FsA* EM vs FsA* Raypex	-0,062	1,359	Nein	-0.21 - 0.09

* FsA: Lage der Feilenspitze zum Foramen apicale

** Q: Quantum

4.6 Lage der Feilenspitze im Trefferintervall apikale Konstriktion und Foramen apicale

Da in keiner der drei Versuchsgruppen die apikale Konstriktion oder das anatomische Foramen durch die Feilenspitze genau getroffen wurde, wurde der Bereich apikale Konstriktion – Foramen apicale als Trefferintervall definiert. Werte, die in diesem Intervall zu finden waren, wiesen einen positiven Wert in Bezug auf die Lage zum Foramen apicale auf, gleichzeitig allerdings sind diese Werte in Bezug auf die apikale Konstriktion negativ. Alle Proben, bei denen die Feilenspitze vor der apikalen Konstriktion zu finden waren, wurden als unterinstrumentiert bezeichnet. Ebenso wurden Proben, bei denen die Instrumentenspitze über dem Foramen apicale hinaus lag, als überinstrumentiert bezeichnet.

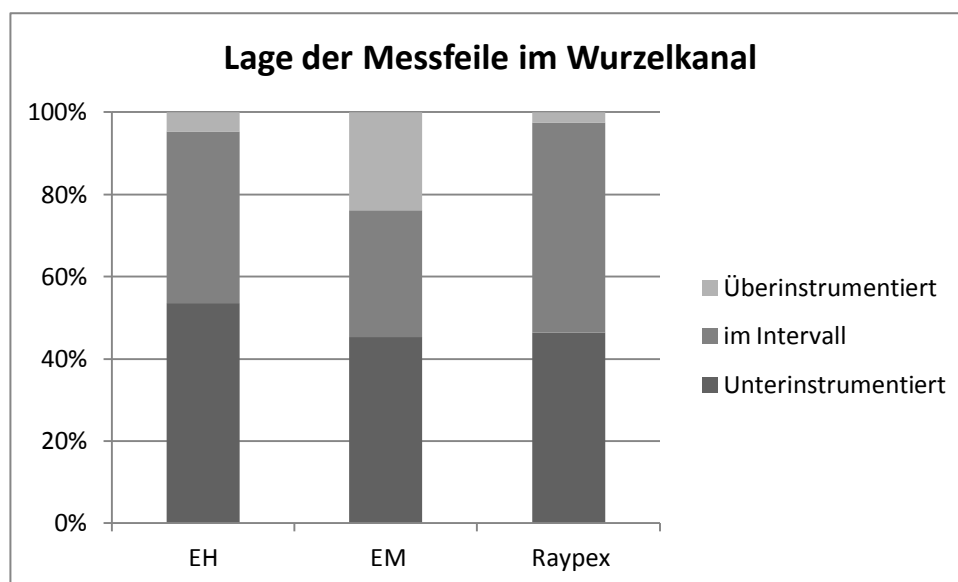


Diagramm 6: Lage der Feilenspitze im Intervall

In der dritten Versuchsgruppe, in der das Endometriegerät Raypex 6 untersucht wurde, lag in 51,22% der Fälle die Instrumentenspitze im Bereich apikale Konstriktion – Foramen apicale. Im Vergleich zu den anderen zwei Versuchsgruppen konnte damit der höchste Trefferwert ermittelt werden. Mit 2,44% waren die Proben der dritten Gruppe überinstrumentiert. Hierbei lag die Instrumentenspitze in diesen Fällen außerhalb des Wurzelkanals. Dies ist der niedrigste Wert der Untersuchung. Die zweite Versuchsgruppe EM wies mit 30,95% die niedrigsten Werte für das festgelegte Intervall apikale Konstriktion – Foramen apicale auf. Mit 23,81% wurden

für diese Gruppe die höchsten Werte für eine Überinstrumentierung ermittelt. Hierbei lag also in ca. einem Fünftel der Fälle die Instrumentenspitze außerhalb des Kanalsystems. Die erste Versuchsgruppe (EH) wies im Vergleich mit 53,49% die höchsten Werte für eine Unterinstrumentierung auf (Diagramm 6).

4.7 Korrelation zwischen der Lage der Feilenspitze und der Breite des apikalen Foramens

In der vorliegenden Studie wurde nun mit der Berechnung des Korrelationskoeffizienten der Zusammenhang zwischen dem Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion und der Breite der apikalen Konstriktion sowie dem Foramen apicale untersucht. Es konnte allerdings weder ein großer noch ein mäßiger gleichgerichteter linearer Zusammenhang in den jeweiligen Versuchsgruppen ermittelt werden. Ebenso ist kein großer oder mäßiger negativ gerichteter Zusammenhang erkennbar. Alle drei Gruppen wiesen im Vergleich zueinander keine signifikanten Unterschiede auf. Der höchste Wert konnte mit -0,442 in der dritten Gruppe Raypex ermittelt werden (Tab. 9). Für diese Gruppe konnte somit ein geringer gegenläufiger Zusammenhang errechnet werden. Je breiter das anatomische Foramen ausgemessen werden konnte, desto näher konnte die Feilenspitze an der apikalen Konstriktion ermittelt werden. Bei nur geringer Breite des anatomischen Foramens lag die Spitze eher weiter entfernt von der apikalen Konstriktion.

Tabelle 9: Korrelation der Feilenspitzenposition mit der Breite der apikalen Konstriktion und des anatomischen Foramens.

Korrelation	FsK*-EH	FsK-EM	FsK-Raypex
Breite der apikalen Konstriktion	-0,264	0,199	-0,014
Breite des Foramen apicale	-0,237	0,124	-0,442

*FsK: Abstand der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion

5. Diskussion

5.1 Diskussion von Material und Methode

Die Ermittlung der endodontischen Arbeitslänge mit Hilfe von Endometriegeräten nimmt in der zahnärztlichen Praxis durch einen schnellen und meist gefahrlosen Einsatz am Patienten einen immer größeren Stellenwert ein.

Durch eine genaue und schnelle Bestimmung des apikalen Referenzpunktes wird es dem Behandler ermöglicht, eine effiziente Wurzelkanalbehandlung mit einer hohen Erfolgsquote durchzuführen. Grundlage dieses Erfolges ist eine ständige Überprüfung und anschließende Weiterentwicklung der Endometriegeräte, deren Messgenauigkeit bereits in zahlreichen Studien überprüft wurde (Singh 2012).

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Messgenauigkeit von zwei im Ansatz unterschiedlichen Endometriegeräten zu vergleichen. Anhand eines in vielen Studien zuvor erprobten Studienmodells konnten zwei Endometriegeräte der neuesten Generation im Hinblick auf ihre Messgenauigkeit und die verwendete Messtechnik untersucht werden. Der Messansatz der in der Studie verwendeten Geräte unterscheidet sich grundlegend voneinander. Während das weiterentwickelte und modifizierte Gerät Raypex 6 die Mehrfrequenzmethode verwendet, arbeitet der EndoPilot mit einem neuen Impulsverfahren.

Durch die genaue morphologische Ermittlung der für die Längenbestimmung wichtigen anatomischen Strukturen (apikale Konstriktion und Foramen apicale) und die exakte und objektivierte Bestimmung der Lage der Feilenspitze unterscheidet sich diese Untersuchung deutlich von anderen Arbeiten.

5.1.1 Diskussion Versuchsaufbau

Als Studiendesign wurde das Modell einer In-vitro-Studie ausgewählt. Im Gegensatz zu einer In-vivo Studie konnten damit reproduzierbare Messvorgänge an mehr als 120 Zähnen ermöglicht werden.

Die für die Studie festgelegte Probenanzahl orientierte sich dabei an vergleichbaren Arbeiten. So variiert die Anzahl der vermessenen Wurzelkanäle in der aktuellen Literatur zwischen 20 und 65 (RODERJAN 2009). Für den Vergleich von rotierenden

und nicht-rotierenden Messinstrumenten wurden von Felipe et al. (2008) 65 Zähne je Versuchsgruppe ausgewertet. In einem Vergleich von vier unterschiedlichen Endometriegeräten wurden 40 Wurzelkanäle pro Untersuchungsgruppe herangezogen (GALLER 2002). In einer Untersuchung von Stoll, der in seiner Studie ein neues Testmodell für die In-vitro-Untersuchung von Endometriegeräten evaluiert, wurden pro Versuchsgruppe 40 Zähne verwendet (STOLL 2007). Die geringste Probenanzahl mit 20 ausgewerteten Wurzelkanälen pro Versuchsgruppe konnte in einer Untersuchung gefunden werden, die die Messgenauigkeit von 5 Endometriegeräten in einem Bereich von 3 mm koronal vom Foramen apicale (KLEIN-URBAN 2010) vergleicht.

Die in der vorliegenden Studie verwendeten Proben wurden nach jeweils gleicher Vorbehandlung in eine Haltevorrichtung eingespannt und die Wurzeloberfläche mit physiologischer Kochsalzlösung umspült. Da die Annahme eines konstanten Widerstandes im Bereich des periradikulären Gewebes nach Verlassen der Feile aus dem Wurzelkanal bereits in mehreren Studien widerlegt werden konnte, hat die Umgebung des Zahnes keinen Einfluss auf die Messergebnisse (HÖR 2005). Diese Gegebenheit unterstützt die Annahme, Messinstrumente in einer In-vitro-Untersuchung erfolgreich auf ihre klinische Anwendbarkeit testen zu können. Durch einen standardisierten und zuvor festgelegten Prüfungsablauf für die Herstellung der Zahnproben, die Fixierung der Feile im Wurzelkanal etc., konnten mögliche Störgrößen beseitigt oder auf ein Mindestmaß reduziert werden. Des Weiteren konnten alle durchzuführenden Arbeitsschritte im Probenablauf durch eine visuelle Kontrolle auf ihre korrekte Durchführung überprüft werden. Als Probenanzahl wurden für die drei Versuchsgruppen jeweils mehr als 40 Zähne zur Auswertung herangezogen. Die Rekrutierung dieser Probenanzahl in einer In-vivo-Untersuchung wäre mit einer kurzen Studiendauer zur Herstellung gleicher Prüfungsvoraussetzungen kaum vorstellbar. Zur Auswertung der Probenzähne hätten diese im weiteren Verlauf extrahiert werden müssen.

Die In-vitro-Studie ermöglicht mit einem einfachen Messmethodenaufbau eine ökonomisch günstige und sichere Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

In der vorliegenden Studie wurden die Zahnproben in einer Haltevorrichtung eingespannt und die Wurzeloberfläche in einem Becher mit physiologischer Kochsalzlösung umspült. Die Mundschleimhautelektrode wurde ebenfalls in den

Becher mit Kochsalzlösung eingetaucht, ohne mit der Probe im direkten Kontakt zu stehen. Die verwendeten Zähne wurden zuvor trepaniert und die klinische Krone fast vollständig abgetrennt. Die Art der verwendeten Spüllösung im Wurzelkanal nimmt keinen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse (Joob 2012).

Bei dieser Methode handelt es sich um ein bereits in zahlreichen Studien erfolgreich etabliertes Verfahren für die Überprüfung von Endometriegeräten. Es wurden dabei extrahierte und für die Messung vorbereitete Zähne auf einer Plexiglasscheibe befestigt und in einen Becher mit Kochsalzlösung eingehängt (KOBAYASHI 1994, MARKULA-LIEGAU 1996). In anderen Arbeiten konnte die Probe mit Komposit befestigt und später in einen Becher mit Kochsalzlösung eingehängt werden (OISHI et al. 2002). In weiterentwickelten Modellen wurden die Zähne mit Hilfe eines Röntgenmodells eingebettet und die Zahnwurzeln mit physiologischer Kochsalzlösung umspült. Eine spätere Anfertigung von röntgenologischen Aufnahmen konnte damit vereinfacht werden (RODERJAN 2009).

In der Literatur sind allerdings auch andere Modelle zur Überprüfung der Messgenauigkeit von Endometriegeräten beschrieben. So wurden die Zähne vor dem Messvorgang von einigen Autoren in eine Alginatmischung auf Basis einer Kochsalzlösung eingebettet. Diese sollte dabei das umgebende Parodont simulieren (TINAZ et al. 2002, THOMAS et al. 2003). In anderen Studien wurde auf frei verkäufliche Gelatine zurückgegriffen, in die nach Verarbeitung mit einer sterilen Kochsalzlösung und anschließender Abkühlung die zu vermessenden Zähne hinein gedrückt wurden. Für den darauffolgenden Messvorgang zur Überprüfung der Messgenauigkeit von Endometriegeräten mussten allerdings die Zähne manuell gehalten werden (CZERW et al. , DONNELLY 1993). Dieses Vorgehen erscheint jedoch in Bezug auf die Herstellung gleicher reproduzierbarer Prüfungsbedingungen eine eher ungenaue Messtechnik zu sein. Zur Vermeidung dieser Ungenauigkeit wurde in der vorliegenden Studie daher eine Messvorrichtung erstellt, die eine starre Fixierung der Probenzähne ermöglicht.

Die Sondierung der zu vermessenden Wurzelkanäle erfolgte in der ersten und dritten Versuchsgruppe mit einer Kerr-Feile ISO 10 (TSELNIK et al. 2005). Hierbei wurde strengstens darauf geachtet, dass das Messinstrument ohne Druck nach apikal in den Kanal eingeführt wurde. Die an dem jeweiligen ermittelten Referenzpunkt mittels Komposit fixierte Feile wurde nach Aushärtung des Komposits erneut auf ihre

korrekte Lage überprüft und erst danach aus der Haltevorrichtung entfernt. Es konnte damit sichergestellt werden, dass die zuvor festgelegte Lage des Instruments eingehalten werden konnte und nicht durch eventuelle Schrumpfungseigenschaften des Komposits verändert wurde. Um den Wurzelkanal in seiner Beschaffenheit nicht zu begradigen oder anatomische Strukturen zu verletzen, wurde ein Instrument mit einer kleinen ISO-Größe ausgewählt. Der ermittelte Referenzpunkt konnte somit ohne eine zuvor notwendige Aufbereitung des Kanals erreicht werden. Dieses Vorgehen entspricht dem klinischen Standard zur Ermittlung der Arbeitslänge mit Hilfe eines Endometriegeräts. Der Einfluss der Instrumentengrößen scheint auf die exakte Arbeitslängenbestimmung von Endometriegeräten sehr gering (Vasconcelos 2012). In der zweiten Versuchsgruppe wurde als Messinstrument eine MTwo®-Feile der ISO-Größe 10 rotierend in den Wurzelkanal eingebracht. Die Aufbereitungstechnik für das verwendete Feilensystem ist die Single-Length-Technik. Dieses Verfahren ermöglichte das Erreichen des Referenzpunktes ohne eine vorherige koronale Aufbereitung

Für die vorliegende Studie wurde die apikale Konstriktion als der zu ermittelnde Referenzpunkt festgelegt und dafür die entsprechende Herstellerangabe auf dem Gerätedisplay ausgewählt. Um die apikale Konstriktion so exakt wie möglich bestimmen zu können, wurde die engste Stelle, beginnend von apikal nach koronal, durch ein eigens dafür geschriebenes Computerprogramm errechnet. Sollte es sich bei der vorliegenden Konstriktion nicht im klassischen Sinne um eine punktförmige Konstriktion sondern ggf. um eine konische oder multiple Konstriktion handeln, konnte mit diesem Verfahren jeweils das untere Ende der apikalen Konstriktion ermittelt werden. Dieser im Wurzelkanalverlauf konstante Punkt kann als Foramen minor bezeichnet werden und wird als sinnvoller Referenzpunkt für eine Wurzelkanalaufbereitung betrachtet (APPEL 2008). Des Weiteren wurde für die Festlegung des Referenzpunktes die Annahme berücksichtigt, dass bereits an der apikalen Konstriktion das noch im Wurzelkanal vorherrschende pulpaie Gewebe physiologischerweise in das parodontale Gewebe übergeht (KUTTLER 1955) und dieses damit nicht in die Präparation des Wurzelkanals mit einbezogen werden sollte. Die zurzeit aktuellste Stellungnahme der DGZMK empfiehlt die Wurzelkanalaufbereitung bis hin zur engsten Stelle im apikalen Wurzelkanalbereich (DGZMK 2004). Diese entspricht der apikalen Konstriktion im Wurzelkanal. Da einigen Autoren das Auffinden der apikalen Konstriktion in vitro, auch mittels

Endometriegeräten, als sehr unsicher erscheint, wird in einigen Arbeiten das Foramen apicale aufgesucht. Anschließend wird die Arbeitslänge 0,5 mm koronal davon festgelegt (SHABAHANG et al. 1996, OUNSI & NAAMAN 1999, APPEL 2008). Einige In-vitro Untersuchungen wählten als apikalen Referenzpunkt das Foramen apicale und konnten hiermit hohe Messgenauigkeiten für die jeweiligen Endometriegeräte erzielen (GUISE et al. 2010).

5.1.2 Diskussion der Probenherstellung und Bildauswertung

Die histologische Auswertung der Wurzelkanäle sowie die anschließende Vermessung der jeweiligen Proben erfolgten mit Hilfe eines Mikroskops bei 2,5facher Vergrößerung und dem Computerprogramm Scion Visi Captur (Vision 2.0). Hiermit konnten Bilddateien der Proben erzeugt werden, die später mit dem Bildbearbeitungsprogramm Photoshop ausgemessen werden konnten.

Die Aufbereitung der Proben und die Freilegung der apikalen Region wurden auf einer Schleifmaschine mit Drehteller durchgeführt. Durch die Verwendung von vier in aufsteigender Richtung unterschiedlichen Schleifpapierkörnungen und einer ständigen visuellen Kontrolle der Schliffebene konnte sichergestellt werden, dass die apikale Konstriktion, das Foramen apicale und die Feilenspitze nicht verletzt und in ihrer Lage verändert wurden. Alle Proben wurden auf Unterschnitte im Bereich der Wurzelkanalwände untersucht. Die Schliffebene wurde parallel zur Kunststoffblockebene ausgerichtet. Hierdurch wurde gewährleistet, dass bei der Betrachtung der Schliffe unter dem Mikroskop alle Strukturen in gleicher Schärfe eingestellt werden konnten. Das Aufschleifen der Proben ist ein etabliertes Verfahren und wurde bereits in ähnlichen Studien angewendet (HÖR 2006, STOLL 2007, RODERJAN 2009). Dabei erscheint die Freilegung des Wurzelkanals mittels eines rotierenden, diamantierten und frei in der Hand gehaltenen Schleifkörpers für die spätere histologische Auswertung unter einem Mikroskop weniger sinnvoll, da eine einheitliche Schliffebene mit allen wichtigen anatomischen Strukturen nur schwer zu erzielen ist (RODERJAN 2009).

Wenn auf eine histologische Auswertung der apikalen Region verzichtet werden soll, kann ein Messinstrument im Wurzelkanal vorgeschoben werden, bis der Austritt des Instruments aus dem Foramen apicale unter dem Mikroskop festgestellt wird. Anschließend kann dann die endometrische Vermessung erfolgen (FELIPPE et al.

2008). In einer In-vitro Studie zur Überprüfung der Messskala eines Endometriegeräts wurde eine Messvorrichtung verwendet, mit der die Messfeile in Millimeterschritten vorgeschoben werden konnte. Zur späteren Auswertung erfolgte allerdings auch hier die histologische Auswertung durch Freilegung der apikalen Region mittels rotierendem Schleifkörper (HÖR 2006). Studien, in denen das Messinstrument zur späteren Auswertung im Wurzelkanal reponiert werden muss, beinhalten ein hohes Maß an Messunsicherheit und sollten als Messmethode zur Überprüfung von Endometriegeräten nicht ausgewählt werden. Eine erneute Reposition birgt nicht nur die Gefahr der Lageveränderung, sondern auch eine mögliche Veränderung oder gar Destruktion der apikalen Konstriktion.

Eine weitere Methode zur Ermittlung der Messgenauigkeit von Endometriegeräten besteht im Vergleich zwischen der endometrisch bestimmten Arbeitslänge an einem extrahierten Zahn und einer anschließend angefertigten röntgenologischen Messaufnahme. Eine histologische Auswertung kann so entfallen. Allerdings muss dabei die hohe Messunsicherheit von radiologisch ermittelten Arbeitslängen berücksichtigt werden, sodass diese Methode zur Überprüfung der Messgenauigkeit von Endometriegeräten als nicht sinnvoll erscheint (APPEL 2008). Darüber hinaus wäre keine Aussage über die Treffsicherheit der Lagebestimmung von anatomischen Strukturen, wie z.B. der apikalen Konstriktion oder dem Foramen apicale, zu erzielen. Für eine In-vivo-Untersuchung, bei der die ausgemessenen Zähne nicht extrahiert werden, ist diese Methode allerdings die einzig mögliche.

Insgesamt erscheint die Ausmessung der Proben unter Sicht die sinnvollste Methode zur Beurteilung der Treffsicherheit von anatomischen Strukturen im Wurzelkanal zu sein. Mittels einer Fixierung des Instruments im Wurzelkanal kann nach Probenaufbereitung auf eine spätere Reposition des Messinstruments verzichtet und somit die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht werden.

Die Auswertung der unter dem Mikroskop erstellten Bilddatei erfolgte zunächst mit Hilfe eines selbstgeschriebenen Computerprogramms. Beide gegenüberliegenden Wurzelkanalwände wurden von apikal nach koronal abgefahren und die geringste Distanz der beiden Strecken ermittelt. Die dazu gehörenden Punkte auf der Wurzelkanalwand entsprachen der apikalen Konstriktion. Nur in wenigen Fällen lagen die ermittelten Punkte auf einer Höhe im Wurzelkanal, in der Mehrzahl der Fälle lagen beide Punkte mit einer Differenz von mehreren Millimetern voneinander

entfernt. Diese Seitendifferenz ist mit der Morphologie der apikalen Konstriktion aus anderen Arbeiten vergleichbar, in denen eine Lageabweichung der beiden Punkte von 1-3 mm beschrieben werden konnte (GUTIERREZ & AGUAYO 1995). Sollte es sich bei der jeweiligen Morphologie nicht um eine klassische Konstriktion handeln, sondern eine Multi- oder Parallelkonstriktion vorliegen, wurde in diesen Fällen die am weitesten apikal liegende engste Stelle des Wurzelkanals ausgewählt.

Für die Bestimmung der Abstände der anatomischen Strukturen und der Instrumentenlage wurde zunächst das Foramen apicale mit Photoshop eingezeichnet. Die Breite der apikalen Konstriktion sowie des Foramen apicale wurden mit dem Linealwerkzeug ermittelt. Die Berechnung der Instrumentenlage im Wurzelkanal erfolgte mit Hilfe der Höhenberechnung für ein Dreieck. Dieses Vorgehen berücksichtigt, dass die gegenüberliegenden Punkte der apikalen Konstriktion und des Foramen apicale sehr häufig nicht auf einer gleichen Höhe liegen und damit von der Instrumentenspitze unterschiedliche Abstände aufweisen. Diese Berechnung berücksichtigt auch die Tatsache, dass gerade im apikalen Bereich der Wurzelkanal schräg verläuft und nicht immer geradlinig den Zahn nach außen öffnet.

Diese Methode zur Ermittlung und Berechnung der Abstände über die Lage des Messinstruments oder der anatomischen Strukturen ist zurzeit in keiner der vorliegenden Arbeiten zur Messgenauigkeit von Endometriegeräten beschrieben. Das Auffinden der anatomischen Strukturen, z.B. der apikalen Konstriktion, erfolgte in den meisten Studien jeweils subjektiv, und damit nur gering reproduzierbar, durch visuelle Betrachtung des Untersuchers. In keiner Studie konnte damit sichergestellt werden, dass in allen Proben, die in den Ergebnissen berücksichtigt wurden, die apikale Konstriktion reproduzierbar bestimmt werden konnte. Weiter bleibt in allen zurzeit vorliegenden Studien unklar, wie die Lage der Instrumentenspitze im Wurzelkanal ermittelt wurde.

5.2 Diskussion der Ergebnisse (Messgenauigkeit)

Für die Breite der apikalen Konstriktion konnte in der vorliegenden Arbeit ein Median von 0,25 bis 0,261 mm ermittelt werden. Das Foramen apicale war im Median mit 0,59 bis 0,61 mm mehr als doppelt so breit. In der Literatur wird der Durchmesser des Foramen apicale mit einer Streubreite von 0,08 bis 0,6 mm angegeben

(HÜLSMANN 2008). Setzt man die ermittelten Breiten mit denen der Literatur in ein Verhältnis, so kann davon ausgegangen werden, dass eine vergleichbare Morphologie bei den in dieser Studie verwendeten Zähnen vorlag.

Der Abstand der apikalen Konstriktion vom Foramen apicale lag im Median zwischen 0,25 mm und 0,35 mm. Der größte Abstand konnte mit einem Maximum von bis zu 1,6 mm errechnet werden.

Die mittlere Distanz der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale beträgt nach Kuttler (1955) für Patienten im Alter von 18 bis 25 Jahren 0,524 mm. In einer anderen Arbeit wird die Entfernung der apikalen Konstriktion zum Apex mit einer Streubreite von 0,07 bis 2,69 mm angegeben (DUMMER et al. 1984). Bei Green liegt die apikale Konstriktion in 50 - 98% bis zu 3 mm vom anatomischen Apex entfernt (GREEN 1956). Nach einem Vergleich mit den in der Literatur zu findenden Daten kann von einer hohen Übereinstimmung der ermittelten Abstände apikale Konstriktion- Foramen apicale ausgegangen werden. Für einen Vergleich mit Messergebnissen aus anderen Studien ist es unerlässlich, in Bezug auf die verwendeten Proben von einheitlichen oder mindestens ähnlichen Voraussetzungen ausgehen zu können.

Für die Lage der Instrumentenspitze konnte in allen drei Versuchsgruppen kein signifikanter Zusammenhang zu der Breite der apikalen Konstriktion oder dem Foramen apicale ermittelt werden. Lediglich in der Gruppe Raypex zeigte sich mit $-0,442$ ein eher schwacher gegenläufiger Zusammenhang mit der Breite des Foramen apicale. Bei einer geringeren Breite des Foramen apicale lag die Instrumentenspitze eher in der Nähe der apikalen Konstriktion als bei einer größeren Breite.

5.2.1 EndoPilot ohne rotierendes Messinstrument

Der EndoPilot wurde in der ersten Versuchsgruppe als reines Endometriegerät zur passiven Bestimmung der Arbeitslänge verwendet. Die Instrumentenspitze lag im Median 0,012 mm koronal der festgelegten apikalen Konstriktion. Der höchste ermittelte Abstand betrug 0,450 mm und lag koronal der apikalen Konstriktion. Mit 41,86% erreichte die Messinstrumentenspitze das Trefferintervall apikale Konstriktion – Foramen apicale. Zu 53,49% befand sich die Instrumentenspitze vor der apikalen Konstriktion.

Damit kann die ermittelte Arbeitslänge in mehr als der Hälfte dieser Proben als nicht ausreichend bezeichnet werden und führte somit zu einer Unterinstrumentierung des

Wurzelkanals. Im Falle einer nekrotischen Erkrankung der Pulpa würde dann infiziertes Gewebe im Kanal verbleiben. Dies kann dazu führen, dass eine bestehende Entzündung möglicherweise nicht abheilt bzw. im Falle einer chronischen Entzündung akut wieder aufflammen könnte.

Betrachtet man allerdings die Höhe der Abstände im Median von nur 0,012 mm, kann davon ausgegangen werden, dass der ermittelte Wert in der klinischen Anwendung, z.B. bei der Übertragung der Arbeitslänge auf das Arbeitsinstrument, kaum Relevanz besitzt. Des Weiteren ist anzuführen, dass in vielen vergleichbaren Arbeiten eine Toleranzgrenze von bis zu 0,5 mm um die apikale Konstriktion festgelegt wurde, in deren Grenzen die Instrumentenspitze als Treffer gewertet wurde (CZERW et al. 1995, VAJRABHAYA & TEPMONGKOL 1997).

Aus physikalischen Gesichtspunkten ist eine direkte Bestimmung der apikalen Konstriktion nicht möglich. Mit der Hilfe von Endometriegeräten kann allerdings mit hoher Sicherheit ein Punkt zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale ermittelt werden (HÖR 2006). Dennoch kann die apikale Konstriktion mit dem Gerät Endopilot mittels der passiven Arbeitslängenbestimmung sehr genau ermittelt werden. In der klinischen Handhabung könnte allerdings ein weniger sensibles Display mit kleineren Intervallsprüngen von Nutzen sein. Das vorliegende Display hatte im Studienablauf zur Probenherstellung die exakte Referenzpunkteinstellung erheblich erschwert und erhöhte damit die Dauer der Instrumenteneinstellung.

5.2.3 EndoPilot mit rotierendem Messinstrument

Der EndoPilot mit rotierendem Messinstrument ermöglicht eine endometrische Arbeitslängenkontrolle bei gleichzeitiger Wurzelkanalaufbereitung. Im Median lag die Instrumentenspitze mit 0,097 mm apikal der apikalen Konstriktion und 0,187 mm vor dem Foramen apicale. Mit -0,325 mm konnte in dieser Gruppe der höchste Wert für das Messinstrument apikal dem Foramen apicale ermittelt werden. Nur in 30,95% der untersuchten Wurzelkanäle befand sich die Instrumentenspitze im Intervall apikale Konstriktion – Foramen apicale. In 23,84% der Proben konnte die Instrumentenspitze apikal vom Foramen apicale beobachtet werden. Damit wurde der Wurzelkanal etwa in jeder vierten Probe mit der rotierenden Feile überinstrumentiert.

Eine so große Überinstrumentierung des Wurzelkanals kann in der klinischen Anwendung zu erheblichen Komplikationen führen. Infiziertes Material kann so nach

apikal über den Apex transportiert werden und zu persistierenden Schmerzen führen. Die Langzeitprognose für die spätere Wurzelkanalbehandlung wäre in diesem Fall herabgesetzt (RICUCCI 1998). Ein weiterer Nachteil einer Überinstrumentierung ist die fehlende Möglichkeit, den für die spätere Wurzelkanalfüllung notwendigen apikalen Stopp zu schaffen.

Eine falsche oder ungenügend kontrollierte Handhabung durch den Untersucher ist ausgeschlossen, da die automatische Stoppfunktion am Gerät eingeschaltet wurde. Laut Herstellerangaben kann so die Rotation des Messinstrumentes am zuvor eingestellten Referenzpunkt gestoppt werden. Die jeweilige Stoppdauer betrug am Fußpedal 2 Sekunden, in denen keine erneute Rotation ausgelöst werden konnte.

In einer vergleichbaren Studie zur maschinellen Aufbereitung bei gleichzeitiger Kontrolle der Aufbereitungslänge mit Hilfe des EndoPiloten konnte für 12,96% der untersuchten Wurzelkanäle eine Überinstrumentierung über den Wurzelkanal hinaus beobachtet werden (RODERJAN 2009). Die eher heterogene Verteilung der Feilenspitzenlage könnte sich durch einen nur geringfügig unterschiedlichen Druck zwischen den Proben auf das Endometriewinkelstück erklären lassen. Auch ist fraglich, welchen Einfluss der automatische Rotationsstopp auf die Messgenauigkeit nimmt.

Für das Gerät Dentaport ZX, ein Gerät zur maschinellen Aufbereitung mit gleichzeitiger endometrischer Aufbereitungskontrolle, raten die Autoren nach Ergebnisanalyse zur getrennten Anwendung beider Funktionen (FELIPPE et al. 2008). Es wird daher postuliert, dass eine gleichzeitige maschinelle Wurzelkanalaufbereitung in Kombination mit der Arbeitslängenbestimmung nicht sinnvoll in der Anwendung sei, da bereits beim Motorstopp die apikale Konstriktion überschritten wäre. Als Gründe können dafür die Trägheit des Motors oder die Zeit für eine Informationsübertragung von der Instrumentenspitze zum Motor herangezogen werden (BARGHOLZ 2006). Auch der nur geringe Abstand zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale, der in der vorliegenden Studie im Median 0,26 mm betrug, verdeutlichen die Schwierigkeit einer Kombination von einer maschinellen Wurzelkanalaufbereitung und der gleichzeitigen Arbeitslängenbestimmung.

5.2.2 Raypex 6

In der dritten Versuchsgruppe lag die Instrumentenspitze mit 0,051 mm im Median über (koronal) der apikalen Konstriktion. Mit einem Minimum von 0,540 mm wurde der größte Abstand zur apikalen Konstriktion bestimmt. Das Intervall apikale Konstriktion – Foramen apicale konnte mit 51,22% genau ermittelt werden. In 46,34% lag die Instrumentenspitze koronal vom Intervall bzw. der apikalen Konstriktion. Allerdings betrug die maximale Distanz des Instruments lediglich nur 0,540 mm. In nur 2,44% der Proben konnte eine Überinstrumentierung über den Apex hinaus festgestellt werden. Dies ist mit Abstand der niedrigste Wert im Vergleich zu den anderen beiden Versuchsgruppen. In Bezug auf eine Über- bzw. Unterinstrumentierung von Wurzelkanälen wird die Langzeitprognose für ein knappes Unterschreiten der Arbeitslänge (1 - 1,5 mm vor dem röntgenologischen Apex endend) als besser eingeschätzt (SJOGREN et al. 1990).

In einer Vergleichsstudie von drei Endometriegeräten lag die Treffsicherheit zur korrekten Bestimmung der Lage der apikalen Konstriktion für das Gerät Raypex 5, einem Vorgängermodell von Raypex 6, bei 39,31%. Als Messinstrument kam hier eine Kerr-Feile ISO 10 zum Einsatz (BRISENO-MARROQUIN et al. 2008).

Pascon ermittelte hingegen für das Gerät Raypex 5 eine Treffsicherheit der Arbeitslänge +/- 0,5 mm von nur 31% (PASCON et al. 2009). Bei einer Erweiterung der Toleranzgrenzen von +/- 1mm erhöhte sich die Treffsicherheit auf 82%. Als Messvorrichtung wurde von den Autoren ein Alginatmodell verwendet, als Messinstrument kam eine Kerr- Feile ISO 15 zum Einsatz. In einer Untersuchung von zwei Endometriegeräten konnte das Gerät Raypex 4 in 95% eine Lage zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale detektieren (HOR et al. 2005). In einer weiteren Arbeit zur Etablierung eines neuen Testmodells konnte für das Endometriegerät Raypex 5 nur in 2,5% der Proben eine Überinstrumentierung ermittelt werden (STOLL 2007). Dieser ermittelte Wert korreliert mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Studie.

Bei einem Vergleich der ermittelten Werte aus dieser Studie mit denen aus der Literatur kann bei genauer Betrachtung von gleich guten Ergebnissen ausgegangen werden.

Die Verwendung einer Toleranzgrenze von +/- 0,5 mm oder sogar +/- 1 mm wird als eher kritisch angesehen, betrachtet man den doch nur sehr geringen Abstand der

apikalen Konstriktion zum Foramen apicale. Für die Raypexgruppe lag dieser Wert im Median bei nur 0,3 mm.

5.3. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann geschlossen werden, dass mit Hilfe des Endometriegeräts Raypex 6 eine sichere Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge, vergleichbar mit Raypex 5, möglich ist. Eine exakte und sichere („punktgenaue“) Bestimmung der apikalen Konstriktion ist allerdings mit diesem Gerät nicht möglich, sondern ausschließlich die Detektion des Intervalls apikale Konstriktion – Foramen apicale. Eine Instrumentierung über die anatomischen Strukturen hinaus konnte nur in sehr wenigen Fällen beobachtet werden und spielt bei diesem Endometriegerät keine Rolle.

Der Endopilot in der passiven Technik kann vergleichbar gut, wie zuvor Raypex 6, die endodontische Arbeitslänge bestimmen. Allerdings lagen die ermittelten Arbeitslängen eher an der apikalen Konstriktion als bei dem ersten beschriebenen Gerät. Die Gefahr einer Unterinstrumentierung ist in dieser Gruppe daher geringfügig erhöht. Eine Instrumentierung über die Wurzelspitze bzw. das Foramen apicale hinaus konnte ebenfalls vergleichbar gut ausgeschlossen werden.

Die Arbeitslängenbestimmung mit gleichzeitiger maschineller Wurzelkanalaufbereitung erfolgte im Vergleich zu den bereits beschriebenen Messmethoden weniger sicher. Bei mehr als 69% der Proben lag die Feile koronal der apikalen Konstriktion oder apikal vom Foramen apicale. Hierbei könnte z.B. ein zu starker / geringer Führungsdruck des Endometriewinkelstücks maßgeblich sein. Auch der vom Hersteller vorgegebene Rotationsstopp könnte hierbei eine wichtige Rolle spielen.

Die Breite der apikalen Konstriktion oder des Foramen apicale haben für das Endometriegerät Endopilot in der passiven sowie in der aktiven Längenbestimmung keinen Einfluss in Bezug auf die Messgenauigkeit.

Für das untersuchte Endometriegerät Raypex 6 konnte allerdings ein leicht gegenläufiger Zusammenhang mit der Lage der Feilenspitze zur apikalen Konstriktion und der Breite des Foramen apicale ermittelt werden. Das für dieses Gerät verwendete Messverfahren kann somit umso eher die apikale Konstriktion ermitteln je breiter das Foramen apicale ist.

Die in der Studie verwendete Auswertung mit Hilfe einer trigonometrischen Funktion ist eine sichere und exakte Methode, Entfernungen und Distanzen von zwei unterschiedlich langen Seitenwänden zu berechnen. Die Verwendung des Konsolenprogramms sichert eine genaue und reproduzierbare Methode zur Detektion der apikalen Konstriktion.

6. Zusammenfassung

Die endometrische Arbeitslängenbestimmung mit Hilfe von Endometriegeräten der neuesten Generation wird in zahlreichen Studien als eine zuverlässige und sichere Methode bezeichnet, die dem Behandler nicht als alleiniges Messverfahren, sondern als ergänzende Methode zur Bestimmung der Aufbereitungslänge des Wurzelkanals dienen sollte. Durch diese Kombination wird eine Reduktion der röntgenologischen Bildaufnahmen und damit eine Reduktion der Strahlenbelastung des Patienten möglich. Der schnelle und auch gefahrlose Einsatz ermöglicht dem Kliniker einen ökonomischen Einsatz bei gleichzeitiger qualitativ hochwertiger Behandlung.

In der vorliegenden Studie erfolgte die Überprüfung von drei verschiedenen Messverfahren durch zwei unterschiedliche Endometriegeräte. Das Messgerät Raypex 6 wurde dabei mit dem Gerät EndoPilot mit und ohne rotierendem Messinstrument verglichen. Hierfür erfolgte die Bildung von 3 Versuchsgruppen, auf die jeweils 40 Zähne aufgeteilt wurden. Für den Messvorgang wurde dann ein bereits etabliertes Messverfahren ausgewählt, bei dem die Probenzähne über einer NaCl-Lösung fixiert werden konnten. Als Messinstrument diente jeweils in Abhängigkeit von dem vorliegenden Verfahren entweder eine Kerr-Feile oder eine MTwo-Feile der ISO-Größe 10. Nach der Fixierung der Messfeile im Wurzelkanal erfolgte dann die Herstellung von Probelöcken, die nach Bearbeitung aufgeschliffen und unter einem Auflichtmikroskop ausgewertet wurden.

Für diese histologische Auswertung der Proben konnte ein bisher unbekanntes Verfahren entwickelt und auf alle ausgewerteten Proben angewandt werden. Dabei wurden die apikale Konstriktion und die Lage der Messinstrumentenspitze durch eine objektivierte Auswertung ermittelt. In allen Proben konnten nun die anatomischen Strukturen gleich gut und reproduzierbar bestimmt werden. Die ausgewählte Methode zur Ermittlung der Lageabstände von der Instrumentenspitze zu den anatomischen Strukturen berücksichtigte in einzigartiger Weise die vor allem im apikalen Bereich befindlichen Krümmungen des Wurzelkanals.

Das in dieser Arbeit überprüfte Endometriegerät Raypex 6 ermittelte sicher und zuverlässig die Arbeitslänge. Die Lage der Instrumentenspitze konnte im Trefferbereich apikale Konstriktion – Foramen apicale in mehr als 51% registriert werden. Die Gefahr einer Instrumentierung über die anatomischen Strukturen hinaus

ist auch bei sehr kleinem Abstand der apikalen Konstriktion zum Foramen apicale mit weniger als 3% der Fälle sehr gering und spielt für dieses Endometriegerät in der routinierten Anwendung keine wesentliche Rolle. Die Breite des Foramen apicale nimmt auf die Lagebeziehung Feilenspitze zur apikalen Konstriktion nur einen leichten Einfluss. Die ermittelten Werte sind mit denen für das Vorgängermodell Raypex 5 vergleichbar. Allerdings konnte die visuelle Darstellung durch ein verbessertes Display gesteigert werden.

Die passive Arbeitslängenbestimmung mit Hilfe des EndoPiloten ist bezüglich der Messgenauigkeit mit dem Gerät Raypex 6 vergleichbar. Mit dem EndoPiloten konnte die apikale Konstriktion jedoch genauer bestimmt werden. Die Gefahr einer Unterinstrumentierung ist hierbei leicht erhöht. Die Breite der apikalen Konstriktion oder des Foramen apicale spielen keine Rolle für die Lage der Feilenspitze.

Das sensible Display erschwerte jedoch eine schnelle und sichere Referenzpunkteinstellung. Die Kombination von maschineller Aufbereitung bei gleichzeitiger Arbeitslängenbestimmung führte bei fast jeder vierten Probe zu einer Überinstrumentierung des Wurzelkanals. Das Intervall apikale Konstriktion – Foramen apicale konnte in weniger als 31% getroffen werden. Dieses Verfahren erscheint für die Arbeitslängenbestimmung als eher unsichere Methode.

7. Literaturverzeichnis

- ABBOTT P V: Factors associated with continuing pain in endodontics. Aust Dent J 39: 157-61 (1994)
- ALLARD U, PALMQVIST S: A radiographic survey of periapical conditions in elderly people in a Swedish county population. Endod Dent Traumatol 2: 103-8 (1986)
- APPEL C: Die endodontische Arbeitslänge - zwischen Wissenschaft und Tradition. Endodontie 17: 375-381 (2008)
- BARGHOLZ C H, D.; ZIRKEL, C;: Praxisleitfaden Endodontie. Urban & Fischer München Jena (2006)
- BLASKOVIC-SUBAT V, MARICIC B, SUTALO J: Asymmetry of the root canal foramen. International endodontic journal 25: 158-64 (1992)
- BRISENO-MARROQUIN B, FRAJLICH S, GOLDBERG F, WILLERSHAUSEN B: Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. Journal of endodontics 34: 698-702 (2008)
- CAMPBELL D, FRIEDMAN S, NGUYEN H Q, KAUFMAN A, KEILA S: Apical extent of rotary canal instrumentation with an apex-locating handpiece in vitro. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 85: 319-24 (1998)
- CHUNN C B, ZARDIACKAS L D, MENKE R A: In vivo root canal length determination using the Foramer. Journal of endodontics 7: 505-20 (1981)
- COX V S, BROWN C E, JR., BRICKER S L, NEWTON C W: Radiographic interpretation of endodontic file length. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 72: 340-4 (1991)
- CZERW R J, FULKERSON M S, DONNELLY J C: An in vitro test of a simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. J Endod. 1994 Dec;20(12):605-6.:
- CZERW R J, FULKERSON M S, DONNELLY J C, WALMANN J O: In vitro evaluation of the accuracy of several electronic apex locators. Journal of endodontics 21: 572-5 (1995)
- DGZ BEIRAT: Good Clinical Practice. 95(16): 56-58 (2005)
- DGZ & DGZMK: Wurzelkanalaufbereitung. 55: 719-725 (2000)
- DGZ & DGZMK: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. Dtsch Zahnärztl Z, 2001 (vol 56).
- DGZMK: Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. 59: 605-606 (2004)

- DONNELLY J C: A simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. *Journal of endodontics* 19: 579-80 (1993)
- DUMMER P M, MCGINN J H, REES D G: The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *International endodontic journal* 17: 192-8 (1984)
- ENDODONTOLOGIE E G F: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. *Endodontie* 15(4): 387-401 (2006)
- ERIKSEN H M: Endodontology--epidemiologic considerations. *Endod Dent Traumatol* 7: 189-95 (1991)
- ESE: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen. *Endodontie* 3/4: 263-276 (2004)
- FELIPPE M C, SOARES I J: In vitro evaluation of an audiometric device in locating the apical foramen of teeth. *Endod Dent Traumatol* 10: 220-2 (1994)
- FELIPPE W T, FELIPPE M C, REYES CARMONA J, CROZOE F C, ALVISI B B: Ex vivo evaluation of the ability of the ROOT ZX II to locate the apical foramen and to control the apical extent of rotary canal instrumentation. *International endodontic journal* 41: 502-7 (2008)
- GALLER K: Vier elektronische Wurzelkanalmessgeräte im klinischen Vergleich mit Röntgenmesstechnik und tatsächlicher Länge. *Zahnmed.Diss., Mainz* 2002, 2002.
- GAMBAL A H, M.: Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem Tri- Auto- ZX- Winkelstück. *Endodontie* 12/4: 353-364 (2003)
- GORDON M P, CHANDLER N P: Electronic apex locators. *International endodontic journal* 37: 425-37 (2004)
- GORNI F G, GAGLIANI M M: The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *Journal of endodontics* 30: 1-4 (2004)
- GREEN D: A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 9: 1224-32 (1956)
- GUISE G M, GOODELL G G, IMAMURA G M: In vitro comparison of three electronic apex locators. *Journal of endodontics* 36: 279-81 (2010)
- GULDENER P L, K.: *Endodontologie Georg Thieme Stuttgart*(1993)
- GUTIERREZ J H, AGUAYO P: Apical foraminal openings in human teeth. Number and location. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79: 769-77 (1995)
- HABL C B, A.; STÜRZLINGER, H.: Wurzelkanalbehandlung an Molaren. *Schriftenreihe Health Technology Assessment: DIMDI, 2005 (vol Band 18).*

- HELLWIG E, Klimek J, Attin T.: Einführung in die Zahnerhaltung. 6.Auflage. München, Jena: Urban & Fischer, 2013
- HOFFMANN-AXTHELM: Lexikon der Zahnmedizin Lexikon der Zahnmedizin: Quintessenz Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- HOR D, KRUSY S, ATTIN T: Ex vivo comparison of two electronic apex locators with different scales and frequencies. International endodontic journal 38: 855-9 (2005)
- HÖR D: Die Arbeitslänge zuverlässig bestimmen. Dentalzeitung 1: 24-26 (2005)
- HÖR D A, T.: Die elektrische Längenbestimmung des Wurzelkanals. Endodontie 1: 39-56 (2001)
- HÖR D A, T.: In-vitro-Untersuchung zur Messgenauigkeit des Endometriegerätes Raypex 5. Endodontie 15: 57-63 (2006)
- HUANG L: An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. Journal of endodontics 13: 60-4 (1987)
- HÜLSMANN M, HAHN W: Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. International endodontic journal 33: 186-93 (2000)
- HÜLSMANN M: Endodontie. Georg Thieme Verlag (2008)
- HÜLSMANN M S, E.: Probleme in der Endodontie. Quintessenz Verlags-GmbH (2007)
- Jobb, B. and V. Wiwanitkit: Electronic apex locators in the presence of various irrigants. J Conserv Dent 15(4): 399 (2012)
- KLEIN-URBAN B: Messgenauigkeit und Linearität der Messkurven verschiedener Endometriegeräte im nahen Apexbereich. Zahnmed.Diss., Marburg 2010, 2010.
- KLIMM W: Endodontologie: Fachbuch für Grundlagen und Praxis. Deutscher Zahnärztlicher Verlag (2003)
- KOBAYASHI C: Electronic canal length measurement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 79: 226-31 (1995)
- KOBAYASHI C S, H.: New electronic canal measuring device based on the ratio method. Journal of endodontics 20: 689-694 (1994)
- KUTTLER Y: Microscopic investigation of root apexes. J Am Dent Assoc 50: 544-52 (1955)
- KUTTLER Y: A precision and biologic root canal filling technic. J Am Dent Assoc 56: 38-50 (1958)

- LAUPER R, LUTZ F, BARBAKOW F: An in vivo comparison of gradient and absolute impedance electronic apex locators. *Journal of endodontics* 22: 260-3 (1996)
- LIANG Y H, LI G, SHEMESH H, WESSELINK P R, WU M K: The association between complete absence of post-treatment periapical lesion and quality of root canal filling. *Clin Oral Investig*: (2012)
- MARKULA-LIEGAU A: In vitro Untersuchung zur Endometrie mit dem Messgerät Root ZX. *Zahnmed.Diss., Erlangen* 1996, 1996.
- MAYEDA D L, SIMON J H, AIMAR D F, FINLEY K: In vivo measurement accuracy in vital and necrotic canals with the Endex apex locator. *Journal of endodontics* 19: 545-8 (1993)
- MCDONALD N J, HOVLAND E J: An evaluation of the Apex Locator Endocater. *Journal of endodontics* 16: 5-8 (1990)
- MCDONALD N J: The electronic determination of working length. *Dental clinics of North America* 36: 293-307 (1992)
- NAIR P N, HENRY S, CANO V, VERA J: Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 99: 231-52 (2005)
- OISHI A, YOSHIOKA T, KOBAYASHI C, SUDA H: Electronic detection of root canal constrictions. *Journal of endodontics* 28: 361-4 (2002)
- OLSON A K, GOERIG A C, CAVATAIO R E, LUCIANO J: The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. *International endodontic journal* 24: 28-35 (1991)
- OUNSI H F, NAAMAN A: In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator. *International endodontic journal* 32: 120-3 (1999)
- PAHNCKE D, SCHEFFLER T, SOBKOWIAK E M, UNGER H, VRANA J: [Electrical measurement of the length of root canals. 2: New electric method for determining the apical foramen]. *Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde mit Zentralblatt* 74: 240-4 (1986)
- PALMER M J, WEINE F S, HEALEY H J: Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. *J Can Dent Assoc (Tor)* 37: 305-8 (1971)
- PASCON E A, MARRELLI M, CONGI O, CIANCIO R, MICELI F, VERSIANI M A: An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108: e147-51 (2009)
- PINEDA F, KUTTLER Y: Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 33: 101-10 (1972)

- PONCE E H, VILAR FERNANDEZ J A: The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *Journal of endodontics* 29: 214-9 (2003)
- RAMACHANDRAN NAIR P N: Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *Journal of endodontics* 13: 29-39 (1987)
- RICUCCI D: Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *International endodontic journal* 31: 384-93 (1998)
- RICUCCI D, LANGELAND K: Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *International endodontic journal* 31: 394-409 (1998)
- RICUCCI D, RUSSO J, RUTBERG M, BURLESON J A, SPANGBERG L S: A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 112: 825-42 (2011)
- RODERJAN M C: In vitro Untersuchung dreier Endometriegeräte zur maschinellen Aufbereitung mit integrierter Apexlokalisation. *Zahnmed. Diss Hamburg* 2009, 2009.
- SCHAEFFER M A, WHITE R R, WALTON R E: Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *Journal of endodontics* 31: 271-4 (2005)
- SCHÄFER E: Metallurgie und Eigenschaft von Nickel-Titan-Handinstrumenten. *Endodontie* 8: 213 (1999)
- SCHÄFER E: Endodontie. Heidemann, D. Urban & Fischer, München Jena(2001)
- SCHROEDER H E: Orale Srukturbiologie. Georg Thieme Verlag (2000)
- SHABAHANG S, GOON W W, GLUSKIN A H: An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *Journal of endodontics* 22: 616-8 (1996)
- Singh, S. V., V. Nikhil, et al.: An in vivo comparative evaluation to determine the accuracy of working length between radiographic and electronic apex locators. *Indian J Dent Res* 23(3): 359-362 (2012).
- SJOGREN U, HAGGLUND B, SUNDQVIST G, WING K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of endodontics* 16: 498-504 (1990)
- STEIN T J, CORCORAN J F: Anatomy of the root apex and its histologic changes with age. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 69: 238-42 (1990)
- STOLL M: Evaluation eines neuen Modells zur In.vitro Testung von Endometriegeräten. *Zahnmed.Diss., Freiburg* 2007.
- SUNADA I: New method for measuring the length of the root canal. *Jpn Dent Res* 41: 375-387 (1962)

- SUZUKI K: Experimental study on inotophoresis. JPN J Stomatol 16: 411-429 (1942)
- THOMAS A S, HARTWELL G R, MOON P C: The accuracy of the Root ZX electronic apex locator using stainless-steel and nickel-titanium files. Journal of endodontics 29: 662-3 (2003)
- TINAZ A C, ALACAM T, TOPUZ O: A simple model to demonstrate the electronic apex locator. International endodontic journal 35: 940-5 (2002)
- TSELNIK M, BAUMGARTNER J C, MARSHALL J G: An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators. Journal of endodontics 31: 507-9 (2005)
- TULUS G S-B, U.: Erfolgreiche maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Endodontie Journal 47 (1): (2002)
- VAJRABHAYA L, TEPMONGKOL P: Accuracy of apex locator. Endod Dent Traumatol 13: 180-2 (1997)
- VANDE VOORDE H E, BJORNDahl A M: Estimating endodontic "working length" with paralleling radiographs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 27: 106-10 (1969)
- Vasconcelos, B. C., A. Matos Lde, et al. "Ex vivo accuracy of three electronic apex locators using different apical file sizes." Braz Dent J **23**(3): 199-204 (2012).
- VOß A: Die Endometrie - eine fragwürdige Methode der Längenbestimmung des Wurzelkanals. Dtsch Zahnärztl Z. 44: 606-609 (1989)
- WEIßIG H S, L.; THIEME, R., HORBERT, R.; REDJABO, N.: Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Fachbereich KZBV Statistik Köln: (2011)
- ZERO D T, ZANDONA A F, VAIL M M, SPOLNIK K J: Dental caries and pulpal disease. Dental clinics of North America 55: 29-46 (2011)

8. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
anat.	anatomisch
ap.	apikal
bzw.	beziehungsweise
cdj	cemento-dental junction
comp.	comparison
D	Deutschland
diff.	Differenz
EH	1. Versuchsgruppe (Schlumbohm ohne Instrumentenrotation)
EM	2. Versuchsgruppe (Schlumbohm mit Instrumentenrotation)
etc.	etcetera
F	Feilenspitze
For.	Foramen
FsA	Abstand Feilenspitze zum Foramen apicale
FsK	Abstand Feilenspitze zur apikalen Konstriktion
gem.	gemessen
ggf.	gegebenenfalls
horiz.	horizontal
KB	Konstriktionsbreite
LI	Fürstentum Lichtenstein
mm	Millimeter
q	Quantum
röntg.	röntgenologisch
Sek.	Sekunden
Tab.	Tabelle
u.	und
vs	versus
WF	Wurzelkanalfüllung
WK	Wurzelkanalbehandlung
z.B.	zum Beispiel

9. Danksagung

Ich bedanke mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dörfer für die Erlaubnis zur Benutzung der Räumlichkeiten und Materialien der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie.

Bei meiner Doktormutter Frau Prof. Größner-Schreiber bedanke ich mich sehr für die Überlassung des Themas und die zahlreichen guten Ratschläge, die für die Korrektur dieser Arbeit notwendig waren.

Herr Dr. Christofzik unterstützte mich mit Rat und Tat bei der Erstellung und brachte viele gute Ideen bei der Umsetzung mit ein. Alexander Härtl entwickelte das Konsolenprogramm.

Besonders möchte ich mich bei meiner Frau Dr. Ardebili bedanken, die gemeinsam mit meinem Bruder Jan-Hendrik Flörke bei der Korrektur der Arbeit behilflich waren. Ihr fröhliches Gemüt und ihre hilfreichen Anmerkungen halfen maßgeblich bei der Fertigstellung.

Meine Eltern Gert und Annegret Flörke halfen mir mit guten Ratschlägen und munterten mich auch in schwierigen Zeiten auf.

10. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Christian Flörke
Geburtsdatum: 9. November 1981
Geburtsort: Bünde (Westfalen)

Schulbildung:

1987-1991 Grundschule Bieren
1991-2001 Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Bünde
2001 Abitur

Weiterer Bildungsweg:

2001-2002 Zivildienst in einer Wohngruppe der Lebenshilfe in Lübbecke
2002-2004 Vorklinisches Studium der Zahnheilkunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2004-2007 Klinisches Studium der Zahnheilkunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2007 Staatsexamen im Fach Zahnheilkunde
2007-2009 Vorklinisches Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2008 Tätigkeit als Ausbildungsassistent in der Praxis Dr. Krummel
2009-2012 Tätigkeit als Assistenz Zahnarzt in der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie Kiel (Prof. Dr. Dörfer)
2009-2013 Klinisches Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2013 Staatsexamen im Fach Humanmedizin
2013 Tätigkeit als Assistenzarzt in der Klinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie Kiel (Prof. Dr. Dr. Wiltfang)

Promotion:

Seit 04/2012 In der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Abstracts:

1. C. Graetz, M. Kahl, C. Springer, J.-F. Wiebe, K. Gomer, C. Flörke, A. Rühling, C. Dörfer

Pilotstudie zur Versorgungsforschung und Entwicklung von Behandlungskonzepten zum Langzeiterhalt von kritischen und hoffnungslosen Zähnen bei aggressiver (AP) und chronischer Parodontitis (CP). DKVF (Abstr. No. FV54), 2010

2. C. Flörke, D. Christofzik, A. Garling, O. Vollrath, A. Hagemann, G. Lutter, C. Dörfer

Eine retrospektive Untersuchung zur leitliniengerechten Antibiotikaprophylaxe nach chirurgisch erfolgter Intervention bei akuter Endokarditis. DKVF (Abstr. No. 0712), 2011

3. S. Sälzer, D.E. Slot, C.A. Schneider, C. Flörke, K. Fawzy El-Sayed, C. Dörfer and F. Weijden

Triclosan versus stannous fluorid containing dentifrice-Systematic review and meta-analyse. IADR Program Book (Abstr. No. 1717), 2013

4. Christofzik D.W., Floerke C, Größner-Schreiber B, Dörfer C

Vergleichende Untersuchung zur Genauigkeit von zwei elektronischen Messgeräten zur Ermittlung der endodontischen Arbeitslänge. Eine In-vitro-Studie.

4. Jahrestagung DGET (Abstr. 1158), 2014