

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. R. Hickel

**Vier elektronische Wurzelkanallängenmessgeräte
im klinischen Vergleich mit
Röntgenmesstechnik und tatsächlicher Länge**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Kerstin Galler

aus
Mainz

2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. L. Kremers

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. M. Reiser
Prof. Dr. I. Rudzki - Janson

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. dent. C. Haffner

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.2002

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1. 1. Der Begriff der Endodontie	1
1. 2. Anatomische Struktur des apikalen Wurzelbereichs	4
1. 3. Schwierigkeiten beim endodontischen Eingriff	6
2. Bestimmung der Arbeitslänge	8
2. 1. Taktile Längenbestimmung	11
2. 2. Röntgenologische Bestimmung	12
2. 2. 1. Beurteilung der röntgenologischen Längenbestimmung	14
2. 2. 2. Digitale Röntgentechnik	16
2. 3. Endometrische Bestimmung	19
2. 3. 1. Elektrophysikalische Grundlagen und Einflussfaktoren der elektrischen Messung	20
2. 3. 2. Beschreibung der unterschiedlichen Gerätetypen	24
2. 3. 2. 1. Endometriegeräte vom Widerstandstyp	24
2. 3. 2. 2. Endometriegeräte vom Impedanztyp.....	25
2. 3. 2. 3. Impedanzgradientenmethode	27
2. 3. 2. 4. Relative Impedanzmessung: Differenz- u. Verhältnismethode ...	29
3. Ziel der Untersuchung	32
4. Material und Methode	34
4. 1. Übersicht über Material und Methode	34
4. 2. Beschreibung der elektronischen Messgeräte	35
4. 2. 1. Gerätebeschreibung Root ZX	35
4. 2. 2. Gerätebeschreibung Endy	36

4. 2. 3. Gerätebeschreibung Justy II	38
4. 2. 4. Gerätebeschreibung Endox	39
4. 2. 5. Vorgehen bei der endometrischen Messung	40
4. 2. 6. Einschränkung der Verwendung elektronischer Wurzelkanallängenmessgeräte	42
4. 3. Praktische Vorgehensweise bei der klinischen Untersuchung	43
4. 3. 1. Auswahl der Patienten	43
4. 3. 2. Auswahl der Zähne	43
4. 3. 3. Vorgehen am Patienten	44
4. 3. 4. Anfertigen eines Röntgenbildes	45
4. 3. 5. Schneiden der Zähne	46
4. 3. 6. Untersuchung der Messobjekte	46
4. 3. 7. Statistische Auswertung	46
5. Ergebnisse	48
5. 1. Ergebnisprotokoll der Messreihen	51
5. 2. Tabellarische Darstellung der Ergebnisse	54
5. 3. Grafische Darstellung der Ergebnisse	61
5. 4. Fotografische Dokumentation	67
5. 5. Statistische Auswertung	72
5. 5. 1. Klasseneinteilung der Endometrieeräte	72
5. 5. 2. Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis	77
5. 5. 2. 1. Einfluss der Vitalität / Devitalität auf das Messergebnis	77
5. 5. 2. 2. Einfluss der Ein- / Mehrwurzigkeit auf das Messergebnis	78
5. 5. 2. 3. Einfluss von Feuchtigkeit auf das Messergebnis	79

6. Diskussion	80
6. 1. Material und Methode	80
6. 2. Diskussion der Versuchsergebnisse	84
6. 2. 1. Bestimmung des Grenzbereichs	84
6. 2. 2. Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis ..	85
6. 2. 3. Vergleich der getesteten Geräte	88
6. 3. Schlussfolgerung	90
7. Zusammenfassung	92
8. Literaturverzeichnis	95
9. Anhang	104
9. 1. Materialliste	104
9. 2. Dokumentationsbogen	105
9. 3. Patienteninformation	106
9. 4. Danksagung	107
9. 5. Lebenslauf	108

1. Einleitung

1. 1. Der Begriff der Endodontie

Die Endodontie beschäftigt sich mit Form und Funktion des Endodonts und der Ätiologie, Pathologie, Prävention, Diagnose und Therapie von Erkrankungen des Endodonts.

Da die Zahnpulpa, das Parenchym des Zahnes, und das umgebende Dentin entwicklungsgeschichtlich eine anatomisch-funktionelle Einheit bilden, wird der Begriff Endodont für diese gesamte Einheit verwendet.

Das Endodont steht über das Foramen apicale sowie durch akzessorische Seitenkanäle mit dem Zahnhalteapparat in Verbindung. Deshalb können Erkrankungen des Endodonts bei deren Fortschreiten im Bereich des Periapex auf das Parodontium übergreifen.

Aus diesem Grund befasst sich die Endodontie auch mit der Ätiologie und Behandlung von Erkrankungen der periapikalen Region.

Das Ziel jeder endodontischen Behandlung ist es, den erkrankten Zahn auf Dauer zu erhalten, sowie schädliche Auswirkungen auf den Gesamtorganismus, welche von einem erkrankten Zahn ausgehen können, zu verhüten.

Die Behandlung des erkrankten Endodonts stellt nunmehr seit Jahrzehnten eine Routinemaßnahme in der zahnärztlichen Praxis dar, neben der Füllungstherapie und der Behandlung des Zahnhalteapparates wird sie als wichtigste zahnerhaltende Maßnahme durchgeführt [77].

Die Endodontie stellt somit einen wichtigen Teilbereich der konservierenden Zahnheilkunde dar.

In mehr als 90 % der Fälle wird die entzündliche Erkrankung der Pulpa durch Karies und ihre Folgeerscheinungen hervorgerufen, des weiteren können thermische, chemische und mechanische Reize ursächlich sein [2].

Während bei reversiblen Pulpaerkrankungen eine Beseitigung der auslösenden Reize zur Ausheilung führen kann, ist bei fortgeschrittenen, irreversiblen Pulpaerkrankungen die endodontische Behandlung indiziert.

Abgesehen von der Schmerzbekämpfung beim Vorliegen einer akuten Pulpitis hat eine Wurzelkanalbehandlung den Zweck der Vorbeugung oder Ausheilung von pathologischen Prozessen im periapikalen Bereich. In diesen Fällen ist meist eine chronische Entzündung feststellbar. Hat sich bereits ein pathologischer Prozess endodontischer Natur in der periapikalen Region etabliert, kann durch Elimination der pathogenen Substanzen im Wurzelkanal und im Pulpencavum sowie der anschließenden Obliteration ein solcher Prozess mit großer Wahrscheinlichkeit zur Heilung gebracht werden.

Das endodontische Vorgehen umfasst die Entfernung entzündlich veränderten oder gangränösen Gewebes, mechanische Säuberung und Aufbereitung sowie Maßnahmen zur Desinfektion des Wurzelkanalsystems, schließlich dessen dichte Obliteration durch die Wurzelkanalfüllung.

Folgendes Vorgehen hat sich hierbei bewährt:

Zunächst wird mit rotierenden Instrumenten eine Zugangskavität präpariert und die Pulpenkammer eröffnet. Anschließend werden die Wurzelkanäleingänge dargestellt. Durch die Aufbereitung wird der Kanal von entzündlich verändertem oder infiziertem Gewebe befreit und zur besseren Aufnahme des Füllungsmaterials systematisch erweitert. Für die exakte Aufbereitung der Wurzelkanäle ist die Bestimmung der Länge der Zahnwurzel erforderlich. Während der Behandlung erfolgt eine mehrmalige Spülung mit desinfizierenden Lösungen.

Eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung lässt sich durch verschiedene Methoden und Techniken erzielen. Es gibt Unterschiede bei der Wahl der Hilfsmittel zur Wurzelkanalaufbereitung, der Spüllösungen, der medikamentösen Einlagen, sowie der Methode zur Bestimmung der Wurzelkanallänge.

Die Beurteilung des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung erfolgt sowohl klinisch als auch durch röntgenologische Kontrolle. Der erfolgreich endodontisch behandelte Zahn soll auch nach Jahren beschwerdefrei sein. Das apikale Desmodont und der umgebende Knochen sollen röntgenologisch keine pathologischen Veränderungen erkennen lassen. Liegt in der Ausgangssituation eine apikale Veränderung vor, so sollte die röntgenologische Verlaufskontrolle einen Rückgang dieser Veränderung im Sinne eines Heilungsprozesses dokumentieren. Der Zahn sollte funktionell belastbar sein.

Die Erfolgsrate unterliegt einer weiten Spanne, wobei diese wesentlich durch den präoperativen Zustand des Zahnes beeinflusst wird.

SJÖGREN et al. konnten in einer Langzeitstudie bis zu einem Zeitraum von 8 - 10 Jahren nach endodontischer Therapie eine Erfolgsquote von insgesamt 91 % nachweisen, wobei Fälle mit periapikalen Läsionen nach Revisionen zu 62 % erfolgreich, Zähne mit Pulpanekrose und periapikaler Aufhellung zu 86 % und initial vitale Zähne ohne periapikale Läsionen zu 96 % erfolgreich behandelt worden waren [63].

1. 2. Anatomische Struktur des apikalen Wurzelbereichs

Der gesamte Pulparaum bildet keinen glattwandigen Hohlraum, sondern ein vielartig gestaltetes, komplexes Kanalsystem, vom Hauptkanal zweigen in verschiedensten Konfigurationen Seitenkanäle ab. Im apikalen Bereich bilden diese Aufzweigungen und akzessorischen Kanäle vielfach ein sogenanntes apikales Delta (apikale Ramifikation) mit akzessorischen Foramina.

Somit steht die Pulpa nicht nur über das Foramen apicale, sondern häufig auch über die akzessorischen Kanäle mit dem Desmodont in Verbindung. Nach DeDEUS finden sich im koronalen Drittel in etwa 1,6 %, im mittleren Drittel in etwa 8,8 % und im apikalen Drittel zu etwa 17 % akzessorische Markkanäle [in SCHNEIDER [59]].

Abbildung 1 stellt verschiedene Konfigurationen von Wurzelkanalsystemen dar. Die Präparate wurden durch Ausgießen der Wurzelkanalsysteme und anschließende Auflösung der Zahnhartsubstanzen gewonnen.

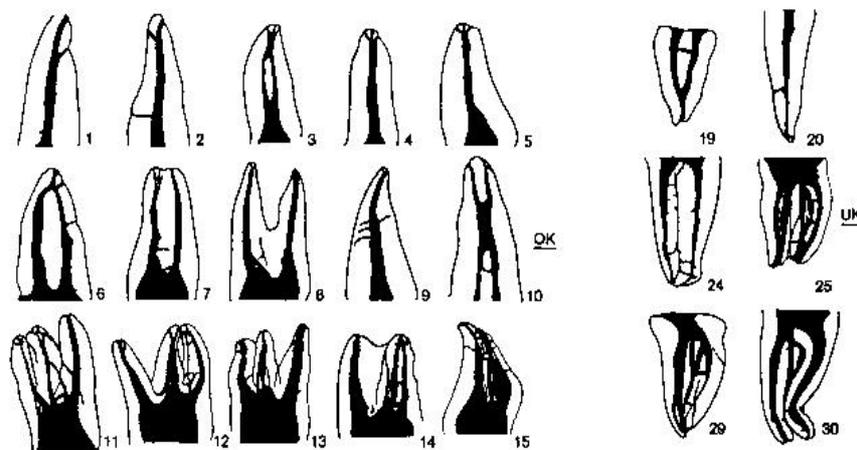


Abbildung 1: Beispiele für die Komplexität des Wurzelkanalsystems nach BAUMANN [2]

Das Foramen apicale bildet den natürlichen Zugang zum Pulparaum.

Der Hauptkanal verjüngt sich meist an der Wurzelspitze. Die engste Stelle am Apex bildet die apikale Konstriktion und wird auch als physiologischer Apex (Foramen physiologicum) bezeichnet. Der Durchmesser beträgt an dieser Stelle etwa 0.15 - 0.25 mm, in der Regel findet sich hier die Zement - Dentin - Grenze [23].

Als anatomischer Apex wird die Stelle des tatsächlichen Überganges vom Pulparaum in die Struktur des umgebenden Knochens bezeichnet. Der röntgenologische Apex wird festgelegt als die Stelle des Zahnes, die sich im Röntgenbild als sichtbare Wurzelspitze darstellt.

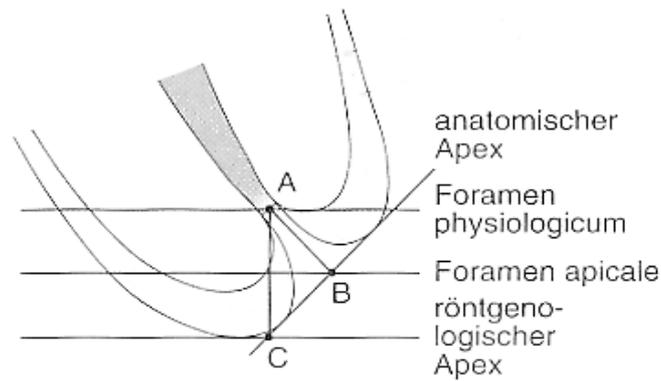


Abbildung 2: Anatomie und Topographie der Wurzelspitze aus HELLWIG et al. [23]

Die durchschnittlichen Distanzen der apikalen Referenzpunkte betragen nach HELLWIG et al. [23] :

Foramen physiologicum - Foramen apicale (Strecke AB) : 0.6 mm

Foramen physiologicum - röntgenologischer Apex (Strecke AC) : 1 mm (0.8 - 1.2 mm)

Den Übergang zwischen dem Pulpagewebe des Markorgans in das Desmodontalgewebe am physiologischen Apex bildet ein faserreiches, von Gefäßen und Nerven durchsetztes, pulpo - parodontales Mischgewebe.

1. 3. Schwierigkeiten beim endodontischen Eingriff

Die Wurzelkanalaufbereitung und -füllung stellen hohe Anforderungen an die Geschicklichkeit des Behandlers.

Im Gegensatz zu vielen anderen Behandlungsabläufen ist hierbei ein Arbeiten unter direkter Sicht nicht möglich. Eine visuelle Kontrolle der zu behandelnden Strukturen sowie der durchgeführten Maßnahmen kann nicht erfolgen. Die einzige Möglichkeit der Visualisierung liegt in der Anfertigung von Röntgenaufnahmen. Hierbei bleibt jedoch zu beachten, dass diese Aufnahmen stets nur zweidimensionale Abbildungen der dreidimensionalen anatomischen Verhältnisse liefern. Dies schränkt die Möglichkeiten der Beurteilung meist ein.

Die Kanalkrümmung ist eine morphologische Eigenart, die endodontische Maßnahmen erschwert. Die Häufigkeit der Krümmung ist von Zahn zu Zahn verschieden. Dabei lassen sich grundsätzlich drei Typen unterscheiden: Kanäle mit apikaler Krümmung, Kanäle mit sichelförmiger Krümmung und Kanäle mit bajonettförmiger Krümmung [59].

Eine Krümmung in der Ebene der Röntgenstrahlung lässt sich durch diese Form der Diagnostik nicht erkennen.

Eine optimale Aufbereitung in gewünschter Länge ist oftmals trotz aller Bemühungen nicht möglich. Die Elimination von Keimen ist durch komplizierte Kanalverhältnisse erschwert. Dies gilt ebenso für Seitenkanäle und akzessorische Kanäle, deren Säuberung und Desinfektion meist nicht möglich ist.

Auch altersbedingte Veränderungen des Wurzelkanals können die Aufbereitung bis zur gewünschten Länge unmöglich machen. Während des Alterungsprozesses wird fortwährend Sekundärdentin angelagert und das Lumen der Pulpahöhle und der Wurzelkanäle wird kontinuierlich kleiner. In Extremfällen kann es zu einer teilweisen oder vollständigen Obliteration des Wurzelkanals kommen.

In den der Säuberung und Desinfektion nicht zugänglichen Bereichen können Keime verbleiben, die ein Fortschreiten des pathologischen Prozesses bewirken.

Mit der Wurzelkanalbehandlung soll nun einerseits eine möglichst vollständige Entfernung des entzündeten, nekrotischen oder infizierten Gewebes erfolgen, da der Bereich des

Wurzelkanalsystems der körpereigenen Abwehr durch die nicht vorhandene Blutzufuhr unzugänglich ist und sich hier Bakterien vermehren und nach apikal ausbreiten können. Andererseits soll eine Verletzung des pulpo - parodontalen Mischgewebes bzw. eine Infektion des apikalen Parodonts durch Keime aus dem Kanal verhindert werden.

Um dies zu gewährleisten, muss vor Aufbereitung des Kanals die Länge festgelegt werden, bis zu welcher instrumentiert und gefüllt werden soll.

Da mit der Aufbereitung eine vollständige Entfernung des Pulpagewebes und eine absolute Sterilisation des Kanals nicht möglich ist, wird versucht, durch einen dichten Verschluss des Kanals gegen das periapikale Gewebe ein Übergreifen der Infektion von verbliebenem Gewebe auf die Strukturen des Zahnhalteapparates zu verhindern.

Nach Veranschaulichung der anatomischen Verhältnisse sowie der Bedingungen, welche den Erfolg des endodontischen Eingriffes in Frage stellen können, wird deutlich, dass die Wurzelkanalbehandlung ein Versuch bleibt, bereits vorgeschädigte Zähne zu erhalten.

Das Risiko eines endodontischen Misserfolges steigt hierbei sicherlich bei zunehmend ungünstigen Ausgangsbedingungen an.

Die klinische Erfahrung zeigt, dass eine Erhaltung marktoter Zähne trotz der erwähnten Probleme möglich ist [48].

Auch in Zukunft wird Forschungsarbeit im Bereich der Endodontie nötig sein, um das Risiko eines endodontischen Misserfolges weiter zu minimieren und um Verfahren und Techniken zu optimieren, so dass trotz der angesprochenen ungünstigen Ausgangsbedingungen Zähne langfristig erhalten werden können.

2. Bestimmung der Arbeitslänge

Als Arbeitslänge bezeichnet man die Distanz zwischen koronalem (Inzisalkante, Höckerspitze) und apikalem Referenzpunkt (Foramen physiologicum = apikale Konstriktion). Den koronalen Referenzpunkt stellt der Anschlagpunkt des Messgriffes oder Stoppers ("Markierer") des jeweils verwendeten endodontischen Instruments an der Inzisalkante oder Höckerspitze des Zahnes dar. Als Stopper können beispielsweise Gummi- oder Metallringe dienen, welche entlang des Instrumentes zur Einstellung der gewünschten Länge verschoben werden.

Bei teilweise zerstörter Krone muss diese evtl. so präpariert oder aufgebaut werden, dass ein eindeutiger Referenzpunkt festgelegt werden kann.

Die Zahnlänge bezeichnet die Entfernung zwischen anatomischem Apex und der Inzisalkante oder Höckerspitze.

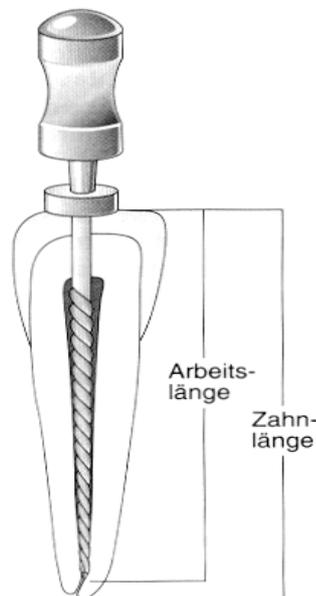


Abbildung 3: Bestimmung von Zahnlänge und Arbeitslänge aus HELLWIG et al. [23].
Das in den Wurzelkanal eingeführte Instrument ist mit einem Stopper versehen.

Aus oben genannten Gründen wird ersichtlich, dass der Erfolg des endodontischen Eingriffs wesentlich von der exakten Längenbestimmung des Wurzelkanals mitbestimmt wird.

Hierbei muss jedoch zunächst die Frage beantwortet werden, in welchem Abstand zur apikalen Konstriktion das Ende der Wurzelkanalfüllung idealerweise zu liegen kommen sollte.

Nach MAYER werden die schlechtesten Ergebnisse bzw. die höchste Misserfolgsrate bei Überfüllung des Wurzelkanals erreicht, hierbei kommt es am häufigsten zu postoperativen Schmerzen und pathologischen Veränderungen im apikalen Bereich. Die besten Ergebnisse werden bei knapper "Unterfüllung" (1 - 1,5 mm vor dem röntgenologischen Apex endend) erzielt [44].

SJÖGREN et al. beschreiben die höchste Erfolgsrate bei Wurzelkanalfüllungen bis zu 2 mm vor dem anatomischen Apex [63], FECHTER bezeichnet die günstigste Wurzelkanalfüllungslänge knapp koronal des anatomischen Apex [16].

Die Variationsbreite der Lage zwischen physiologischem und röntgenologischem Apex wird in der Literatur mit 0.5 bis 2 mm angegeben [6; 12; 23; 44; 79]. In über 92 % der Fälle kann jedoch mit einer Entfernung von 0.5 - 1 mm gerechnet werden, in diesem Bereich findet sich also mit großer Wahrscheinlichkeit das physiologische Foramen [6].

Aus diesen Gründen wird heute empfohlen, die Aufbereitungstiefe um den Betrag von 0.5 - 1 mm vor dem röntgenologischen Apex enden zu lassen [21; 23; 34]. Studien zufolge ist bei einer Kanalaufbereitung bis zu 1 mm vor dem röntgenologischen Apex mit der höchsten Erfolgsquote zu rechnen [39; 45].

Eine fehlerhafte Bestimmung der Arbeitslänge kann folgende Konsequenzen haben:

1. Traumatisierung und ggf. Infektion des periapikalen Gewebes durch Verschleppung von infiziertem Wurzelkanalinhalt über die Wurzelspitze hinaus, dadurch bedingt entzündliche Reaktion bis hin zum akuten periapikalen Abszess, bei Risikopatienten besteht die Gefahr der Bakteriämie.
2. Erweiterung des Foramen apicale, dadurch wird eine Überfüllung des Wurzelkanals begünstigt

3. Im Oberkiefer bei enger topographischer Beziehung zwischen Wurzelspitze und Kieferhöhlenboden Instrumentierung der Kieferhöhle und Ausbildung einer Sinusitis.
4. Unvollständige Aufbereitung und Füllung, dadurch bedingt die Bildung akuter oder chronischer periapikaler Läsionen durch im Kanal verbliebenes nekrotisches oder infiziertes Pulpengewebe.
5. Schädigung des N. alveolaris inferior bei Überfüllung im Unterkiefer - Seitenzahngebiet, dadurch bedingt Schmerzen, Parästhesien bis hin zur Anästhesie, eventuell Notwendigkeit eines chirurgischen Eingriffes.

Die ideale Wurzelfüllung schließt an der engsten Stelle des Kanals, d.h. an der apikalen Konstriktion, ab. Diese fungiert hierbei als natürliche Barriere zwischen Wurzelkanalfüllmaterial und apikalem Gewebe, die Kontaktfläche zwischen eingebrachtem Fremdkörper und vitalem Gewebe kann so möglichst klein gehalten werden. Zudem ist eine Kondensation des Wurzelfüllmaterials gegen eine kleinere Öffnung besser möglich. Eine mechanische Traumatisierung des Gewebes jenseits der Konstriktion sowie dessen Infektion durch Keimverschleppung kann somit verhindert werden.

2. 1. Taktile Längenbestimmung

Die taktile Lagebestimmung der apikalen Konstriktion, welche lange Zeit als gängige Methode in der Praxis angewendet wurde, gilt heute als obsolet.

Die Taktilität des Behandlers, die ISO - Größen der verwendeten Instrumente, der Durchmesser des Kanals, Krümmungen und Unebenheiten der Kanalwand variieren viel zu stark, um als Indiz für das Erreichen des Apex herangezogen zu werden [13].

Bei devitalen Zähnen mit bereits vorhandenen periapikalen Entzündungsprozessen ist aufgrund von Resorptionen eine Verengung des Wurzelkanals im apikalen Bereich häufig nicht mehr vorhanden. Die Sensibilität im Bereich der Läsion ist hierbei meist eingeschränkt.

Jugendliche Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum weisen ein weites Foramen auf, eine taktile Wurzelkanallängenmessung kann auch hier nicht erfolgen.

SEIDBERG und ALIBRANDI geben die exakte Bestimmung der apikalen Konstriktion mittels taktiler Messung mit nur 64 % an [60].

Ebenso wenig soll die Schmerzreaktion von Seiten des Patienten zur Orientierung herangezogen werden, da bei vitaler Pulpa der Schmerzpunkt zwischen Wurzelkanaleingang und Foramen apicale, bei Zähnen mit apikalen Läsionen häufig im Bereich des periapikalen Gewebes liegt [21].

2. 2. Röntgenologische Bestimmung

Dieses Verfahren geht auf den Vorschlag von INGLE aus dem Jahre 1957 zurück [29].

Die Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe der Röntgentechnik stellt heute das Mittel der Wahl und die weitaus gebräuchlichste Methode dar. Das praktische Vorgehen bei der röntgenologischen Methode sieht folgendermaßen aus:

Zunächst wird eine diagnostische Röntgenaufnahme mittels der Paralleltechnik mit Langtubus nach UPDEGRAVE angefertigt [aus GULDENER und LANGELAND [21]]. Hierbei herrscht Parallelität zwischen Objekt- und Bildauffangebene, der Zentralstrahl trifft im rechten Winkel auf beide Ebenen. Mit dieser Technik soll eine maßstabsgerechte Darstellung des gesamten Zahnes und seiner Umgebung erzielt werden.

In praxi muss jedoch auch bei dieser Aufnahmetechnik mit einem Vergrößerungsfaktor von etwa 7 % gerechnet werden [21].

Anhand des diagnostischen Röntgenbildes erfolgt eine approximative Längenbestimmung des Zahnes. Vor Beginn der Sondierung des Wurzelkanals sollte ein solches vorliegen, da es neben der Länge des Zahnes auch Information über Form und Krümmung der Wurzeln, über angrenzende Knochenstrukturen sowie eventuell vorhandene pathologische Prozesse liefert.

Nun wird das Kanalsystem mit Aufbereitungsinstrumenten geeigneter ISO - Größe sondiert, die Längeneinstellung erfolgt mit einem Sicherheitsabstand von 1 - 3 mm entsprechend dem diagnostischen Röntgenbild. Bei Oberkiefer - Molaren wird die palatinale Wurzel meist am stärksten verzerrt, daher orientiert man sich bei der Messung an der bukkalen Wurzel und addiert 1 mm. Zur Röntgenmessaufnahme können Reamer oder K- Feilen mit mindestens ISO - Größe 15 oder auch H - Feilen mit mindestens ISO - Größe 20 verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Instrumentenspitze am Röntgenbild sicher erkennbar ist.

Die eingebrachten Instrumente zur Messaufnahme sollten eine leichte Klemmpassung aufweisen. Zur Längenmarkierung sind röntgensichtbare Stopper aus Silikon oder Metall in Gebrauch, diese werden am koronalen Referenzpunkt platziert.

Die Messaufnahme wird in der Regel nach der Halbwinkeltechnik angefertigt; dieses Vorgehen hat sich in der Praxis bewährt.

Die Überlegenheit der Paralleltechnik gegenüber der Halbwinkeltechnik ist bekannt, jedoch erfordert diese die Anwendung spezieller Filmhalter, deren Benutzung sich vor allem im Molarenbereich als umständlich erweist. So stellt die Halbwinkeltechnik bei im Wurzelkanal liegendem Instrument das am einfachsten durchführbare Verfahren dar, da kein Filmhalter den Zugang zum Kanal versperrt.

Bei der Halbwinkeltechnik erfolgt die Einstellung des Zentralstrahls senkrecht auf die Winkelhalbierende zwischen Objekt- und Bildauffangebene.

Das entwickelte Bild zeigt nun die Relation der Instrumentenspitze zum röntgenologischen Apex.

Die Bestimmung der Kanallänge wird nun abgeschätzt oder in einem Dreisatz berechnet.

Dabei verhält sich die tatsächliche Zahnlänge zur röntgenologischen Zahnlänge wie die tatsächliche Instrumentenlänge zur röntgenologischen. Als Formel ergibt sich somit für die tatsächliche Zahnlänge:

$$L = LR \times LF / LFR$$

mit

L = tatsächliche Länge des Wurzelkanals
LR = Länge des Wurzelkanals im Röntgenbild
LF = tatsächliche Länge der Feile
LFR = Länge der Feile im Röntgenbild

Bei einer Abweichung der Instrumentenspitze vom röntgenologischen Apex von mehr als 3 mm sollte die Messaufnahme mit nach apikal korrigiertem Instrument wiederholt werden.

Die Arbeitslänge wird 0,5 bis 1 mm koronal des röntgenologischen Apex gewählt.

Bei gekrümmten Wurzeln kann nochmals 0,5 mm abgezogen werden, da bei der Aufbereitung durch Kanalbegradigung mit einem Verlust dieses Betrages an Arbeitslänge zu rechnen ist.

Sollte keine diagnostische Röntgenaufnahme zur Verfügung stehen, kann die Verwendung von Normeindringtiefen zur Anwendung kommen (siehe S. 14).

Hierbei wird ein statistisch ermittelter Durchschnittswert für die Länge der verschiedenen Wurzelkanäle als allgemeine Leitlinie für die Abschätzung der zu erwartenden Kanallänge herangezogen. Das Sondierinstrument wird bis zur entsprechenden Normeindringtiefe in den Kanal eingeführt, dann die Röntgenmessaufnahme nach dem oben beschriebenen Vorgehen angefertigt.

<i>17</i>	<i>16</i>	<i>15</i>	<i>14</i>	<i>13</i>	<i>12</i>	<i>11</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>
17mm	17mm	17mm	17mm	22mm	18mm	20mm	20mm	18mm	22mm	17mm	17mm	17mm	17mm
17mm	17mm	17mm	17mm	20mm	18mm	18mm	18mm	18mm	20mm	17mm	17mm	17mm	17mm
<i>37</i>	<i>36</i>	<i>35</i>	<i>34</i>	<i>33</i>	<i>32</i>	<i>31</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>

Abbildung 4: Normeindringtiefen zur Wurzelkanalbehandlung für alle Zähne nach BAUMANN [2]
(Die Bezeichnung der Zähne (Zeile 1 und 4 der Tabelle) entspricht der FDI – Nomenklatur)

2. 2. 1. Beurteilung der röntgenologischen Längenbestimmung

Mit dem Röntgenmessverfahren, welches das Standardverfahren zur Bestimmung der Arbeitslänge darstellt, ist es nicht möglich, die apikale Konstriktion, also den Idealpunkt, bis zu welchem die endodontischen Maßnahmen durchgeführt werden sollen, zu bestimmen.

Die einzige Länge, die sicher gemessen werden kann, ist die Entfernung des röntgenologischen Apex zum koronalen Referenzpunkt. Somit erfolgt im engeren Sinne keine Messung, sondern eine Schätzung der Arbeitslänge, da die apikale Konstriktion bis zu 2 mm vom radiologischen Apex entfernt liegen kann.

Eine Überlagerung durch anatomische Strukturen (Kompakta, Trabekel, Jochbögen, Kieferhöhlenboden) vermindert die Röntgensichtbarkeit des Apex.

Die Röntgenaufnahme stellt stets eine zweidimensionale Aufnahme eines dreidimensionalen Objektes dar. Die bucco - palatinale bzw. bucco - linguale Dimension kann somit nicht erfasst werden [34]. Zum Teil fehlen damit wichtige Informationen, was zur Fehlinterpretation führen kann.

Eine weiteres Problem stellt die projektionstechnische Verzeichnung der Objektdarstellung dar. Das angestrebte Ziel ist eine möglichst genaue Abbildung des Zahnes im Maßstab 1:1.

Nur diese ermöglicht die Durchführung absoluter Messungen am Röntgenbild.

Bei der Paralleltechnik kommt es durch die Divergenz des Strahlenbündels zu einer durchschnittlichen Vergrößerung von 5 %, der flächenförmige Fokus, der einen nicht genau definierten Zentralstrahl bedingt, führt zu Unschärfen.

Bei der Halbwinkeltechnik werden Verzerrungen bis zu 10 % in Kauf genommen, was bei einer Zahnlänge von 20 mm bereits einer Abweichung von 2 mm entspricht.

Da der Zentralstrahl die imaginäre Winkelhalbierende nur selten korrekt trifft, wird das Objekt insgesamt vergrößert oder verkleinert dargestellt. Der inkonstante Film - Objekt - Abstand bedingt eine unterschiedliche Vergrößerung der einzelnen Regionen, der koronale Bereich wird im Verhältnis zum apikalen verkleinert dargestellt.

Hinzu kommen Verzerrungen durch die Biegsamkeit des Filmes, welche die Positionierung in der engen Mundhöhle oft erst möglich macht, andererseits aber keine plane Bildauffangebene garantiert.

Diese Erläuterungen erklären, dass trotz radiologisch erkennbarer korrekter Wurzelfüllung diese sich bei einem Viertel von nach Extraktion untersuchten Zähnen als insuffizient herausstellte [33].

Bei drei- bzw. mehrwurzigen Zähnen, gelegentlich auch bei Zähnen mit zwei Kanälen, ist das gleichzeitige Einführen mehrerer Instrumente nicht oder nur unter starker Biegung der Instrumente und Veränderung der Referenzpunkte durchführbar [34]. Dies kann zusätzliche Aufnahmen zur genauen Darstellung jedes Kanals nötig machen.

Platzierung von Film und Tubus bergen Fehlerquellen, ebenso der Vorgang der Entwicklung. Die Durchführung der Aufnahme ist bei Patienten mit Würgereiz erschwert, der Aussagewert des erstellten Bildes mit von der Kooperation des Patienten abhängig.

So kann die Anfertigung der Röntgenmessaufnahme teilweise zeitintensiv sein.

Ein immer wieder betonter Nachteil der röntgenologischen Längenbestimmung ist die Strahlenexposition des Patienten.

Von der Strahlenexposition, der die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland jährlich ausgesetzt ist, werden 42 % durch medizinische Röntgendiagnostik verursacht, mit steigender Tendenz. Dies entspricht einer Dosis von 1,5 mSv¹/a [65].

Die Hautoberflächendosis bei einer intraoralen Zahnfilmaufnahme beträgt maximal 0,015 mSv. Die ersten somatischen, aber voll reversiblen Schädigungen im Bereich des Nutzstrahlenbündels treten nach WÖRNER ab einer Belastung von 0.5 Sv auf [80].

Andererseits stellt die Röntgentechnik die einzige Möglichkeit dar, sich einen Überblick über Anzahl, Länge sowie Krümmungsgrad der Wurzeln und Kanäle, weiterhin über Größe und Lage der Pulpenkammer zu verschaffen. Sie gibt Aufschluss über das Entwicklungsstadium der Wurzelspitze und über pathologische periapikale Prozesse.

Des Weiteren dient sie als unverzichtbare Dokumentation der Ausgangssituation des Zahnes und seiner umgebenden Strukturen vor der endodontischen Behandlung sowie nach deren Abschluss zur Kontrolle der Suffizienz der durchgeführten Wurzelfüllung.

Klinische und histologische Untersuchungen zeigen, dass mit der radiologischen Kontrolle der endodontischen Behandlung zufriedenstellende Therapieergebnisse erzielt werden können.

Somit wird heute die Auffassung vertreten, dass der schädigende Effekt der ionisierenden Strahlen zur Realisierung eines solchen Ergebnisses in Kauf genommen werden kann.

2. 2. 2. Digitale Röntgentechnik

In den letzten Jahren hat die digitale Röntgentechnik zunehmend Einzug in die zahnärztlichen Praxen gehalten. Geringerer Zeitbedarf, Flexibilität der Bildverarbeitung, Möglichkeit zur Datenkommunikation und deutlich verringerte Strahlenbelastung sind schlagkräftige Argumente für die Digitalisierung.

Digitale Röntgensysteme ersetzen Röntgenfilm und chemische Filmverarbeitung und bestehen aus den drei Anteilen Strahlensensor, Ausleseeinheit und Computer.

Dabei kann der Sensor direkt oder indirekt mit der Ausleseeinheit verbunden sein.

¹ Sv = Sievert = J/kg, Äquivalentdosis, früher Rem

Beim direkt digitalen Röntgensystem (DDR) besteht eine Kabelverbindung vom Strahlensensor zum Computer.

Der Sensor ist in Felder eingeteilt, welche kleinste Bildelemente (engl. pixel) darstellen.

Jedes Feld nimmt nur einen Intensitätswert auf, somit wird die Auflösung des Systems bestimmt.

Beim indirekt digitalen Röntgensystem (IDR) werden Speichersensoren oder -folien verwendet, die Information wird nachträglich über einen Scanner oder eine digitale Kamera eingelesen.

Die Ausleseeinheit nimmt die Digitalisierung der Bildpunkt - Intensitäten vor.

Dabei wird das gesamte Intensitätsspektrum vom Minimal- bis zum Maximalwert in eine bestimmte Anzahl von Stufen unterteilt.

Heutige Röntgensysteme digitalisieren mit mindestens 10 bit, was einer Einteilung des Intensitätsspektrums in 1024 Stufen entspricht.

Beim direkt digitalen System beträgt die Verzögerung bis zur Bilddarstellung in Abhängigkeit von der Rechnerleistung wenige Sekunden. Beim indirekten System wird die im Patientenmund belichtete Speicherfolie anschließend mit einem Laser - Scanner ausgelesen.

Dieser mechanisch-elektronische Prozess dauert für eine Speicherfolie im Zahnfilmformat etwa 30 s.

Mit Hilfe des Computers kann die Bildinformation für den Betrachter optimiert werden.

Durch Filterung können Bilddaten so umgerechnet werden, dass zufällige Intensitätsschwankungen, welche ursächlich nicht vom dargestellten Objekt herrühren, ausgeglichen werden. So wird z.B. eine deutlichere Darstellung von Objektkanten erreicht oder ein reliefartiger Eindruck erzeugt. Die Kontrastverstärkung ermöglicht es, Intensitätsunterschiede benachbarter Bildbereiche stärker hervorzuheben.

Weiterhin ist Verkleinern und Vergrößern möglich sowie eine Änderung der Farb- und Intensitätsskala, welche von der einfachen Inversion (negativ - positiv) bis hin zur Erzeugung farbiger Bilder reicht, was völlig neue Bildeindrücke liefern kann [65].

Werden über einen längeren Zeitraum hinweg Aufnahmen desselben Objektes oder Bereiches angefertigt, kann mittels digitaler Subtraktionstechnik eine Verlaufskontrolle vorgenommen werden.

Dies wäre im Bereich der Endodontie beispielsweise zur Verlaufskontrolle der Knochenregeneration bei periapikalen Läsionen interessant.

Hierbei ergibt sich jedoch das Problem, dass bei zweizeitiger Einstellung selbst mit individualisierter Einstellungstechnik keine identische Bilderzeugung erreicht werden kann.

Daher muss der Computer vor der Subtraktion die Geometrie der Aufnahmen ineinander überführen, was einen erheblichen Rechenaufwand erfordern kann.

Es bleibt daher abzuwarten, ob sich die Subtraktionsaufnahme in der Zahnheilkunde durchsetzen wird.

Die Strahlendosis für den Patienten bei Anwendung der digitalen Technik kann deutlich reduziert werden. BENZ et al. geben für die direkt digitale Röntgentechnik unter Verwendung eines Sensors eine Dosisreduktion von 65 % gegenüber herkömmlichen E speed - Filmen an, bei indirekt digitaler Technik mittels Speicherfolie wird eine Dosisreduktion von über 70 % realisiert [4].

Eine weitere und deutliche Dosisreduktion ist durch die Verkleinerung des bestrahlten Feldes erreichbar, welche durch den Einsatz entsprechender Haltevorrichtungen (Filmhalter) ermöglicht wird. Damit kann die Dosis bei Belichtung von Speicherfolien um mehr als 80 %, bei Verwendung eines Sensors sogar um über 90 % gegenüber dem E speed - Film mit standardmäßiger Feldgröße reduziert werden.

Weiterentwickelte Filme für die konventionelle Röntgentechnik wie der F speed ermöglichen demgegenüber eine Verringerung der Dosis um 20 %, bei geringerer Feldgröße kann eine Reduktion von mehr als 50 % erreicht werden [4].

2. 3. Endometrische Bestimmung

Die Ursprünge der elektrischen Längenmessung reichen zurück bis ins Jahr 1916, in welchem CUSTER eine Messmethode bei der Behandlung von Zähnen mit gangränös zerfallenem Kanalinhalt basierend auf dem Unterschied der Leitfähigkeit eines trockenen Wurzelkanals und des Gewebes jenseits des Apex beschreibt [8]. Hierbei kann der Übergang zum vitalen Gewebe angezeigt werden, nicht jedoch das Foramen selbst [73].

SUZUKI kam nach einer In - vivo - Untersuchung an Hunden 1942 zu dem Schluss, dass zwischen Parodontalligament und oraler Mukosa ein konstanter Widerstand von 6,5 k Ω besteht, der auch nicht abhängig vom Kanalinhalt ist [68]. Die Lokalisation des apikalen Foramens rückte damit durch Messung des elektrischen Widerstandes zwischen Mundschleimhaut und Desmodont in den Bereich des Möglichen.

Ausgehend von dieser Annahme stellte SUNADA 1962 sein *Endometer* vor, das erste elektronische Messgerät zur Wurzelkanallängenbestimmung [67].

Hierbei wurde die Wurzelspitze angezeigt, sobald der mittels einer Messsonde (Feile) bestimmte Widerstand mit dem geräteintegrierten Widerstand von 6,5 k Ω übereinstimmte.

Abbildung 5 zeigt schematisch die Anordnung einer endometrischen Messapparatur.

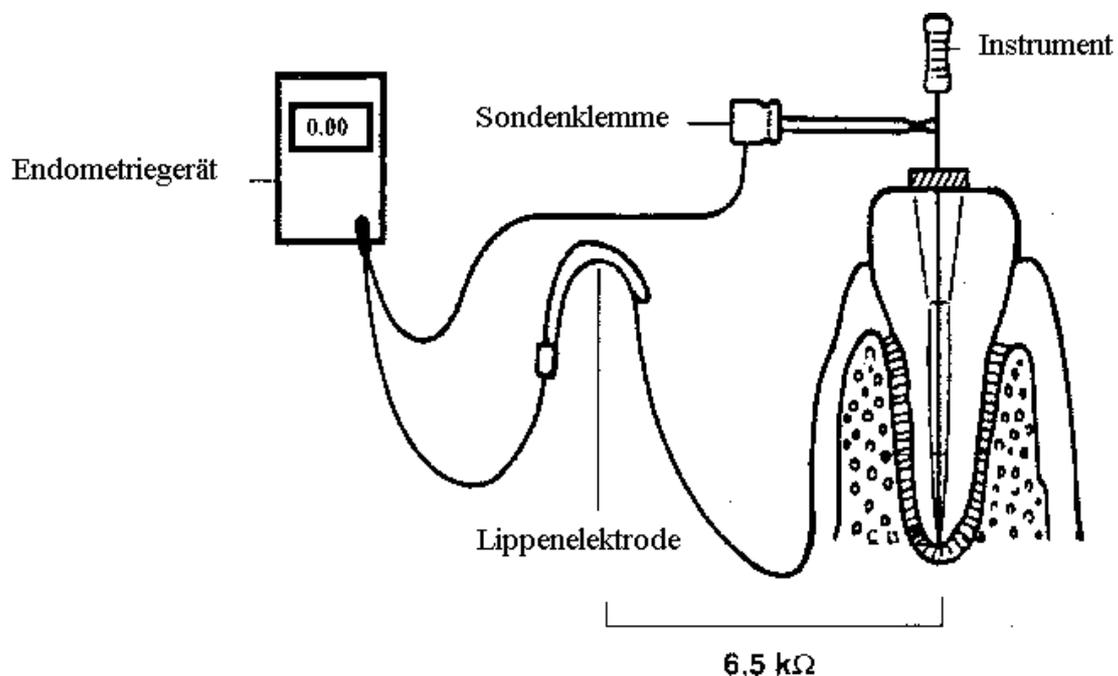


Abbildung 5: Schematische Darstellung der endometrischen Messapparatur

Endometriegeräte bestehen im wesentlichen aus einer Spannungsquelle und einem Messinstrument. Ein Wurzelkanalinstrument dient hierbei als Elektrode und wird über eine Klemme an das Messgerät angeschlossen, die Gegenelektrode bildet eine Handelektrode oder eine im Mundwinkel angebrachte Schleimhaut- bzw. Lippenelektrode.

Durch die Messung des Widerstandes zwischen dem Wurzelkanalinstrument und der Gegenelektrode soll die Länge des Instruments im Kanal bestimmt werden.

Die Anzeige kann mittels eines Zeigers, mittels Leuchtanzeige oder akustisch erfolgen, neuere Geräte besitzen ein Display, auf welchem die Entfernung der Feilenspitze vom Apex abgelesen werden kann.

Durch ständige Weiterentwicklung arbeitet nunmehr die vierte Generation von Endometriegeräten mit dem Einsatz verschiedener Frequenzen. Auf die unterschiedlichen Gerätetypen wird in Kapitel 2.3.2. eingegangen.

2.3.1. Elektrophysikalische Grundlagen und Einflussfaktoren der elektrischen Messung

Das Prinzip, auf welchem jegliche endometrische Messung beruht, ist die Ermittlung von elektrischen Widerständen.

Jede Materie setzt bei einer angelegten Spannung dem fließenden Strom einen elektrischen Widerstand entgegen, welcher abhängig ist von Länge und Querschnitt des stromdurchflossenen Materials und weiterhin vom spezifischen elektrischen Widerstand, einer Materialkonstante [aus [24]].

Für Stromkreise mit Gleichstrom heißt dieser ohmscher Widerstand.

Der Widerstand im Wechselstromkreis wird als Impedanz bezeichnet, welche frequenzabhängig ist und einen komplexen Widerstand darstellt.

Die Impedanz setzt sich zusammen zum einen aus dem reellen Widerstand entsprechend dem ohmschen Widerstand des Gleichstromkreises, welcher frequenzunabhängig ist und durch die reine Gewebsflüssigkeit zwischen Mess- und Gegenelektrode gebildet wird, andererseits aus kapazitiven Widerständen. Diese kommen hauptsächlich dadurch zustande, dass der Zahn als

Isolator im leitenden umgebenden Gewebe wie ein zylindrischer Kondensator als Widerstand fungiert, zum geringeren Teil wird er gebildet durch biologisches Gewebe (Bindegewebsschichten, Zellmembranen).

Hinzu kommt die Elektrodenimpedanz, der die eigentliche Messung störende Übergangswiderstand zwischen Elektrode und Elektrolyt, welcher sich gleichfalls aus ohmschen und kapazitiven Komponenten zusammensetzt [71].

Diese tritt an beiden Elektroden auf und ist abhängig von der Größe der Kontaktfläche sowie den leitenden Eigenschaften des Gewebes in deren Bereich. Somit ist dieser Übergangswiderstand variabel.

Im Gleichstromkreis kommt es zusätzlich durch elektrochemische Prozesse zur Polarisierung an der Grenzfläche vom metallischen zum elektrolytischen Leiter und damit zu einer Änderung des Widerstandes.

Die zur klinischen Längenbestimmung verwendeten Wurzelkanalinstrumente sind an ihrer gesamten Oberfläche leitend. Der Übergangswiderstand an der Elektrode nimmt mit zunehmender Eindringtiefe ab, da die stromleitende Kontaktfläche zum Elektrolyten wächst.

Der Übergangswiderstand zwischen Elektrode und umgebendem Gewebe ist im Gleichstromkreis wie auch im Wechselstromkreis gegeben.

Modellversuche zeigen, dass der Übergangswiderstand an den Elektroden um ein Vielfaches größer ist als der tatsächliche Widerstand des Elektrolyten [72].

Um die Veränderung des Elektrodenwiderstandes durch die Eindringtiefe zu minimieren, wurde der Versuch unternommen, mit isolierten Elektroden zu arbeiten. Diese waren beispielsweise bis auf einen Bereich von 0,5 mm an der Spitze mit Isoliermaterial abgeklebt oder beschichtet.

Da die Verwendung derartiger Elektroden die Messergebnisse jedoch kaum verbesserte, nimmt man an, dass durch das enge Anliegen der Elektrodenoberfläche an der Kanalinnenwand im engen Wurzelkanal die fehlende Isolierschicht imitiert wird [53].

Die Leitfähigkeit der Gewebe ist ebenfalls abhängig von der Frequenz des Wechselstromes.

Bei niedriger Frequenz sind Gewebe schlechtere Leiter, da das Zellinnere feldfrei bleibt und der Strom nur über Ionen der extrazellulären Flüssigkeit geleitet wird [49]. Steigen die Frequenzen auf Werte über 10 kHz an, so nimmt die spezifische Leitfähigkeit zu, die Zellmembranen werden kapazitiv überbrückt [58]. Die günstigsten Messfrequenzen liegen somit im Bereich von etwa 1 kHz [72].

Die Anwesenheit von elektrisch leitenden Flüssigkeiten im Wurzelkanal spielt insofern eine Rolle, als der elektrische Leitwert eines Elektrolyten den reziproken Wert des Widerstandes darstellt, den ein Stoff bei einer angelegten Spannung einem elektrischen Strom entgegensetzt [72]. Dadurch wird der reelle Widerstand herabgesetzt.

Wie häufig angenommen stellen die Zahnhartsubstanzen, welche den Wurzelkanal umgeben, keine elektrischen Isolatoren, sondern aufgrund ihres Elektrolytgehaltes durchaus elektrische Leiter dar. Der Strom zwischen Mess- und Gegenelektrode fließt also nicht über Pulpagewebe und Apex allein, sondern wird zu einem nicht unbeträchtlichen Teil auch über Dentin und Zement abgeleitet. Befindet sich die Elektrode im koronalen Abschnitt des Wurzelkanals, so fließt etwa ein Drittel des Stromes über die Zahnhartsubstanzen ab [15].

Die Isolierung ist jedoch vermutlich im Bereich des Apex höher, da sowohl Dentinkanälchendichte wie auch der Durchmesser der Tubuli zum Apex hin abnehmen.

Man kann annehmen, dass durch diese anatomischen Eigenschaften die Leitfähigkeit des apikalen Dentins gegenüber anderen Dentinabschnitten um den Faktor 10 herabgesetzt ist, evtl. kommt eine gewisse Isolatorfunktion des im Apexbereich dickeren Wurzel Dentins hinzu [72].

Die spezifische Leitfähigkeit des apikalen Dentins wird rund 200 mal geringer als die des Pulpengewebes geschätzt [72].

VOSS führte verschiedene In - vitro - Untersuchungen mittels Modellversuchen durch. Dabei wurden u.a. typische Impedanzprofile von Einzelmessungen an extrahierten Zähnen erstellt. Bei allen ermittelten Widerstandsprofilen wurde der Übergang zwischen Kanal und Messkammer, also die Stelle, die das apikale Foramen darstellt, sichtbar. Am Wendepunkt der aufgezeichneten Kurven kann das physiologische Foramen angenommen werden. Ein genauer Punkt kann dabei nicht angegeben werden, eher ein bestimmter Bereich vor dem apikalen Foramen.

Im mittleren Wurzelbereich ist der Widerstand zur Gegenelektrode niedriger, der Apex eines natürlichen Zahnes bildet einen höheren elektrischen Widerstand als das übrige Wurzelkambium.

Verlässt die Elektrodenspitze den Kanal, bleibt der Widerstand wiederum relativ konstant, da sich die Elektrode im Raum der Messkammer befindet und nimmt dann mit der wachsenden Elektrodenoberfläche, die mit dem leitenden Elektrolyten der Messwanne in Kontakt kommt, weiter leicht ab.

Die Festlegung des Foramens erfolgt an dem Punkt, an dem der relativ konstante Widerstand des den Zahn umgebenden Elektrolyten in die ansteigende Messkurve des Wurzelkanals übergeht.

Die Messelektrode muss bei dieser Art der Bestimmung des Foramens den Kanal verlassen, damit der Knickpunkt zwischen den beiden Kurvenformen bestimmt werden kann.

Die Festlegung der apikalen Konstriktion ist demgegenüber als Wendepunkt der Messkurve schwerer zu lokalisieren, da die Messwerte in einem verschieden großen Bereich eine Gerade ergeben.

Je flacher also das Impedanzprofil, desto größer der Bereich des Wendepunktes.

Hieraus erklärt sich, dass die genaue Bestimmung der Konstriktion bei weitem Lumen und damit kleinerem Impedanzgradienten ungünstiger wird [72].

Anhand von Versuchen mit konusförmigen bzw. parallelwandigen Wurzelkanalmodellen stellte VOSS weiterhin fest, dass auch der Winkel des apikalen Trichters die Messung beeinflusst. Je mehr dieser Winkel gegen 180° geht, desto schärfer ist die Darstellung der Konstriktion möglich. Geht dieser gegen 0° wie bei einem parallelwandigen Modell, kann nur ein Bereich für die Lage der Konstriktion angegeben werden [72].

Dies könnte eine Erklärung für mögliche Lokalisationsfehler der Konstriktion sein.

Somit beeinflussen Elektrodenimpedanz, Elektrolytleitfähigkeit, Wurzelkanalgeometrie sowie Leitfähigkeit der Zahnhartsubstanzen in unterschiedlichem Maße und unabhängig voneinander die elektrische Messung [42].

Unterschiedliche Untersuchungen belegen, dass die These von SUZUKI verworfen werden kann [25; 41]. Absolute Widerstandswerte sind im Organismus nicht reproduzierbar.

Auch aufgrund der unterschiedlichen Übergangswiderstände an den Elektroden ist der gemessene Widerstand nicht konstant, sondern bewegt sich unter klinischen Bedingungen bei Wurzelkanalinstrumenten als Elektroden zwischen 6,5 und 14 k Ω [41; 82].

2. 3. 2. Beschreibung der unterschiedlichen Gerätetypen

2. 3. 2. 1. Endometriegeräte vom Widerstandstyp

Bei diesen ersten Endometriegeräten, welche auf der von SUNADA 1942 eingeführten Funktionsweise [67] beruhen, wird über die beiden Elektroden ein Gleichstromkreis geschlossen.

Die Anzeige des Apex erfolgt, wenn der gemessene Widerstand im Stromkreis dem geräteintegrierten Widerstand, welcher nach den Untersuchungen von SUZUKI auf 6,5 k Ω festgelegt ist [68], entspricht.

Eines der größten Probleme dieses Gerätetyps stellt die Verfälschung der Messung durch Flüssigkeit im Wurzelkanal dar. Schon bei geringen Mengen derselben schließt sich der Stromkreis über einen Kurzschlussstrom, bereits bevor die Instrumentenspitze das Desmodont erricht hat. Das Messgerät zeigt dann eine zu kurze Wurzellänge an [45].

Eine Trocknung des Wurzelkanals vor der Längenbestimmung ist daher erforderlich.

Durch vielfältige klinische Bemühungen wie Exstirpation der Pulpa und Beginn der Aufbereitung schon vor der Messung wurde versucht, bessere Voraussetzungen für den Messvorgang zu schaffen.

Der Erfolg dieser Maßnahmen bleibt jedoch fraglich, da der Feuchtigkeitzutritt im Kanal nicht kontrolliert werden kann und jegliche Manipulation im Kanal vor der Längenbestimmung zur Stufenbildung führen kann [72].

Weiterhin kann ein Kontakt der Elektrode mit Karies, mit defekten oder vor allem metallischen Restaurationen die Messung negativ beeinflussen [45].

Polarisationserscheinungen an der Elektrode stören die Messung ebenfalls. Das Wurzelkanalinstrument fungiert im Gleichstromkreis entweder als Kathode (bei Verbindung mit dem Minuspol) oder als Anode (bei Verbindung mit dem Pluspol). Im feuchten Milieu des Wurzelkanals befinden sich sowohl positiv geladene (Kationen) wie auch negativ

geladene Teilchen (Anionen). Aus der Flüssigkeit, die das Messinstrument umgibt, wandern die Kationen zur Kathode und die Anionen zur Anode. Dadurch tritt eine Polarisierung der Instrumentenspitze ein [24]. Durch regelmäßiges Polieren der Feile wurde versucht, diesen Einfluss zu minimieren [37].

Der Stromfluss wird von einem Teil der Patienten trotz Lokalanästhesie als unangenehm empfunden, was zwar das Messergebnis nicht beeinträchtigt, jedoch als nachteilig befunden werden kann [45].

2. 3. 2. 2. Endometriegeräte vom Impedanztyp

Um die bereits beschriebenen Polarisierungseffekte an den Elektroden zu minimieren, arbeiten die weiterentwickelten Endometriegeräte mit Wechselstrom. Dabei wird nicht mehr ein Widerstand gemessen, sondern die Impedanz im Wechselstromkreis, welche sich, wie oben erklärt, aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Hierbei ist es wichtig, festzuhalten, dass der kapazitive Widerstand im Wechselstromkreis – im Gegensatz zum ohmschen Widerstand – abhängig ist von der Frequenz der Wechselstromquelle. Somit sinkt im Wechselstromkreis der kapazitive Widerstand bei steigender Frequenz.

Auch bei den Geräten vom Impedanztyp ist eine fest eingestellte Vergleichsimpedanz gegeben. Die elektrophysikalischen Vorgänge bei der Messung können wie folgt beschrieben werden: Beim Verschieben des Messinstruments im trockenen Wurzelkanal kommt es erst zu einem geschlossenen Stromkreis, wenn die Instrumentenspitze das Desmodont erreicht. Dann kann die Gewebeimpedanz (Wechselstromwiderstand zwischen Mundschleimhaut und Desmodont) gemessen werden. Das Endometriegerät signalisiert die Ankunft am Apex, wenn die Größe der gemessenen Gewebeimpedanz die geräteintegrierte Vergleichsimpedanz erreicht [24].

Im feuchten Wurzelkanal setzt sich die Gesamtimpedanz zusammen aus der Gewebeimpedanz und Elektrodenimpedanz. Wünschenswert wäre allerdings ausschließlich die Messung der Gewebeimpedanz. Die Elektrodenimpedanzen verfälschen somit die Messung der Gesamtimpedanz, des weiteren dienen im Wurzelkanal vorhandene

Flüssigkeiten als Ionenlieferanten und setzen den Widerstand herab. Dadurch kommt es zu einer zu gering festgelegten Arbeitslänge bei nicht trockenen Wurzelkanälen.

1969 kam das *Root Canal Meter* (Onuki Medicao Co., Tokyo, Japan) auf den Markt, welches mit einem Wechselstrom der Frequenz 150 Hz arbeitete. Da dieses Gerät mit einem vergleichsweise hohen Stromfluss arbeitete, verspürten die Patienten beim Messvorgang teilweise Schmerzen. Durch weiterentwickelte Geräte wurde versucht, dies zu verbessern [36].

Der von HASEGAWA 1979 entwickelte *Endocater* (Yamaura Seisokushu, Tokio/Japan) verwendete erstmals eine Frequenz von 400 Hz [18, 36]. Dies gewährleistete eine wesentlich höhere Elektrodenstabilität, da mit steigender Frequenz durch die Häufigkeit der Änderung der Stromrichtung die Polarisationsprozesse an der Elektrode vermindert werden [24].

Verschiedene Untersuchungen der folgenden Zeit stellten den von SUZUKI postulierten konstanten Widerstand [68] in Frage und zeigten auf, dass der gemessene Widerstand keinen reproduzierbaren Wert aufweist [25; 41].

VOSS führt die Messfehler bzw. Abweichungen bei der Verwendung von Instrumenten unterschiedlicher ISO - Größen auf diesen geräteintegrierten Widerstand zurück [73].

Zu einer zu langen Anzeige kommt es im trockenen Kanal, wenn der fixe Anzeigewiderstand kleiner ist als der Widerstand am Apex, zu einer zu kurzen Anzeige hingegen im feuchten Kanal, wenn der fixe Anzeigewiderstand größer ist als der Widerstand am Apex.

Der Messfehler hängt also von der zufälligen Differenz zwischen voreingestelltem und tatsächlichem Apexwiderstand ab [72].

Weiterhin beschreiben VOSS und SIEBENKEES ebenfalls den sich für die Endometriegeräte vom Impedanztyp ergebenden Messfehler durch den Übergangswiderstand an den Elektroden, wodurch mit diesem Verfahren weniger der gesuchte Gewebewiderstand als die Elektrodenimpedanz bestimmt wird [76].

Daher lehnt VOSS daher die endometrische Längenbestimmung nach diesem Prinzip ab [73].

INOUE schlug 1972 vor, als Referenzmessung die Impedanz im gingivalen Sulkus heranzuziehen [30].

Es wurden daraufhin Geräte entwickelt, welche vor Beginn der Messung eine Eichung des Mess-Systems erforderten, der bisher geräteintegrierte Widerstand wurde nun durch den Referenzwert im Sulkus ersetzt.

Ein solches Gerät ist beispielsweise der *Sono - Explorer* (Hayashi Dental Supply, Tokyo, Japan)

Die Kalibrierung ist zwar nicht aufwendig, die Anwendung erweist sich aber als kompliziert und erfordert etwas Übung.

Es stellte sich jedoch heraus, dass auch die Eichmessung im Sulkus keine reproduzierbaren Werte lieferte weshalb sich dieses Messprinzip nicht durchsetzen konnte.

Um Fehlmessungen durch Flüssigkeit im Wurzelkanal zu umgehen, kamen bei dem bereits oben erwähnten Gerät *Endocater* durch Ummantelung isolierte Sonden zum Einsatz, welche nur an der Spitze elektrisch leitend waren. Somit war die gründliche Trocknung des Kanals nicht mehr notwendig.

Dadurch trat jedoch das Problem auf, dass die durch die Isolierung verdickten Elektroden engere Wurzelkanäle nicht mehr passieren konnten, oder die Ummantelung sich durch den Kontakt mit der Kanalwand stellenweise ablöste, wodurch die Messgenauigkeit negativ beeinflusst wurde [28; 35].

Trotz dieser Probleme geben MCDONALD und HOVLAND nach einer In - vivo - Studie die Messgenauigkeit des *Endocater* im Bereich ± 0.5 mm mit 93.4 % an [46].

2. 3. 2. 3. Impedanzgradientenmethode

Spannungsgradientenmethode

1983 stellt USHIYAMA ein neues Messprinzip vor, wobei durch Messung von Spannungsdifferenzen die Elektrodenimpedanzen eliminiert werden und der Impedanzgradient im Wurzelkanal bestimmt wird [70].

Das Messprinzip beruht auf dem Phänomen, dass an der Stelle eines stromdurchflossenen Leiters, welche den kleinsten Querschnitt aufweist, die größte Spannungsänderung pro Längeneinheit (große Widerstandsänderung) auftritt.

Auf das Zahnmodell übertragen bedeutet dies, dass an der engsten Stelle, der apikalen Konstriktion, das Messsignal am größten ist [74].

Zwei isolierte, um eine Distanz von 0.1 - 0.26 mm verschobene und nur an der Spitze leitende Elektroden werden miteinander verkittet und bilden so eine bipolare Elektrode.

Mit der weiter inzisal liegenden Elektrode wird der Strom eingeleitet, mit der weiter apikal liegenden wird die Spannungsdifferenz zu ersterer bestimmt. Bei konstantem Stromfluss ist die gemessene Spannung proportional zum Impedanzgradienten, wird ein Maximum erreicht, so befindet sich die Konstriktion zwischen den beiden Elektrodenpolen [70].

Ein erhebliches Problem stellt hierbei die Dimensionierung der Elektrode dar, da diese relativ dick ist, kann eine Messung nur bei Wurzelkanälen größer als ISO - Größe 30 durchgeführt werden [73].

Des weiteren zeigte das Gerät jede Engstelle im Kanal an, nicht nur die apikale Konstriktion [36].

Impedanzgradientenmethode mit oszillierender Elektrode

Bei diesem von PAHNCKE et al. vorgestellten Messverfahren wird eine nicht isolierte Elektrode der ISO - Größe 15 verwendet, welche über einen Weg von 1,0 mm in axialer Richtung mit einer Frequenz von 100 Hz im Kanal oszilliert [52].

Die Messung im oberen und im unteren Punkt der Amplitude entspricht dem Messverfahren von USHIYAMA [70].

Durch die geringere Dicke der Elektrode kann die Messung auch in engen Kanälen durchgeführt werden, die oszillierende Elektrode verhindert jedoch das vertraute Palpieren des Wurzelkanals [73].

Impedanzgradientenmessung

VOSS beschreibt 1990 ein Verfahren, bei welchem mittels einer isolierten, nur an der Spitze leitfähigen Elektrode über die Aufzeichnung der Impedanz in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe der Elektrode die Position der Feile im Kanal bestimmt werden kann. Die Impedanzprofile können grafisch auf einem Bildschirm dargestellt und vom Behandler interpretiert werden [74].

Die Impedanzgradientenmessung wird als zuverlässige Methode beschrieben, die apikale Konstriktion im Bereich von 0,5 mm genau zu lokalisieren [74].

2. 3. 2. 4. Relative Impedanzmessung: Differenz- und Verhältnismethode

Bei der relativen Impedanzmessung werden zwei bei verschiedenen Frequenzen gemessene, absolute Impedanzen rechnerisch in Relation gestellt. Da sich bei Wechselstromquellen an den Elektroden die bereits angesprochenen Elektrodenimpedanzen (S. 21) aufbauen, bestimmen Geräte, die mit nur einer Frequenz arbeiten, in feuchten Wurzelkanälen nicht nur den gesuchten Gewebewiderstand, sondern eine zusammengesetzte Impedanz aus Gewebeimpedanz und Elektrodenimpedanz. Die neuen Messverfahren ziehen daher eben diese Elektrodenimpedanz als Messgröße heran. Da sie stärker von der Frequenz des Wechselstromes abhängt als die Gewebeimpedanz, kann die Elektrodenimpedanz über die Bildung eines Relativwertes aus zwei bei unterschiedlichen Frequenzen gemessenen Gesamtimpedanzen berechnet werden [24].

Im Wurzelkanal ist die aktive Elektrodenfläche, über die Strom fließt, wegen der Isolation über die Kanalwand klein und relativ konstant. Der Strom kann nur durch die Querschnittsfläche des Wurzelkanals über die sich im Kanal befindliche Flüssigkeit in den periapikalen Raum fließen. An der apikalen Konstriktion wird der Wurzelkanalquerschnitt kleiner, die Impedanz steigt an. Sobald die Instrumentenspitze den Kanal verlässt, vergrößert sich die aktive Oberfläche wegen der nun fehlenden Isolation durch die Kanalwand. Ein Stromfluss in alle Richtungen wird möglich.

Die Elektrodenimpedanz ist somit im Wurzelkanal groß und erreicht an der apikalen Konstriktion ihr Maximum. Schließlich wird sie mit zunehmendem Vorschub kleiner.

YAMASHITA stellte 1984 die Differenzmethode vor. Hierbei werden für den Prüfstrom zwei Wechselstromsinuswellen mit den Frequenzen 1 und 5 kHz verwendet. Man erhält somit zwei unterschiedliche Impedanzen, anhand deren Differenz die apikale Konstriktion bestimmt werden kann [nach PAGAVINO et. al. [51], KOBAYASHI [36]].

Im koronalen Anteil des Wurzelkanals ist die Differenz der beiden Impedanzen nahezu konstant. Je weiter die Elektrode nach apikal vorgeschoben wird, desto mehr verändert sich der Differenzwert. An der apikalen Konstriktion ist dieser am größten.

Die Konstruktionsparameter machen eine korrekte Messung auch in Gegenwart elektrisch leitender Flüssigkeit im Kanal möglich, die Messung ist auch bei Vorhandensein von Pulpengewebe oder Pus durchführbar.

Nach diesem Prinzip arbeitet das Gerät *Apit* (Osada Electronic Corporation; Tokyo, Japan), in Amerika auch unter dem Namen *Endex* auf dem Markt.

Ein Problem besteht darin, dass das Gerät in jedem Kanal einige Millimeter vor dem Apex kalibriert werden muss, um Abweichungen von der Normalanatomie im Kanal zu erfassen. Bei trockenem Kanal ist die Kalibrierung nicht möglich.

Als Weiterentwicklung der Differenzmethode wurde 1991 von KOBAYASHI die Verhältnismethode, in der englischsprachigen Literatur als "ratio method" bezeichnet, vorgestellt. Hierbei werden ebenfalls zwei Prüfströme unterschiedlicher Frequenz durch den Zahn geleitet, nach Ermittlung der zugehörigen Impedanzen wird jedoch der Quotient aus beiden gebildet. Über diesen kann die Position der Elektrode im Wurzelkanal ermittelt werden [nach PAGAVINO et al. [51]].

Der Wert des Quotienten wird nicht wesentlich durch die elektrischen Bedingungen im Kanal beeinflusst, der elektrolytische Einfluss von Flüssigkeiten im Wurzelkanal auf die endometrische Messung kann nun vernachlässigt werden. Eine Kalibrierung im Kanal ist auf Grund einer Mikroprozessorunterstützung nicht mehr nötig [24].

Nach der Einführung der Verhältnis- oder Impedanzquotientenmethode wurde zunächst das *Root ZX* (J. Morita Corp., Tokyo, Japan) als Gerät der neuesten Generation auf den Markt gebracht, weitere Geräte folgten.

In der folgenden Tabelle soll eine Übersicht gegeben werden über In – vivo – Untersuchungen der letzten Jahre, welche die Messgenauigkeit von Apexlokalisatoren nach dem relativen Impedanzverfahren untersuchten.

Jahr	Autor	Gerät	Anzahl	Bezugspunkt	Grenzbereich	Ergebnisse
1993	FRANK u. TORBINEJAD	<i>Endex</i>	185 Kanäle	Röntgenolog. Apex Röntgenmessaufnahme	+/- 0,5 mm	89 % (feucht) 70 % (trocken)
1995	STRICKLING u. OTT	<i>Root ZX</i>	88 Kanäle	Röntgenolog. Apex Röntgenmessaufnahme	+/- 0,5 mm	72 %
1995	ARORA u. GULABIVALA	<i>Endex</i>	61 Kanäle	Foramen apicale nach Extraktion	+/- 0,5 mm	71,7 %
1996	LAUPER et al.	<i>Endex</i> <i>Odontometer</i>	30 Kanäle	Foramen apicale nach Extraktion	+/- 0,5 mm	93 % 73 %
1996	SHABAHANG et al.	<i>Root ZX</i>	26 Kanäle	Foramen apicale nach Extraktion	+/- 0,5 mm	96,2 %
1998	DUNLAP et al.	<i>Root ZX</i>	35 Kanäle	Foramen apicale nach Extraktion	+/- 0,25 mm +/- 0,5 mm +/- 0,75 mm	52,9 % 82,3 % 94,1 %
1998	PAGAVINO et al.	<i>Root ZX</i>	29 Kanäle	Foramen apicale nach Extraktion	+/- 0,5 mm	82,75 %
1999	LUCK	<i>Root ZX</i>	446 Kanäle	Röntgenolog. Apex Röntgenmessaufnahme	- 1mm bis - 0,5 mm	89 %
2002	POMMER et al.	<i>AFA</i> <i>Apex Finder</i>	171 Kanäle	Röntgenolog. Apex Röntgenmessaufnahme	- 1mm bis - 0,5 mm	86 %

Tabelle 1: Messgenauigkeit von Apexlokalisatoren nach dem relativen Impedanzverfahren
(abgewandelt nach HÖR [24], weiterhin [1, 14, 40, 42, 51, 56, 61, 66])

3. Ziel der Untersuchung

Wenngleich elektronische Längenmessgeräte schon vor geraumer Zeit in die Praxis eingeführt wurden und seither einer ständigen Weiterentwicklung und Verbesserung unterlagen, greifen doch viele Behandler aus Unsicherheit bezüglich deren Messgenauigkeit auf die bewährte Röntgentechnik zurück.

Die endometrische Längenbestimmung geht aufgrund des elektronischen Messvorganges nicht mit einer Strahlenbelastung des Organismus einher und stellt ein relativ einfaches, in kurzer Zeit durchführbares Verfahren dar. Dies scheint als Vorteil herausstellbar. Die Endometrie steht somit als Verfahren zur Bestimmung der Arbeitslänge in Konkurrenz zur Röntgentechnik.

Das entscheidende Problem beim unbedenklichen Einsatz elektronischer Geräte besteht in der seit Jahren herrschenden Unsicherheit darüber, ob und unter welchen Bedingungen diese genau messen. Es stellt sich die Frage, inwieweit die derzeit auf dem Markt erhältlichen Endometriegeräte der vierten Generation den hohen Anforderungen gerecht werden, unabhängig von variierenden äußeren Bedingungen zuverlässig und reproduzierbar korrekte Messergebnisse zu liefern.

Die vorliegende Untersuchung soll zeigen, inwieweit die Endometrie als Alternativverfahren zur Röntgentechnik dienen kann. Es soll eine Aussage über die Genauigkeit der vier Endometriegeräte getroffen werden. Dazu werden die elektronisch ermittelten Längenwerte verglichen mit dem nach Extraktion unter Sicht bestimmten tatsächlichen Wert.

Ziel der Studie ist es somit, die klinische Einsetzbarkeit der verwendeten Geräte in vivo zu prüfen.

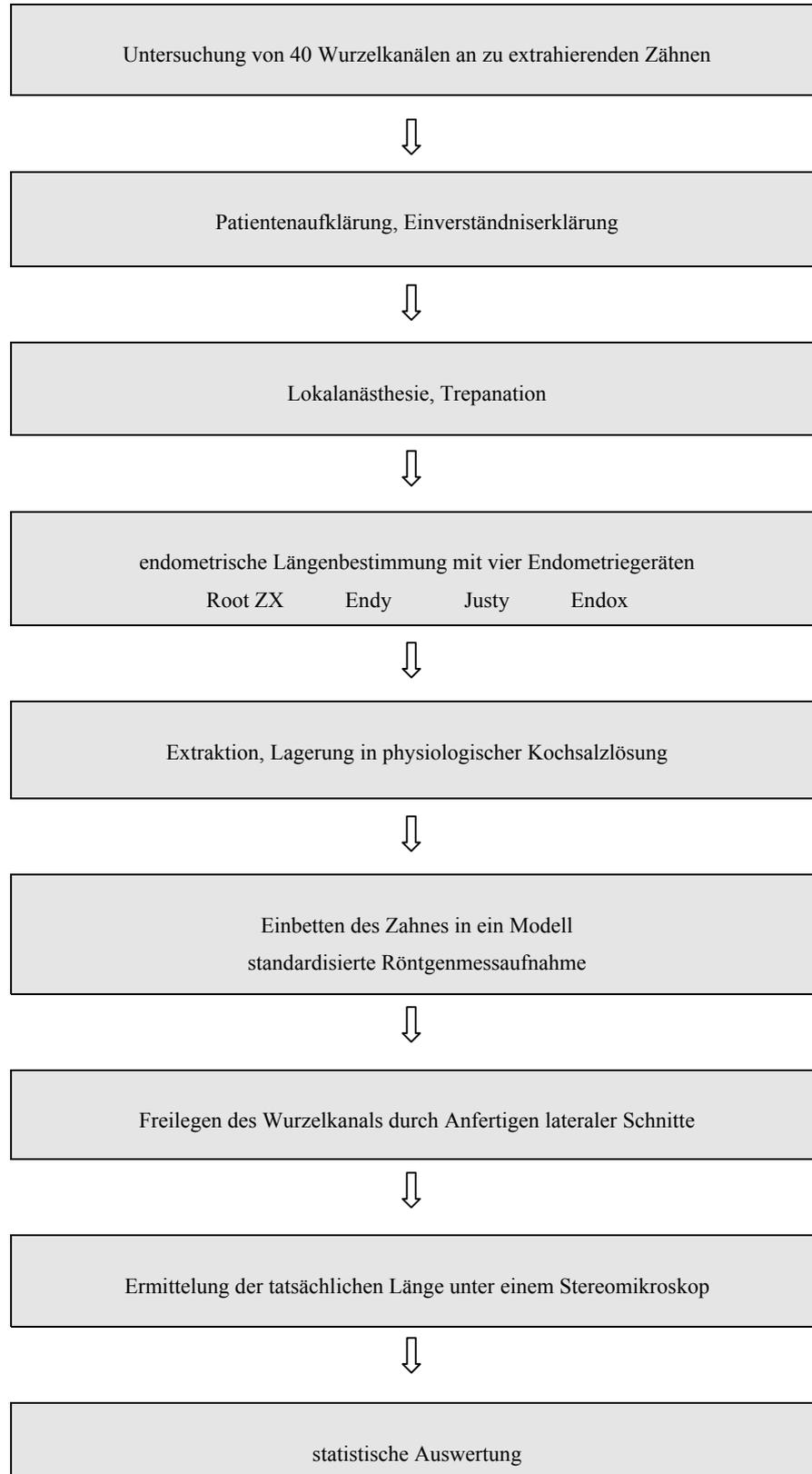
Der Messvorgang wurde hierbei unter den im Praxisalltag herrschenden Bedingungen durchgeführt. Dies bedeutet auch, dass hinsichtlich der untersuchten Patienten und Zähne keine besondere Selektion vorgenommen wurde.

Es soll herausgestellt werden, inwieweit bestimmte Ausgangsparameter (Zahntyp, Vitalität bzw. Devitalität, feuchtes bzw. trockenes Kanalmilieu) Einfluss auf das Messergebnis

nehmen. Weiterhin sollen Vergleiche gezogen werden zwischen den endometrisch ermittelten Werten, den Messwerten nach röntgenologischer Längenbestimmung und den tatsächlichen, unter Sicht bestimmten Längenwerten.

4. Material und Methode

4.1. Übersicht über Material und Methode



4. 2. Beschreibung der elektronischen Messgeräte

In der vorliegenden Untersuchung wurden vier handelsübliche Endometriegeräte untersucht:

Root ZX (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan)

Endy (Fa. Loser, Leverkusen, Deutschland)

Justy II (Fa. Hager-Werken, Duisburg, Deutschland)

Endox (Fa. Lysis, Mailand, Italien)

4. 2. 1. Gerätebeschreibung Root ZX

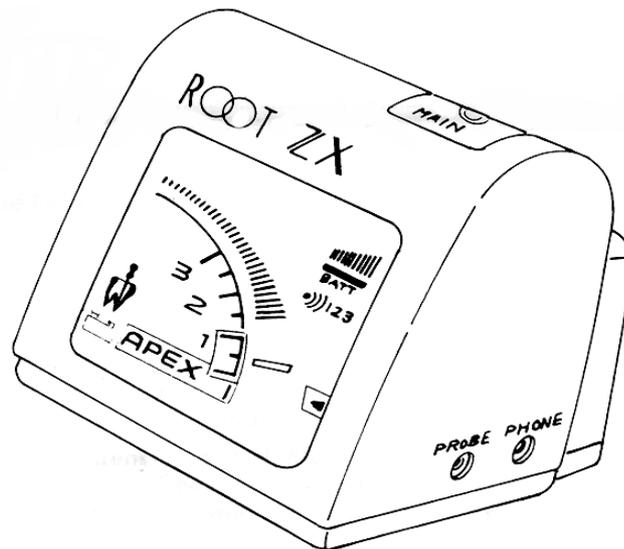


Abbildung 6: Gerät Root ZX: Skizze

Das Gerät arbeitet nach der Verhältnismethode mit zwei unterschiedlichen Frequenzen.

Nach Herstellerangaben benötigt es keine Justierung und kann im trockenen wie auch im feuchten, elektrolytischen Milieu verwendet werden.

Als Messelektrode für das Root ZX wird ein übliches Handinstrument zur Aufbereitung verwendet, welches über einen Clip am Feilenhalter des Gerätes angeschlossen wird, als Gegenelektrode dient eine hakenförmige Schleimhautelektrode, welche für den Messvorgang in den Mundwinkel des Patienten eingehängt wird.

Die Anzeige erfolgt über ein Display, welches die Position der Feile im Wurzelkanal mittels eines Balkens angibt, welcher parallel zu einer Millimeteranzeige verläuft.

Die Skalierung verläuft in den Stufen 3 → 2 → 1 → 0,5 → Apex.

Zusätzlich informiert das Gerät über ein akustisches Signal über die Position der Feile, ab Erreichen der Position 2 auf dem Display wird ein Alarmton in langsamen Intervallen hörbar. Bei weiterem Voranschleiben der Feile werden die Intervalle des Alarmtones kürzer.

Zeigt der Anzegebalken des Displays die Position 0,5, so ist die Arbeitslänge erreicht.

Der gewünschte Endpunkt der Wurzelkanalaufbereitung kann an der Unterseite des Gerätes individuell eingestellt werden. Die Werkeinstellung beträgt 0,5 mm vor dem anatomischen Apex. Ist der anatomische Apex erreicht, ertönt ein Dauersignal und die Apex - Anzeige beginnt zu blinken. Die akustische Anzeige kann in ihrer Lautstärke verstellt oder auch völlig abgeschaltet werden.

Es wird mit 5 Trockenbatterien (1,5 V) betrieben, die Betriebsdauer beträgt bis zu 100 Stunden.

Eine Anzeige in der oberen rechten Ecke des Displays informiert über den Ladezustand.

4. 2. 2. Gerätebeschreibung Endy



Abbildung 7: Gerät Endy

Für das Gerät Endy liegt vom Hersteller kein Hinweis auf den zugrundeliegenden Mechanismus vor. Eine Justierung ist nicht nötig. Vor Beginn des Messvorgangs sollte der Kanal mit einer leitfähigen Spüllösung angefeuchtet werden, z. B. mit Natriumhypochlorit. Ein zu trockener Kanal kann die Ursache für ein fehlendes Messsignal sein.

Als Messelektrode sollte eine K - Feile der ISO - Größe 08 oder 10 verwendet werden, welche über einen Clip mit der Halteelektrode verbunden wird. Über ein Verbindungskabel und eine Lippenelektrode, welche in den Mundwinkel des Patienten eingehängt wird, wird der Stromkreis geschlossen.

Die Anzeige erfolgt über fünf Leuchtdioden, ergänzt durch eine digitale Anzeige, welche die Position der Feilenspitze im Bereich von 3,9 mm vor Apex bis 1 mm über den Apex hinaus auf 1/10 mm genau angibt. Weiterhin informiert das Gerät durch ein akustisches Signal über die Position der Feilenspitze.

Beim Messvorgang soll das Handinstrument im Kanal sondierend vorgeschoben werden, bis ein Wert nahe bei "0" erreicht wird.

An das Gerät kann ein Mikromotor mit Winkelstück angeschlossen werden. Dies ermöglicht eine maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Drehmomentbegrenzung und rückläufiger Rotation in Zusammenhang mit der endometrischen Messung bzw. ständiger endometrischer Überprüfung der Feilenposition im Wurzelkanal während der Aufbereitung.

Die Stromzufuhr erfolgt über ein Ladegerät und einen geräteintegrierten Akku, welcher nach zehnstündiger Ladezeit eine ununterbrochene Anwendung von drei Stunden ermöglicht.

Die Ladezustandsanzeige ist links im digitalen Anzeigefeld abzulesen.

Messkabel und Elektroden sind bei 134° C autoklavierbar.

4. 2. 3. Gerätebeschreibung Justy II

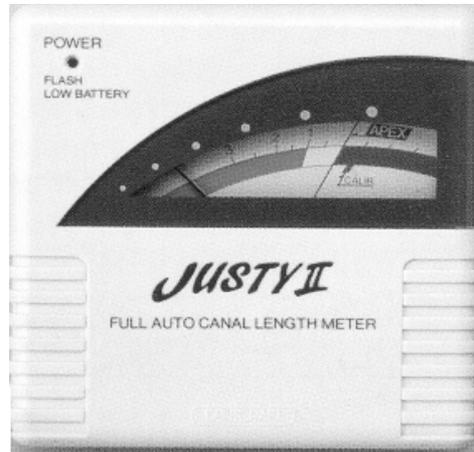


Abbildung 8: Gerät Justy II

Das Gerät Justy II gehört zu den frequenzabhängigen Endometriegeräten und arbeitet nach der Verhältnismethode. Die Messung erfolgt mit zwei Frequenzen bei 500 und 2000 Hz.

Als Messelektrode wird beim Gerät Justy II ein Wurzelkanalinstrument der ISO - Größe 15 oder 20 verwendet, als Gegenelektrode dient eine hakenförmige Schleimhautelektrode, welche zum Messvorgang in den Mundwinkel des Patienten eingehängt wird.

Die Anzeige erfolgt über einen Zeiger, es sind die Skalierungspunkte 3 → 2 → 1 → 0,5 → Apex angegeben.

Die Lage der apikalen Konstriktion befindet sich zwischen den Skalierungspunkten 0,5 und 1, die Markierung "Apex" bezeichnet das anatomische Foramen.

Das Gerät misst im Bereich des Wurzelkanaleingangs nicht präzise, wodurch beim Einführen des Instruments in den Kanal zunächst Schwankungen der Messung auftreten können.

Nähert sich die Spitze des Instruments der apikalen Region, steigt die Genauigkeit des Gerätes und der Anzeige.

Weiterhin verfügt das Gerät über eine akustische Anzeige über einen piezoelektrischen Signalton.

Das Gerät schaltet sich automatisch an und aus. Es benötigt keine Justierung, jedoch muss vor der Messung eine geringe Menge elektrisch leitender Flüssigkeit, z.B. physiologische Kochsalzlösung, in den Kanal injiziert werden. Dadurch wird der Stromfluss in den Wurzelkanal ermöglicht.

Das Justy II wird über 4 Batterien a 1,5 V betrieben.

Instrumentenklemme sowie Schleimhautelektrode sind autoklavierbar.

4. 2. 4. Gerätebeschreibung Endox

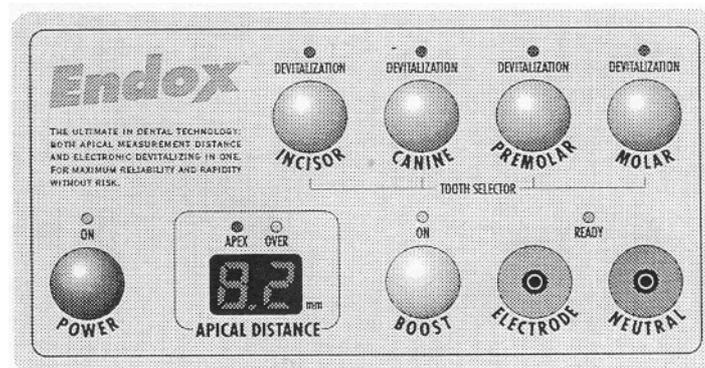


Abbildung 9: Gerät Endox

Das Endox - Endodontiegerät stellt ein System zur Devitalisierung von Pulpagewebe mit integriertem endometrischem Messgerät dar, welches im Gegensatz zu den übrigen getesteten Geräten vom Messprinzip den Endometriegeräten der ersten Generation zuzurechnen ist.

Als Elektrode dienen spezielle Feilen, die in unterschiedlicher Länge vom Hersteller mitgeliefert werden und in ein Nadel - Handstück, das mit dem Gerät über ein Kabel verbunden ist, eingespannt werden. Als Gegenelektrode wird eine Handelektrode verwendet.

Das Gerät wird über einen integrierten Akku gespeist. Es muss vor Inbetriebnahme mindestens 24 Stunden an das Stromnetz angeschlossen werden, damit der eingebaute Akku geladen wird.

Durch Druck auf die rote Folientaste "Power" wird es in Betrieb genommen, nun leuchtet eine grüne Leuchte für Einschaltkontrolle auf.

Das Gerät wird je nach Zahntyp durch Betätigen einer der Tasten "Incisor", "Canine", "Premolar" oder "Molar" eingestellt.

Die Anzeige erfolgt digital, auf dem Display erscheint im Feld "apical distance" die Messlänge, welche in Millimeter und 1/10 Millimeter angegeben wird. Die Ziffern bewegen sich bei Einführen der Nadel Richtung "0". Ist diese erreicht, befindet sich die Nadelspitze an der apikalen Konstriktion.

Zugleich gibt eine akustische Anzeige die Position der Nadel an. Es ertönt zunächst ein schneller Piepston, welcher bei Erreichen der apikalen Konstriktion in einen langsamen Piepston übergeht.

Ein Vorschieben der Nadel über den Apex wird durch das Gerät mit einem deutlichen Dauerton quittiert. Gleichzeitig erscheint im Display der Buchstabe E ("Error"), und eine gelbe Kontrollleuchte blinkt auf.

Das Nadel - Handstück, die Neutral - Elektrode und die Verbindungskabel können autoklaviert werden.

4. 2. 5. Vorgehen bei der endometrischen Messung

Vorgehen mit den Geräten Root ZX, Endy oder Justy II

1. Trocknen der Außenfläche des Zahnes
Injektion einer elektrisch leitenden Flüssigkeit in den Kanal und Entfernen überschüssiger elektrolytischer Lösung bei Gerät Justy II und Endy
2. Plazieren der Schleimhautelektrode im Mundwinkel des Patienten
3. Befestigen des Wurzelkanalinstruments an der Instrumentenklemme im Bereich zwischen Griff und Stopper
4. Einführen des Wurzelkanalinstruments in den Kanal

5. Vorschieben des Wurzelkanalinstruments bis zum jeweiligen Anzeigebereich der apikalen Konstriktion (s. o.)
6. Einstellen des Stopps am koronalen Referenzpunkt
7. Entnehmen des Instruments und Ablesen der ermittelten Länge

Vorgehen mit dem Gerät Endox

1. Der Hersteller empfiehlt eine Lokalanästhesie, da es während der endometrischen Längenmessung zu einem Missempfinden kommen kann
2. Trockenlegen des Zahnes
3. Bei Blutung Blutstillung mit Wasserstoffperoxyd
4. Trocknen des Kanals so weit wie möglich mit Papierspitzen, eine geringe Restfeuchtigkeit sollte erhalten bleiben
5. Einspannen der Nadel in den Nadelhalter
6. Die Neutralelektrode muss vom Patienten fest mit der Hand umfasst werden
7. Vorschieben der Nadel bis zum Anzeigebereich "0"
8. Einstellen des Stopps am koronalen Referenzpunkt
9. Entnehmen der Nadel und Ablesen der ermittelten Länge

4. 2. 6. Einschränkung der Verwendung elektronischer Wurzelkanallängenmessgeräte

Situationen, in denen Wurzelkanallängenmessgeräte nicht verwendet werden können:

1a Apikale Resorptionen

1b Wurzelkanäle mit unvollständigem Wurzelwachstum

Falls die Wurzelspitze aufgrund einer periapikalen Entzündung resorbiert ist oder ein unvollständiges Wurzelwachstum vorliegt, ist keine korrekte Messung möglich.

2. Blutungen im Wurzelkanal, so dass ein Kontakt zur Gingiva besteht

Wenn die Blutung aus dem Wurzelkanal so stark ist, dass Blut aus der Zugangskavität herausfließt, wird der elektrische Strom über die Gingiva fortgeleitet, was die Messung negativ beeinflusst.

3. Zerstörte Zahnkronen, so dass ein Kontakt zwischen Gingiva und Kavität besteht.

Dadurch wird der Strom vom Wurzelkanal zur Gingiva fortgeleitet, daraus resultieren falsche Messergebnisse.

Vor Verwendung des Messgerätes sollte die Zahnkrone mit einem elektrisch nicht leitenden Zement aufgebaut werden.

4. Fraktur der Zahnwurzel

Dadurch wird der Strom über den Frakturspalt fortgeleitet, in diesem Fall ist keine exakte Messung möglich.

5. Vorliegen einer bestehenden Wurzelkanalfüllung

Es muss sichergestellt sein, dass im Falle einer Revision vor der Messung das gesamte Füllmaterial aus dem Wurzelkanal entfernt wurde.

6. Direkter Kontakt zwischen einer metallischen Restauration und der Gingiva

Falls eine bestehende metallische Restauration die Gingiva berührt, muss vermieden werden, dass das bei der Messung verwendete Wurzelkanalinstrument in Kontakt mit der Restauration kommt.

4. 3. Praktische Vorgehensweise bei der klinischen Untersuchung

4. 3. 1. Auswahl der Patienten

Ein Teil der Messungen wurde bei Patienten durchgeführt, bei welchen im Rahmen einer Zahnsanierung in Intubationsnarkose Zähne extrahiert werden sollten.

Die Behandlung erfolgte in der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der LMU München.

Weiterhin wurde in der Poliklinik für Mund - Kiefer - Gesichtschirurgie der LMU München Messungen bei Patienten durchgeführt, bei welchen Zahnextraktionen anstanden.

Voraussetzung für die Durchführung der Untersuchung war die mündliche und schriftliche Aufklärung des Patienten und die schriftliche Einverständniserklärung des Patienten bzw. des entsprechenden Vormundes.

(Formblatt zur Aufklärung und Einverständniserklärung : siehe Anhang)

Es stellten sich 21 Patienten im Alter von 19 bis 73 Jahren zur Verfügung.

Es fand keinerlei Auswahl hinsichtlich Geschlecht und Alter statt.

Patienten mit schweren Allgemeinerkrankungen sowie Träger eines Herzschrittmachers wurden von der Untersuchung ausgeschlossen.

4. 3. 2. Auswahl der Zähne

Es wurden 40 Wurzelkanäle an Zähnen gemessen, die aus parodontalen, endodontischen, prothetischen oder kieferorthopädischen Gründen zur Extraktion vorgesehen waren.

Hierbei wurde keinerlei Selektion hinsichtlich der Zahntypen vorgenommen, da die Gegebenheiten möglichst denjenigen im Praxisalltag entsprechen sollten.

4.3.3. Vorgehen am Patienten

Vor der Messung wurde an den zu extrahierenden Zähnen eine Infiltrations- bzw. Leitungsanästhesie vorgenommen.

Danach erfolgte die Trepanation und Schaffung einer endodontischen Zugangskavität mit einer Turbine unter Wasserkühlung.

Bei stärkerer Blutung wurde mittels Papierspitzen getrocknet.

Wie in vorangegangenen Studien praktiziert wurde bei vorhandener Blutung im Versuchsprotokoll die Vitalität ein Plus (+), bei fehlender Blutung ein Minus (-) vermerkt [14].

Die Messungen wurden nacheinander mit den Geräten Root ZX, Justy II, Endy und Endox durchgeführt. Bei stärkerer Blutung wurde auch zwischen den Messungen mit Papierspitzen getrocknet.

Vor Benutzung der Geräte Endy und Justy II wurde der jeweilige Kanal entsprechend den Herstellerangaben mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet.

Vor Messung mit dem Gerät Endox erfolgte, falls nötig, wieder eine Trocknung mit Papierspitzen, da sich dieses Gerät als sehr feuchtigkeitsempfindlich erwies.

Die Messung wurde mit K - Feilen der ISO - Größe 15 durchgeführt, beim Gerät Endox mit den dafür vorgesehenen Nadeln. Als Markierung des Referenzpunktes kamen Metallstopper zum Einsatz, da bei diesen durch den festen Sitz am Instrument ein versehentliches Verrutschen des Stoppers während der Messung ausgeschlossen werden kann.

Die Messungen wurden entsprechend den Herstellerangaben sorgfältig durchgeführt.

Erfolgte beim jeweiligen Messgerät die Anzeige für Apex bzw. apikale Konstriktion, so wurde der Metallstopper unter gleichzeitiger Kontrolle des Displays in Höhe des koronalen Referenzpunktes eingestellt. Der Referenzpunkt wurde im Versuchsprotokoll notiert.

Nach Messung und Einstellung des Stoppers wurde die Feile aus dem Kanal entnommen, und von der Sondenklemme gelöst. Die Längenbestimmung erfolgte durch Anlegen an ein Stahllineal und Ablesen des Längenwertes auf 0,5 mm genau. Dieses Vorgehen der Bestimmung des Längenwertes entspricht einem in der endodontischen Behandlung gängigen Verfahren und ist dem Praxisalltag nachempfunden.

Das weitere Vorgehen am Patienten entsprach einer routinemäßigen Extraktion.

Im Versuchsprotokoll wurde neben den Patientendaten der Zahntyp, die Anzahl der Wurzeln und Kanäle notiert, die Vitalität bzw. Devitalität, soweit feststellbar Klopfempfindlichkeit und Vorliegen einer apikalen Aufhellung im Röntgenbild, der Extraktionsgrund sowie der Kanalinhalt (trocken / Blut / nekrotisches Gewebe / Pus).

Weiterhin wurden die ermittelten Längenwerte notiert, der koronale Referenzpunkt für den Stopp sowie gegebenenfalls Besonderheiten bei der Messung.

(Versuchsprotokoll siehe Anhang)

Die extrahierten Zähne wurden in verschraubbaren, beschrifteten Behältern bis zur weiteren Untersuchung in physiologischer Kochsalzlösung gelagert.

4. 3. 4. Anfertigen eines Röntgenbildes

Im folgenden wurde von jedem Zahn eine Zahnfilm - Aufnahme in Paralleltechnik angefertigt. Dazu wurden wiederum K - Feilen der ISO - Größe 15 mit Metallstopper verwendet. Die zunächst eingestellte Länge entsprach dabei dem für den jeweiligen Zahntyp gegebenen Durchschnittswert für die Wurzelkanallänge.

Die Zähne wurden zur Anfertigung der Röntgenaufnahme mit Kerr in ein Plastikmodell eingebettet, welches die Platzierung des Zahnfilmes durch Einführen in einen eigens dafür vorgesehenen Schlitz senkrecht zum Tubus ermöglicht. Die Einbettung des Zahnes erfolgte parallel zu diesem vorgegebenen Schlitz.

Die Aufnahme wurde in einem Abstand von 5 cm zum Modell mit der für den jeweiligen Zahntyp entsprechenden Strahlendosis angefertigt und anschließend entwickelt.

Lag die Feilenspitze mehr als 2 mm koronal vom röntgenologischen Foramen, so wurde eine zweite Aufnahme mit korrigierter Länge angefertigt.

Die röntgenologische Länge wurde mittels der oben beschriebenen Formel (siehe S. 13) berechnet bzw. bei exakter Positionierung der Feilenspitze am röntgenologischen Foramen an der Feile abgemessen und anschließend im Versuchsprotokoll notiert.

4. 3. 5. Schneiden der Zähne

Das Schneiden der Zähne erfolgte parallel zur Zahnachse im apikalen Drittel der Zahnwurzel. Hierzu wurde ein Handstück mit einer in ein Mandrell eingespannten Einmaltrennscheibe verwendet.

Vorsichtig wurden sehr dünne Schichten nach und nach abgetragen. Sobald der Wurzelkanal durch eine noch dünne Schicht verbliebenes Dentin sichtbar wurde, wurde diese letzte Schicht manuell mit einer H - Feile vorsichtig entfernt und der Wurzelkanal im Längsverlauf freigelegt.

4. 3. 6. Untersuchung der Messobjekte

Jeder Zahn wurde unter einem Stereo - Lichtmikroskop (ZEISS 475003-9902) begutachtet.

Zunächst wurde unter 10-facher Vergrößerung die apikale Konstriktion aufgesucht.

Dann wurde wiederum eine K - Feile der ISO - Größe 15 in den Kanal eingeführt und bis zu diesem Punkt vorgeschoben. Ein Metallstopper wurde am koronalen Referenzpunkt platziert und die Position der Feilenspitze nochmals überprüft.

Anschließend wurde analog dem Vorgehen bei der Messung und der Röntgenaufnahme die Länge bis zum Stopper nach Entnahme der Feile aus dem Wurzelkanal mit Hilfe eines Stahllineals abgelesen und im Versuchsprotokoll notiert.

4. 3. 7. Statistische Auswertung

Als statistische Auswertung dieser Untersuchung wurde eine Varianzanalyse über die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren durchgeführt.

Diese wurde mit dem LSD (Least Significance Difference) - Test erstellt.

Hierbei wurden zunächst die üblichen statistischen Parameter wie Mittelwert mit zugehöriger Standardabweichung, Median sowie Minima und Maxima bestimmt.

Schließlich wurde untersucht, inwieweit bestimmte Ausgangsparameter Einfluss auf das Messergebnis nehmen. Hierzu wurden Gruppen gebildet, anhand des t-Tests für unabhängige

Stichproben wurde ermittelt, ob zwischen diesen Gruppen signifikante Unterschiede auftraten oder nicht.

Die übrigen Diagramme wurden mit Microsoft Excel am PC angefertigt.

5. Ergebnisse

Altersverteilung

Die Altersspanne der Patienten lag zwischen 19 und 73 Jahren.

Bezüglich der absoluten Häufigkeiten ergab sich folgende Verteilung:

21 - 30 Jahre : 6

31 - 40 Jahre : 4

41 - 50 Jahre : 3

51 - 60 Jahre : 1

61 - 75 Jahre : 3

Hinsichtlich des Patientenalters ist die Verteilung relativ gleichmäßig, die größte Gruppe bildet die der 21- bis 30-jährigen mit 34 %, die kleinste die der 51- bis 60jährigen mit 6 %.

Die Altersverteilung der Patienten ist in Diagramm 1 wiedergegeben.

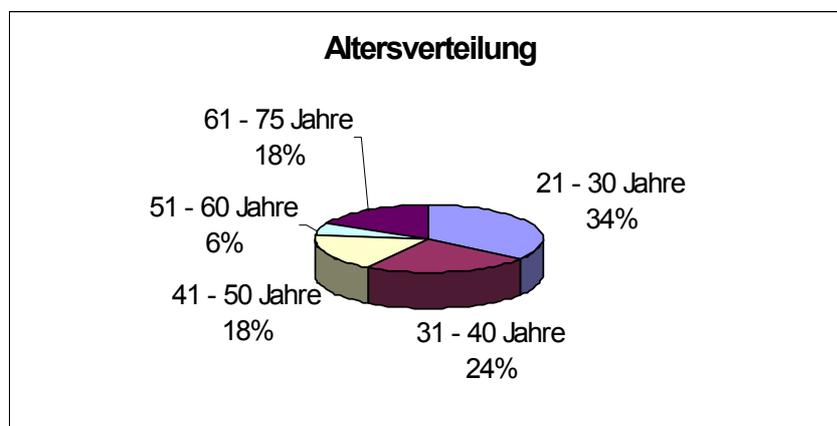


Diagramm 1 : Altersverteilung der untersuchten Patienten (relative Häufigkeiten)

Zahnverteilung

In die Untersuchung wurden Wurzelkanäle aller Zahntypen, sprich Inzisivi, Canini, Prämolaren und Molaren, einbezogen.

Bezüglich der absoluten Häufigkeiten ergab sich folgende Verteilung:

Inzisivi : 16

Canini : 2

Prämolaren : 10

Molaren : 12

Von allen untersuchten Zähnen bildeten die Inzisivi mit 40 % die größte Gruppe, gefolgt von der Gruppe der Prämolaren mit 30 %. Molarenkanäle gingen mit 25 % in die Untersuchung ein, die kleinste Gruppe bildete die der Canini mit nur 5 %.

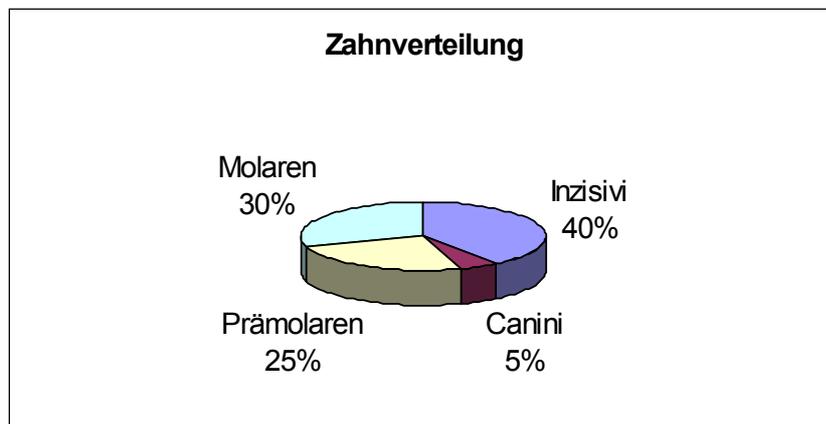


Diagramm 2 : Verteilung der untersuchten Zahntypen (relative Häufigkeiten)

Bezüglich der Unterscheidung der untersuchten Zähne in "einwurzlig" und "mehrwurzlig" ergab sich folgende absolute Häufigkeitsverteilung:

einwurzlig : 27

mehrwurzlig : 13

Von den untersuchten Wurzelkanälen waren 67 % Kanäle einwurzlicher Zähne, 33 % Kanäle mehrwurzlicher Zähne.



Diagramm 3 : Verhältnis der untersuchten Zähne einwurzig zu mehrwurzig (relative Häufigkeiten)

Bezüglich der Unterscheidung der untersuchten Zähne in "vital" und "devital" ergab sich folgende absolute Häufigkeitsverteilung:

vital : 29

devital : 11

Somit gingen vitale Zähne zu 72 % in die Untersuchung ein, 28 % der Zähne waren ohne Sensibilität.

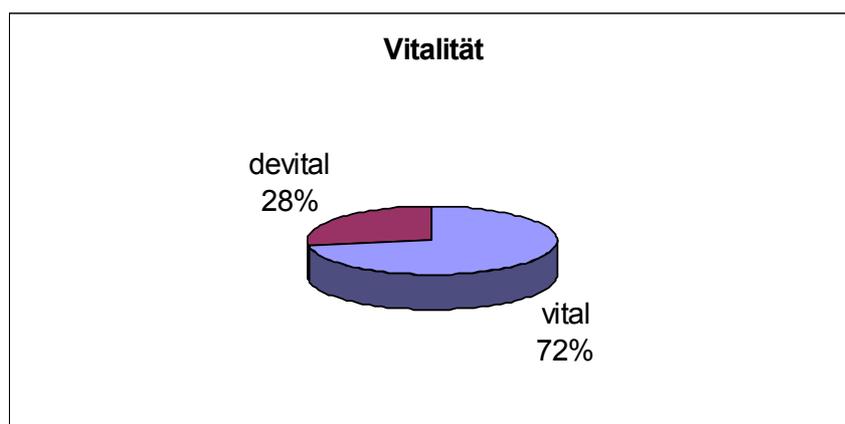


Diagramm 4 : Verhältnis der untersuchten Zähne vital zu devital

5. 1. Ergebnisprotokoll der Messreihen

<i>Zahn</i>	<i>Root ZX</i>	<i>Endy</i>	<i>Justy</i>	<i>Endox</i>	<i>Röntgen</i>	<i>Tats. Länge</i>
11	21 mm	19,5 mm	20 mm	20 mm	20 mm	20,5 mm
11	20,5 mm	20,5 mm	20 mm	19 mm	20 mm	20 mm
12	20,5 mm	20,5 mm	20 mm	19 mm	20 mm	20 mm
21	22 mm	20,5 mm	20 mm	18,5 mm	20 mm	20 mm
21	22 mm	21 mm	19 mm	20 mm	20,5 mm	21 mm
21	10 mm	nicht mögl.	10,5 mm	nicht mögl.	10,5 mm	10,5 mm
22	23 mm	23 mm 2,5 mm v.A.	23 mm 0,5 mm v.A.	23 mm	23 mm	23mm
22	17 mm	17,5 mm	16,5 mm	17 mm	17 mm	17 mm
22	11 mm	11,5 mm	10,5 mm	10,5 mm	11 mm	11 mm
23	27,5 mm	27,5 mm	27,5 mm	nicht mögl.	27,5 mm	27,5 mm
31	21 mm	21,5 mm	20 mm	20 mm	20 mm	20 mm
32	24 mm	24 mm	24 mm	24 mm	24 mm	24 mm
33	23 mm 2 mm v.A.	23 mm 2 mm v. A.	23,5 mm	22 mm	25,5 mm	25 mm
41	20 mm	19,5 mm 2,5 mm v.A.	20 mm	18,5 mm	20 mm	20 mm
41	22 mm	22 mm	22 mm	22 mm	22,5 mm	22 mm
42	22 mm 1,5 mm v.A.	23,5 mm	23 mm	21,5 mm	23,5 mm	23 mm
42	20,5 mm	20,5 mm	20 mm	19,5 mm	20 mm	19,5 mm
42	23,5 mm	23,5 mm	23,5 mm	23 mm	24 mm	24 mm
14	20,5 mm 1,5 mm v.A.	20 mm 3 mm v.A.	21 mm 1 mm v.A.	23 mm (3 x Schuß)	21,5 mm	21 mm
25	22,5 mm	22 mm 2 mm v.A.	21,5 mm	nicht mögl.	21,5 mm	21,5 mm
34	25 mm 0,5 mm v.A.	25,5 mm 2,1 mm v.A.	25 mm	20,5 mm	25 mm	25 mm
44	22,5 mm	22 mm	22,5 mm	20,5 mm	22,5 mm	22,5 mm
44	20 mm	20,5 mm	20 mm	nicht mögl.	20 mm	20 mm
44	16 mm	18,5 mm	16,5 mm	17 mm 1,5 mm v.A.	15 mm	15 mm
44	13 mm	13 mm	12 mm	11 mm	13 mm	13 mm

Fortsetzung der Tabelle von S. 51:

<i>Zahn</i>	<i>Root ZX</i>	<i>Endy</i>	<i>Justy</i>	<i>Endox</i>	<i>Röntgen</i>	<i>Tats. Länge</i>
45	24 mm	23,5 mm	23,5 mm	22,5 mm	24 mm	24 mm
45	22 mm	22,5 mm	21 mm	20,5 mm	22 mm	22 mm
45	15 mm	15,5 mm	14,5 mm	13,5 mm	15,5 mm	15,5 mm
37 mb	22 mm	22 mm	22 mm	19 mm 1,5 mm v.A.	21 mm	21,5 mm
d	21,5 mm	22 mm	21,5 mm	17,5 mm	21,5 mm	21,5 mm
46 ml	20 mm	20,5 mm	19,5 mm	18 mm	19,5 mm	20 mm
mb	19 mm 0,7 mm v.A.	19,5 mm 3 mm v.A.	18,5 mm 1,5 mm v.A.	18,5 mm	20 mm	20 mm
d	20 mm	20,5 mm	18,5 mm 1 mm v.A.	18 mm	19,5 mm	20 mm
46 ml	20,5 mm 2 mm v. A.	24 mm 1,5 mm v.A.	20,5 mm 2 mm v. A.	19,5 mm	22 mm	23 mm
mb	24 mm	24 mm	24 mm	18 mm	22 mm	22,5 mm
d	22,5 mm	24 mm	22,5 mm	nicht mögl.	22 mm	22,5 mm
46 mb	20,5 mm	20,5 mm	20,5 mm	15 mm 2 mm v. A.	21 mm	21 mm
d	20 mm	20 mm	20 mm	19 mm 0,5 mm v.A.	20,5 mm	20,5 mm
47 d	15,5 mm	15 mm	14,5 mm	14,5 mm	14 mm	14,5 mm
47 d	22,5 mm	22,5 mm	21,5 mm	21 mm 0,5 mm v.A.	22 mm	22 mm

Tabelle 2: Ergebnisse der durchgeführten Messreihen

Die Angabe der Zähne (Spalte 1) erfolgt geordnet nach FDI - Nomenklatur

Tabelle 2 listet für jeden untersuchten Wurzelkanal die Distanz zwischen koronalem Referenzpunkt (Platzierung des Metallstopps) und jeweiliger Lokalisation der apikalen Konstriktion auf. Die Messergebnisse sind angegeben für die vier untersuchten Endometriegeräte, für die Röntgentechnik, sowie nach Ermittlung der tatsächlichen Distanz. Die Entfernungen sind mit einer Genauigkeit von 0,5 mm abgemessen.

Bei einigen Messungen konnte aufgrund mechanischer Hindernisse die Feile nicht weiter nach apikal vorgeschoben werden, obwohl das Gerät noch nicht den Apex anzeigte, sondern einen Wert für die - laut Gerät - noch bestehende Entfernung von der apikalen Konstriktion.

In solchen Fällen wurde der Metallstopp wie in den übrigen Fällen am koronalen Referenzpunkt eingestellt, die Feile aus dem Kanal entnommen, abgemessen und der vom Gerät angezeigte Wert für die Distanz zur apikalen Konstriktion notiert.

Dieser Wert ist für diese Fälle in der Tabelle angegeben und mit der Bezeichnung v. A. (vor Apex) versehen.

In der Darstellung und Auswertung der Messergebnisse wurden zwei Gruppen gebildet:

In der ersten Gruppe (Gruppe I) wurden nur die Messungen eingebracht, bei welchen der Apex tatsächlich erreicht worden war.

In einer zweiten Gruppe (Gruppe II) wurden alle Messungen berücksichtigt, wobei in den oben beschriebenen Fällen der vom Gerät angegebene Millimeterwert zur abgemessenen Feilenlänge hinzuaddiert wurde.

Dies erklärt auch die unterschiedlichen Angaben für den Stichprobenumfang n.

In einigen Fällen war die Durchführung der Messung nicht möglich, da die Anzeige zu sehr schwankte, kein reproduzierbarer Wert ermittelt werden konnte, oder das Gerät sofort nach Einführen des Instrumentes in den Wurzelkanal das Erreichen des Apex anzeigte. Dies wurde im Protokoll mit "nicht möglich" vermerkt.

5. 2. Tabellarische Darstellung der Ergebnisse

In allen Tabellen ist in der ersten Spalte Entfernung der Instrumentenspitze zur apikalen Konstriktion angegeben, die Angabe erfolgt in [mm]. Hierbei bezeichnen negative Werte zu kurze Messwerte, d. h. die Instrumentenspitze lag bei der Anzeige "Apex" des jeweiligen Gerätes koronal der apikalen Konstriktion, positive Werte bezeichnen zu lange Messwerte, d.h. die Instrumentenspitze lag bei der Anzeige "Apex" des jeweiligen Gerätes apikal der Konstriktion.

Das Kürzel "n" unter der jeweiligen Geräteangabe bezeichnet den Stichprobenumfang.

Tabelle 3 und 4 zeigen die Fallzahlen bzw. Prozentwerte für entsprechende Differenzen zwischen gemessener und tatsächlicher Kanallänge.

Hierbei sind nur die Messwerte aufgeführt, bei welchen tatsächlich die Anzeige "Apex" erfolgte (Gruppe I).

	<i>Root ZX</i> <i>n = 34</i>	<i>Endy</i> <i>n = 31</i>	<i>Justy</i> <i>n = 35</i>	<i>Endox</i> <i>n = 30</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
<= - 2	0	0	1	10	0
- 1,5	0	0	1	5	0
- 1	0	1	3	5	1
- 0,5	5	5	9	2	8
0	16	6	17	7	26
+ 0,5	5	14	2	0	5
+ 1	6	1	0	0	0
+ 1,5	1	3	2	0	0
>= + 2	1	1	0	1	0

Tabelle 3: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bzw. röntgenologisch bestimmter und tatsächlicher Länge (absolute Häufigkeit)
(Angabe in Spalte 1 in [mm], s.o.)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 34</i>	<i>Endy</i> <i>n = 31</i>	<i>Justy</i> <i>n = 35</i>	<i>Endox</i> <i>n = 30</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
<= - 2	0 %	0 %	2,9 %	33,3 %	0 %
- 1,5	0 %	0 %	2,9 %	16,7 %	0 %
- 1	0 %	3,2 %	8,6 %	16,7 %	2,5 %
- 0,5	14,7 %	16,1 %	25,7 %	6,7 %	20 %
0	47,1 %	19,4 %	48,5 %	23,3 %	65 %
+ 0,5	14,7 %	45,2 %	5,7 %	0 %	12,5 %
+ 1	17,7 %	3,2 %	0 %	0 %	0 %
+ 1,5	2,9 %	9,7 %	5,7 %	0 %	0 %
>= + 2	2,9 %	3,2 %	0 %	3,3 %	0 %

Tabelle 4: Prozentzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bzw. röntgenologisch bestimmter und tatsächlicher Länge (relative Häufigkeit)

Die Geräte Root ZX und Justy liegen bei der genauen Apexlokalisierung mit 47,1 % bzw. 48,5 % deutlich exakter als Endy mit 19,4 % und Endox mit 23,3 %. Beim Gerät Endy liegt die Mehrzahl der Messungen um 0,5 mm zu lang (45,2 %), beim Gerät Endox fällt auf, dass 33,3 % der Messungen um mindestens 2 mm zu kurz ausfielen.

Mittels der Röntgentechnik konnte der Apex am häufigsten genau lokalisiert werden (65 %), auch fällt die Streuung der Ergebnisse deutlich geringer aus als bei den endometrischen Messungen.

Die Tabellen 5 und 6 zeigen an, in wie vielen Fällen bzw. in wie viel Prozent der Fälle die Feilenspitze an der apikalen Konstriktion zu liegen kam (0), oder in den Bereichen +/- 0,5 mm bis hin zu +/- 2 mm von der Konstriktion entfernt.

	<i>Root ZX</i> <i>n = 34</i>	<i>Endy</i> <i>n = 31</i>	<i>Justy</i> <i>n = 35</i>	<i>Endox</i> <i>n = 30</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
0	16	6	17	7	26
- 0,5 < x < 0,5	26	25	28	9	39
- 1 < x < 1	32	27	31	14	40
- 1,5 < x < 1,5	33	30	34	19	-
- 2 < x < 2	34	31	35	25	-

Tabelle 5: Fallzahlen für verschiedene Entfernungsbereiche von der apikalen Konstriktion (absolute Häufigkeit)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 34</i>	<i>Endy</i> <i>n = 31</i>	<i>Justy</i> <i>n = 35</i>	<i>Endox</i> <i>n = 30</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
0	47,1%	19,4 %	48,5 %	23,3 %	65 %
- 0,5 < x < 0,5	76,5 %	80,6 %	80,0 %	30 %	97,5 %
- 1 < x < 1	94,1 %	87,1 %	88,6 %	46,7 %	100 %
- 1,5 < x < 1,5	97,1 %	96,8 %	97,1 %	63,3 %	-
- 2 < x < 2	100 %	100 %	100 %	83,3 %	-

Tabelle 6: Prozentzahlen für verschiedene Entfernungsbereiche von der apikalen Konstriktion (relative Häufigkeit)

Hierbei ist es nicht möglich, für die unterschiedlich gezogenen Grenzbereiche ein Gerät herauszustellen, welches stets die genauesten Messergebnisse liefert. Die genaue Apexlokalisierung gelang mit dem Gerät Justy am häufigsten (48,5 %), im Bereich +/- 0,5 mm ermittelte das Gerät Endy die genauesten Messwerte (80,6 %), im Bereich +/- 1mm das Root ZX (94,1 %). Im Bereich +/-1,5 mm nähern sich die Ergebnisse der drei Geräte Root ZX, Endy und Justy deutlich an, im Bereich +/- 2mm erreichen alle drei Geräte 100 %. Die

Messgenauigkeit des Endox liegt für alle Grenzbereiche deutlich darunter. Beim Röntgen wird eine Messgenauigkeit von 100 % bereits im Bereich von +/- 1mm erreicht.

Die Tabellen 7 und 8 entsprechen Tabelle 3 und 4, wobei auch die Messungen in die Auswertung aufgenommen sind, bei welchen der Apex nicht erreicht wurde (Anzeige aller Messwerte, Gruppe II).

	<i>Root ZX</i> <i>n = 40</i>	<i>Endy</i> <i>n = 39</i>	<i>Justy</i> <i>n = 40</i>	<i>Endox</i> <i>n = 35</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
<= - 2	0	0	1	11	0
- 1,5	0	0	1	5	0
- 1	0	1	3	6	1
- 0,5	6	5	11	4	8
0	18	7	18	7	26
+ 0,5	7	14	3	0	5
+ 1	7	1	1	0	0
+ 1,5	1	3	2	0	0
>= + 2	1	8	0	2	0

Tabelle 7: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bzw. röntgenologisch bestimmter und tatsächlicher Länge für alle Messwerte (absolute Häufigkeit)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 40</i>	<i>Endy</i> <i>n = 39</i>	<i>Justy</i> <i>n = 40</i>	<i>Endox</i> <i>n = 35</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
<= - 2	0 %	0 %	2,5 %	31,5 %	0 %
- 1,5	0 %	0 %	2,5 %	14,3 %	0 %
- 1	0 %	2,6 %	7,5 %	17,1 %	2,5 %
- 0,5	15,0 %	12,8 %	27,5 %	11,4 %	20 %
0	45,0 %	17,9 %	45 %	20,0 %	65 %
+ 0,5	17,5 %	35,9 %	7,5 %	0 %	12,5 %
+ 1	17,5 %	2,6 %	2,5 %	0 %	0 %
+ 1,5	2,5 %	7,7 %	5,0 %	0 %	0 %
>= + 2	2,5 %	20,5 %	0 %	5,7 %	0 %

Tabelle 8: Prozentzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bzw. röntgenologisch bestimmter und tatsächlicher Länge für alle Messwerte (relative Häufigkeit)

Die Werte der Tabellen 7 und 8 weichen kaum von denjenigen der Tabellen 3 und 4 ab. Lediglich für das Gerät Endy ergibt sich für die Prozentzahl der Messungen, welche mindestens 2 mm über die apikale Konstriktion hinaus zu lang ausfielen, ein deutlicher Unterschied von Gruppe I (3,2 %) gegenüber Gruppe II (20,5 %)

Die Tabellen 9 und 10 entsprechen Tabelle 5 und 6, jedoch unter Berücksichtigung aller Messwerte (Gruppe II).

	<i>Root ZX</i> <i>n = 40</i>	<i>Endy</i> <i>n = 39</i>	<i>Justy</i> <i>n = 40</i>	<i>Endox</i> <i>n = 35</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
0	18	7	18	7	26
- 0,5 < x < 0,5	31	26	32	11	39
- 1,0 < x < 1,0	38	28	36	17	40
- 1,5 < x < 1,5	39	31	39	22	-
- 2,0 < x < 2,0	40	34	40	33	-

Tabelle 9: Fallzahlen für verschiedene Entfernungsbereiche von der apikalen Konstriktion für alle Messwerte (absolute Häufigkeit)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 40</i>	<i>Endy</i> <i>n = 39</i>	<i>Justy</i> <i>n = 40</i>	<i>Endox</i> <i>n = 35</i>	<i>Röntgen</i> <i>n = 40</i>
0	45%	17,9 %	45 %	20,0 %	65 %
- 0,5 < x < 0,5	77,5 %	66,7 %	80 %	31,4 %	97,5 %
- 1,0 < x < 1,0	95,0 %	71,8 %	90 %	48,6 %	100 %
- 1,5 < x < 1,5	97,5 %	79,5 %	97,5 %	62,9 %	-
- 2,0 < x < 2,0	100 %	87,2 %	100 %	94,3 %	-

Tabelle 10: Prozentzahlen für verschiedene Entfernungsbereiche von der apikalen Konstriktion für alle Messwerte (relative Häufigkeit)

Auch hier ergeben sich keine allzu deutlichen Unterschiede zwischen Gruppe I und II, wiederum mit der Ausnahme der Messergebnisse des Gerätes Endy im Bereich +/- 2mm. In Gruppe II wird innerhalb dieser Grenzziehung die 100 % - Marke nicht erreicht.

Die Tabellen 11 und 12 zeigen die Fallzahlen der Messergebnisse für vitalen und nekrotischen Kanalinhalt.

	<i>Root ZX</i> <i>n = 29</i>	<i>Endy</i> <i>n = 28</i>	<i>Justy II</i> <i>n = 29</i>	<i>Endox</i> <i>n = 25</i>
< - 2	0	0	1	6
- 1,5	0	0	0	5
- 1	0	1	1	4
- 0,5	2	2	6	2
0	15	3	13	7
+ 0,5	5	10	5	0
+ 1	7	1	1	0
+ 1,5	0	3	2	0
> + 2	1	8	0	1

Tabelle 11: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge für vitale Zähne (absolute Häufigkeit)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 11</i>	<i>Endy</i> <i>n = 11</i>	<i>Justy II</i> <i>n = 11</i>	<i>Endox</i> <i>n = 11</i>
< - 2	0	0	0	3
- 1,5	0	0	0	0
- 1	0	0	2	2
- 0,5	4	3	6	1
0	5	4	3	4
+ 0,5	2	4	0	1
+ 1	0	0	0	0
+ 1,5	0	0	0	0
> + 2	0	0	0	0

Tabelle 12: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge für Zähne mit nekrotischem Kanalinhalt (absolute Häufigkeit)

Die Tabellen 13 und 14 zeigen die Fallzahlen der Messergebnisse für einwurzlige und mehrwurzlige Zähne.

	<i>Root ZX</i> <i>n = 27</i>	<i>Endy</i> <i>n = 26</i>	<i>Justy II</i> <i>n = 27</i>	<i>Endox</i> <i>n = 24</i>
< - 2	0	0	1	5
- 1,5	0	0	0	6
- 1	0	1	3	3
- 0,5	3	3	5	2
0	13	7	14	7
+ 0,5	5	8	3	0
+ 1	5	1	0	0
+ 1,5	0	1	1	0
> + 2	1	5	0	1

Tabelle 13: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge für einwurzlige Zähne (absolute Häufigkeit)

	<i>Root ZX</i> <i>n = 13</i>	<i>Endy</i> <i>n = 13</i>	<i>Justy II</i> <i>n = 13</i>	<i>Endox</i> <i>n = 12</i>
< - 2	0	0	0	6
- 1,5	0	0	0	1
- 1	0	0	0	1
- 0,5	4	3	6	1
0	4	0	4	3
+ 0,5	2	5	1	0
+ 1	2	0	1	0
+ 1,5	1	2	1	0
> + 2	0	3	0	0

Tabelle 14: Fallzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge für mehrwurzlige Zähne (absolute Häufigkeit)

5. 3. Grafische Darstellung der Ergebnisse

Diagramm 5 zeigt für die Gruppe I den prozentualen Anteil der Messungen, bei welchen die apikale Konstriktion genau lokalisiert wurde (0).

Root ZX	Endy	Justy	Endox	Röntgen
0,47	0,19	0,48	0,23	0,65

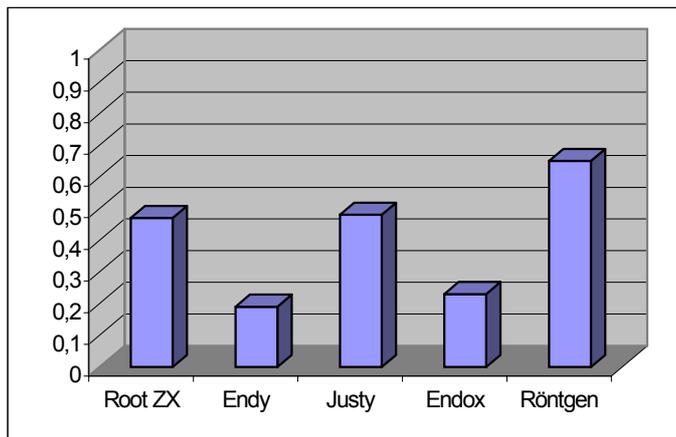


Diagramm 5 : prozentualer Anteil der genauen Apexlokalisierung (0)

Diagramm 6 zeigt für die Gruppe I den prozentualen Anteil der Messungen bei welchen die apikale Konstriktion auf 0,5 mm genau lokalisiert wurde ($-0,5 < x < 0,5$).

Root ZX	Endy	Justy	Endox	Röntgen
0,77	0,81	0,8	0,3	0,98

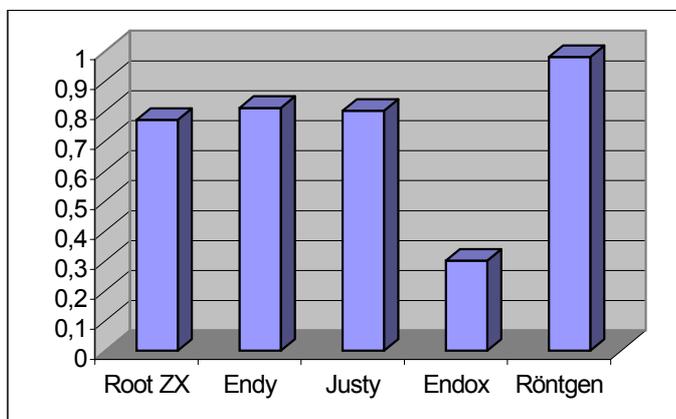


Diagramm 6 : prozentualer Anteil der Apexlokalisierung im Bereich +/- 0,5 mm

Diagramm 7 zeigt für die Gruppe I den prozentualen Anteil der Messungen bei welchen die apikale Konstriktion auf 1 mm genau lokalisiert wurde ($-1 < x < 1$).

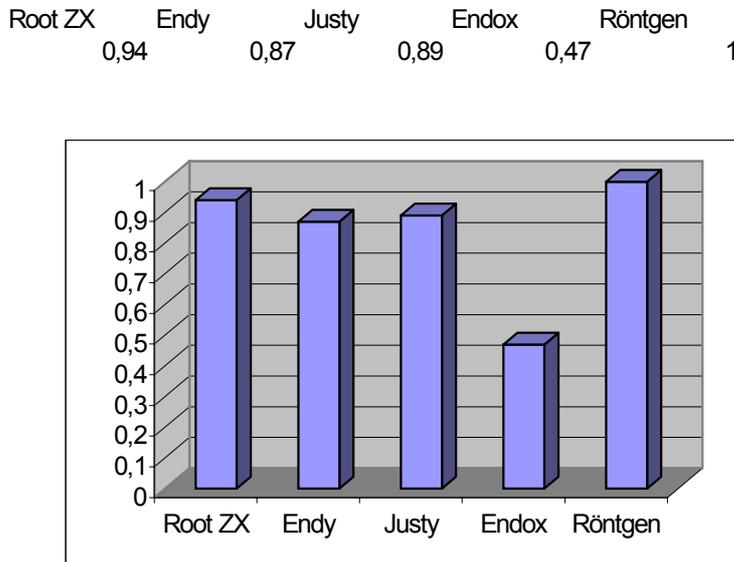


Diagramm 7 : prozentualer Anteil der Apexlokalisierung im Bereich +/- 1 mm

Diagramm 8 zeigt wie Diagramm 5 den prozentualen Anteil der Messungen, bei welchen die apikale Konstriktion genau lokalisiert wurde (0), unter Berücksichtigung aller Messungen (Gruppe II).

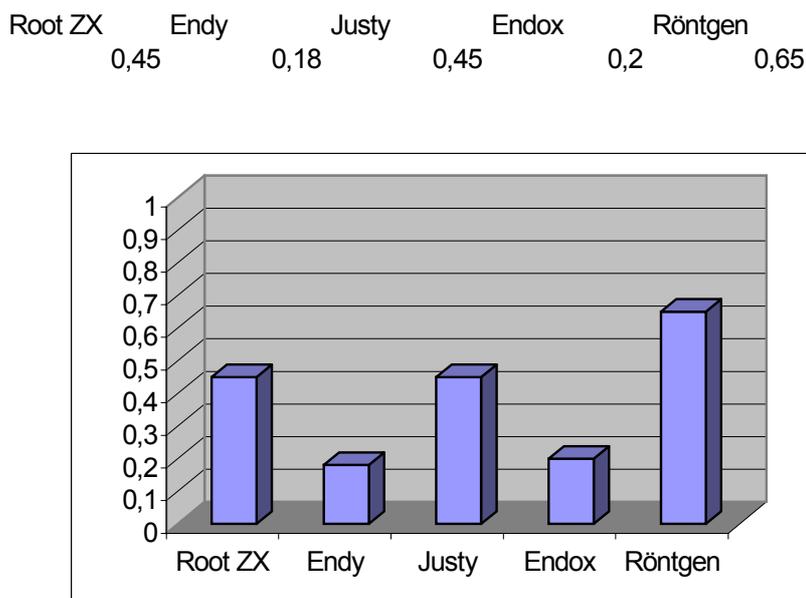


Diagramm 8: prozentualer Anteil der genauen Apexlokalisierung für alle Messwerte

Diagramm 9 entspricht Diagramm 6 und zeigt den prozentualen Anteil der Messungen, bei welchen die apikale Konstriktion auf 0,5 mm genau lokalisiert wurde ($-0,5 < x < 0,5$) (Gruppe II).

Root ZX Endy Justy Endox Röntgen
0,78 0,67 0,8 0,31 0,98

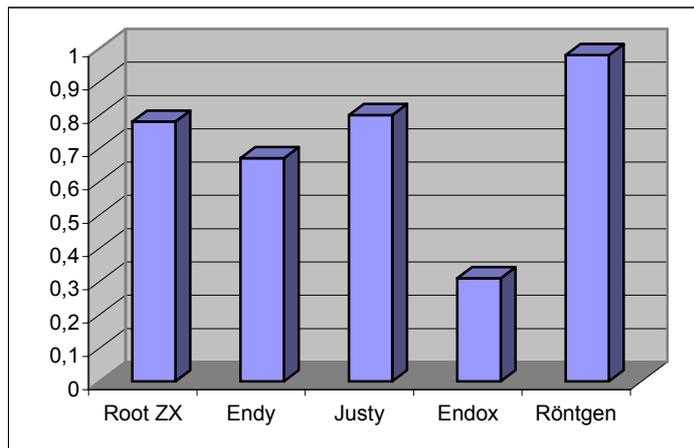


Diagramm 9: prozentualer Anteil der Apexlokalisierung im Bereich $\pm 0,5$ mm für alle Messwerte

Diagramm 10 entspricht Diagramm 7 und zeigt den prozentualen Anteil der Messungen, bei welchen die apikale Konstriktion auf 1 mm genau lokalisiert wurde ($-1 < x < 1$) (Gruppe II).

Root ZX Endy Justy Endox Röntgen
0,95 0,72 0,9 0,49 1

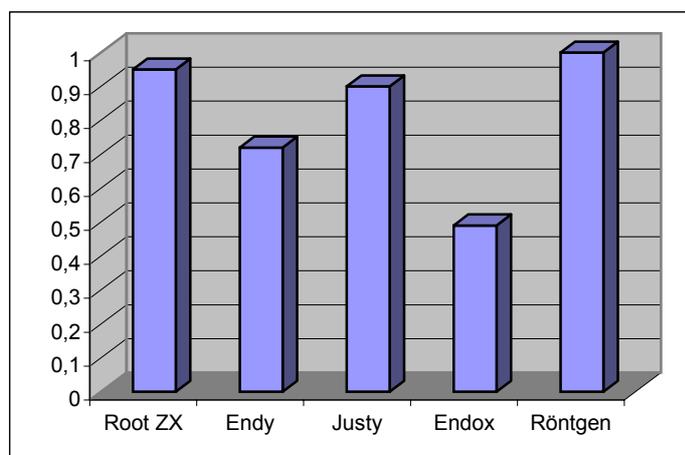


Diagramm 10: prozentualer Anteil der Apexlokalisierung im Bereich ± 1 mm für alle Messwerte

Die Abbildungen 10 bis 14 veranschaulichen anhand einer schematischen Apexdarstellung die Messergebnisse für jedes einzelne Gerät. Die rechts aufgeführten Werte sind der Gruppe I zugeordnet, die links aufgeführten der Gruppe II. Als Referenzlinie wurde wiederum die apikale Konstriktion (0) gewählt, da diese in der endodontischen Therapie den apikalen Referenzpunkt darstellt.

Die Angaben hinter den geschweiften Klammern in der Grafik geben dabei die gesamte Erfolgsquote in einem Bereich von +/- 0,5 mm bis +/- 1 mm von der apikalen Konstriktion an. Die Wahl dieses Bereiches wird in der Diskussion erörtert.

Die jeweiligen Entfernungen von der apikalen Konstriktion sind in allen Abbildungen kursiv gedruckt.

Die hier aufgeführten Ergebnisse können ebenso den Tabellen 4 und 6 (Gruppe I) bzw. 8 und 10 (Gruppe II) entnommen werden. Abweichungen von den Tabellenwerten ergeben sich durch Rundung.

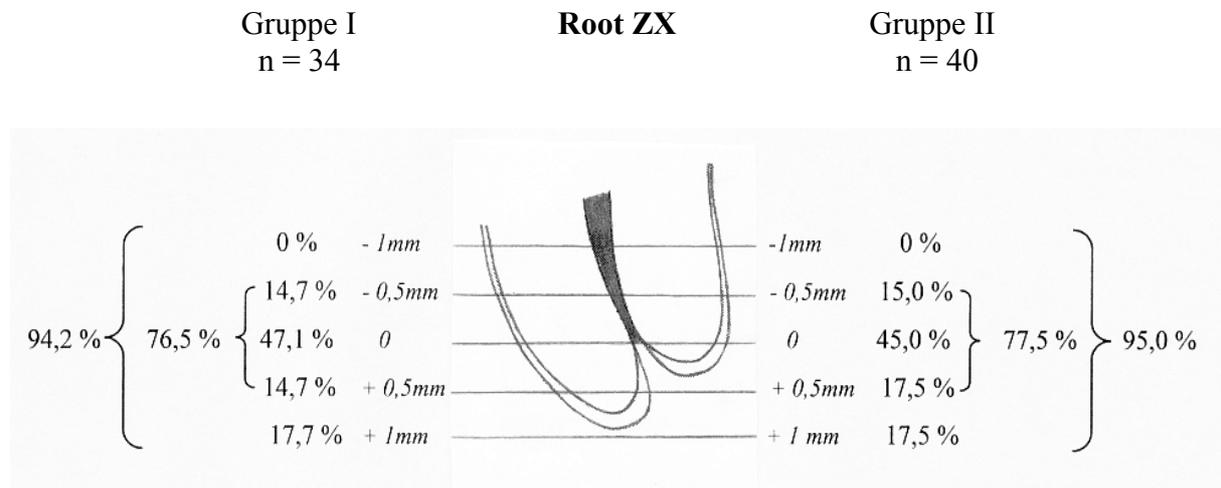


Abbildung 10: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion für das Gerät Root ZX für beide untersuchten Gruppen

(Erklärung der Gruppeneinteilung siehe S. 52)

Diese Darstellung macht nochmals deutlich, dass für das Gerät Root ZX die Messergebnisse der beiden Gruppen nur wenig voneinander abweichen.

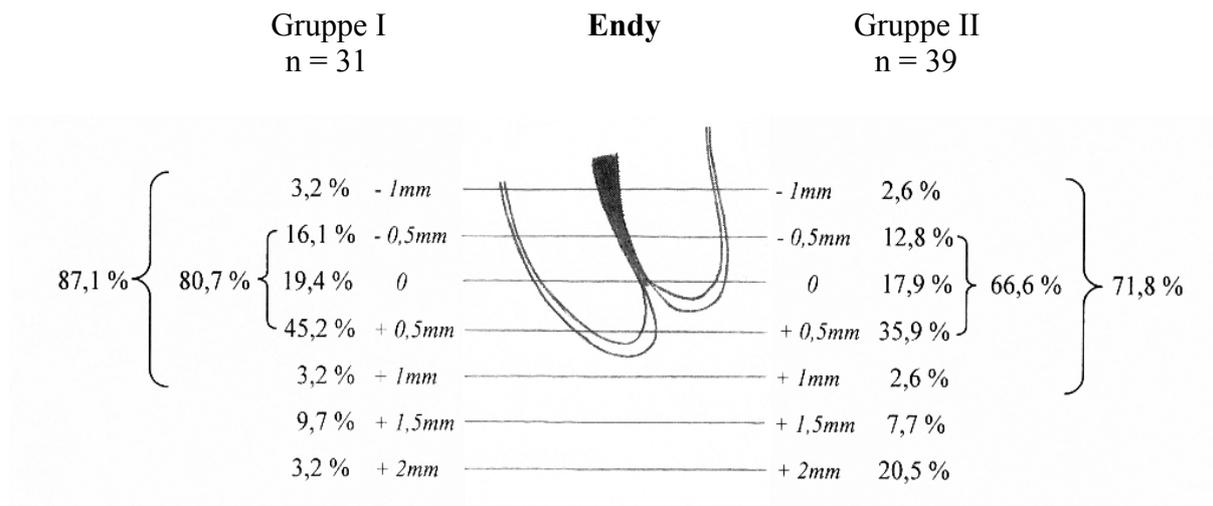


Abbildung 11: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion für das Gerät Endy für beide untersuchten Gruppen

Auffällig ist hierbei, dass mit dem in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die ermittelte Länge um 0,5 mm über die apikale Konstriktion hinausging, weitaus seltener wurde diese exakt ermittelt.

Ein deutlicher Unterschied von Gruppe I gegenüber Gruppe II ergibt sich bei Betrachtung der Messergebnisse, welche 2 mm zu lang ausfielen (3,2 % gegenüber 20,5 %).

Zur Veranschaulichung wurden die Werte für die um 1,5 und 2 mm zu langen Messungen in Abbildung 11 mit aufgeführt.

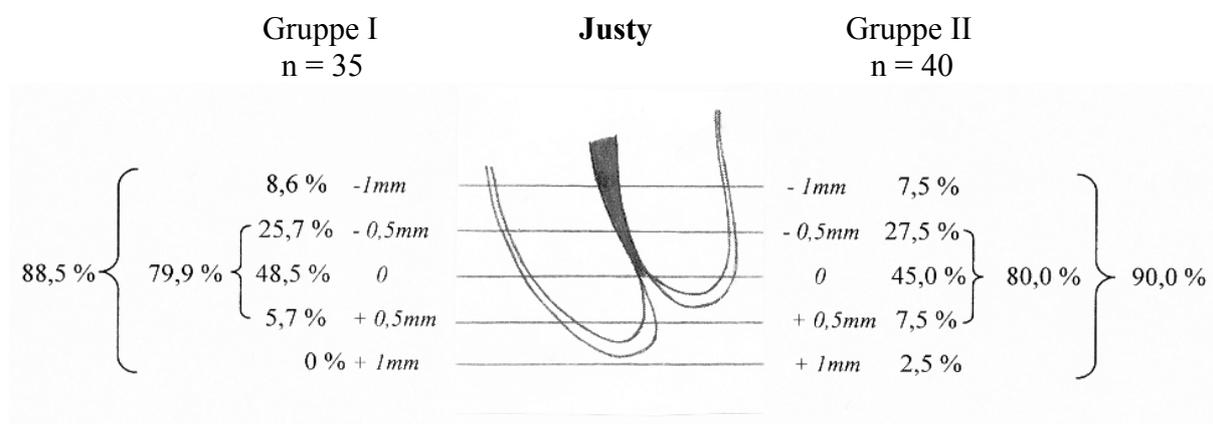


Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion für das Gerät Justy für beide untersuchten Gruppen

Für das Gerät Justy ergeben sich ähnlich wie für das Root ZX nur geringfügige Unterschiede von Gruppe I gegenüber Gruppe II.

Bemerkenswert ist im Vergleich dieser beiden Geräte, dass für den Bereich +/- 0,5 mm Justy genauere Messergebnisse lieferte, im Bereich +/- 1 mm jedoch Root ZX.

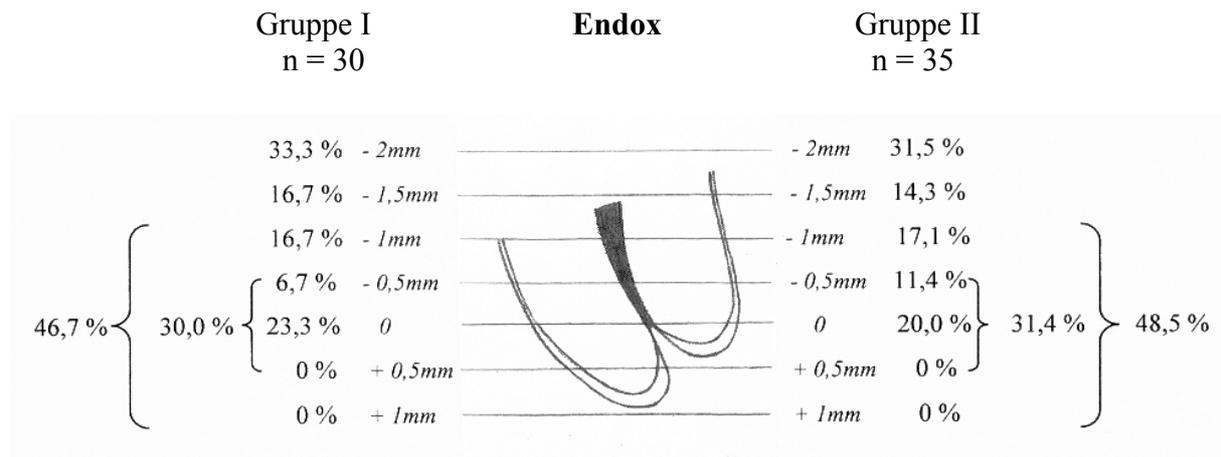


Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion für das Gerät Endox für beide untersuchten Gruppen

Für das Endox liegen die Werte bezüglich der Messgenauigkeit deutlich unter denjenigen der übrigen drei Geräte. Im Bereich von +/- 1 mm werden 50 % nicht erreicht. Die überwiegende Mehrzahl der Messungen fällt deutlich zu kurz aus.

Zur Veranschaulichung wurden die Werte für die um 1,5 und 2 mm zu kurzen Messungen in Abbildung 13 mit aufgeführt.

5. 4. Fotografische Dokumentation

Die Abbildungen 14 - 18 zeigen Auszüge aus der fotografischen Dokumentation.



Abbildung 14: Apikales Wurzelf Drittel des Zahnes 31 nach Freilegung des Wurzelkanals.

Gut erkennbar ist die trichterförmige Einziehung am Apex, die Verengung entspricht der apikalen Konstriktion.



Abbildung 15: Der selbe Zahn 31 mit eingeführtem Wurzelkanalinstrument

Das Instrument entspricht einer K - Feile der ISO - Größe 15. Die Instrumentenspitze kommt an der apikalen Konstriktion zu liegen.



Abbildung 16: Das selbe Bild wie in der vorhergehenden Abbildung ist stärker vergrößert dargestellt.



Abbildung 17: Apikales Wurzel Drittel des Zahnes 44 nach Freilegen des Wurzelkanals.

Der Wurzelkanalverlauf ist hier eher parallel, eine apikale Verengung weniger deutlich zu erkennen.

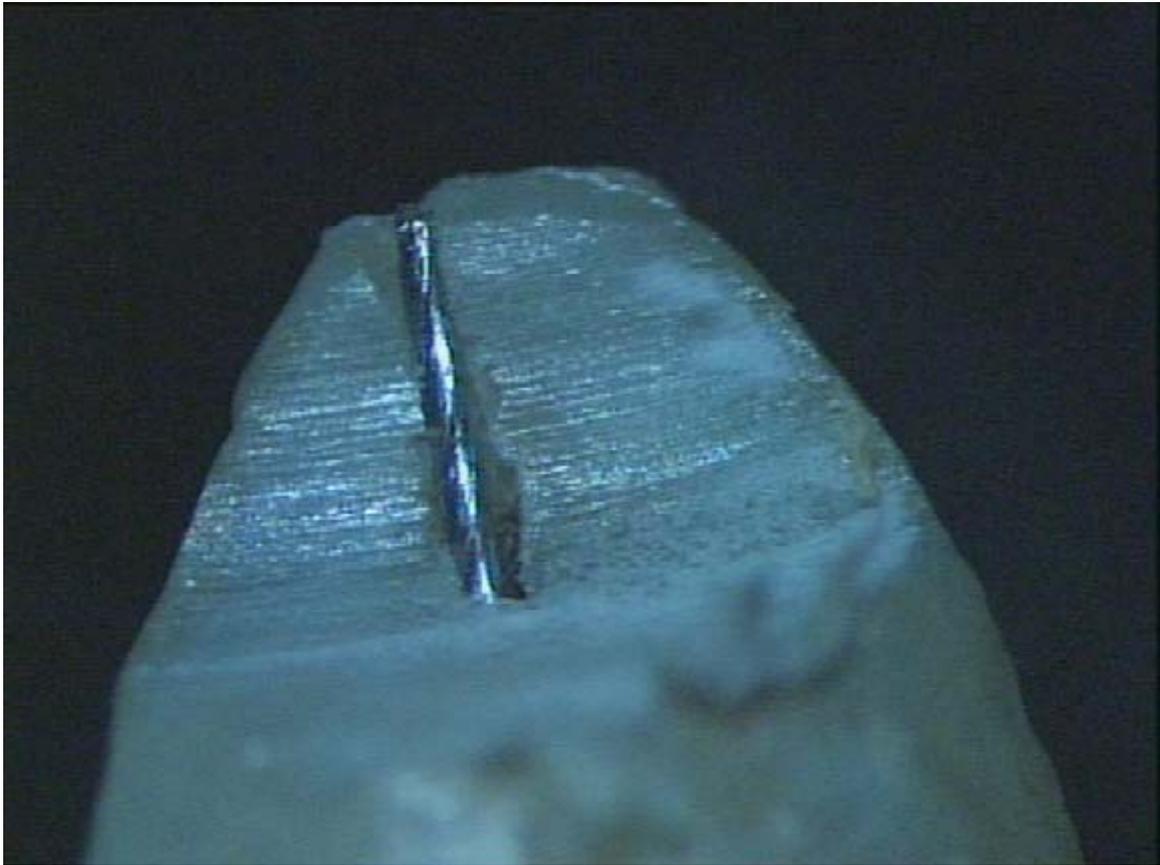


Abbildung 18: Der selbe Zahn 44 mit eingeführtem Wurzelkanalinstrument

Das Instrument entspricht einer K - Feile der ISO - Größe 15. Die Instrumentenspitze kommt wiederum an der apikalen Konstriktion zu liegen.

5. 5. Statistische Auswertung

5. 5. 1. Klasseneinteilung der Endometriegeräte

Die statistische Auswertung dieser Untersuchung erfolgte als Varianzanalyse über die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren.

Diese wurde mit dem LSD (Least Significant Difference) - Test erstellt.

Hierbei wurden zunächst die üblichen statistischen Parameter wie Mittelwert mit zugehöriger Standardabweichung, Median sowie Minima und Maxima bestimmt.

Das Ergebnis war hochsignifikant, siehe Diagramm 11 und 12 ($p(\text{AOV}) = 0,0001$ ***).

Weiterhin wurden die Kontraste zwischen den Endometriegeräten statistisch mit Hilfe des LSD - Testes gesichert. Dieser ergab auf dem 5% - Niveau folgende Klasseneinteilung: Die geringste Abweichung vom Nullpunkt hat das Gerät Justy II (Klasse B), die zweitgeringste Abweichung hat Root ZX (CD bzw. C), die sich von Justy signifikant unterscheidet. Die nächstgrößere Abweichung hat das Gerät Endy (D), das sich von Justy und Endox signifikant unterscheidet, aber nicht von Root ZX. Die größte Abweichung weist das Gerät Endox (A) auf, das sich von allen anderen signifikant unterscheidet.

Das Röntgenverfahren weist naturgemäß die geringste Abweichung von der Nulllinie auf. Es unterscheidet sich signifikant von Endox und Endy.

Zusammenfassend ergibt sich also folgende Reihenfolge hinsichtlich der Messgenauigkeit der Geräte:

1. Justy II
2. Root ZX
3. Endy
4. Endox

Die folgenden beiden Diagramme geben für alle vier Geräte sowie für das Röntgenverfahren jeweils den Mittelwert mit zugehöriger Standardabweichung, den Median sowie Maximum und Minimum an. Ebenfalls angegeben ist der 95 % - Vertrauensbereich für den Mittelwert.

Diagramm 11 berücksichtigt nur die Messungen, bei welchen der Apex tatsächlich erreicht wurde, Diagramm 12 umfasst alle Messwerte.

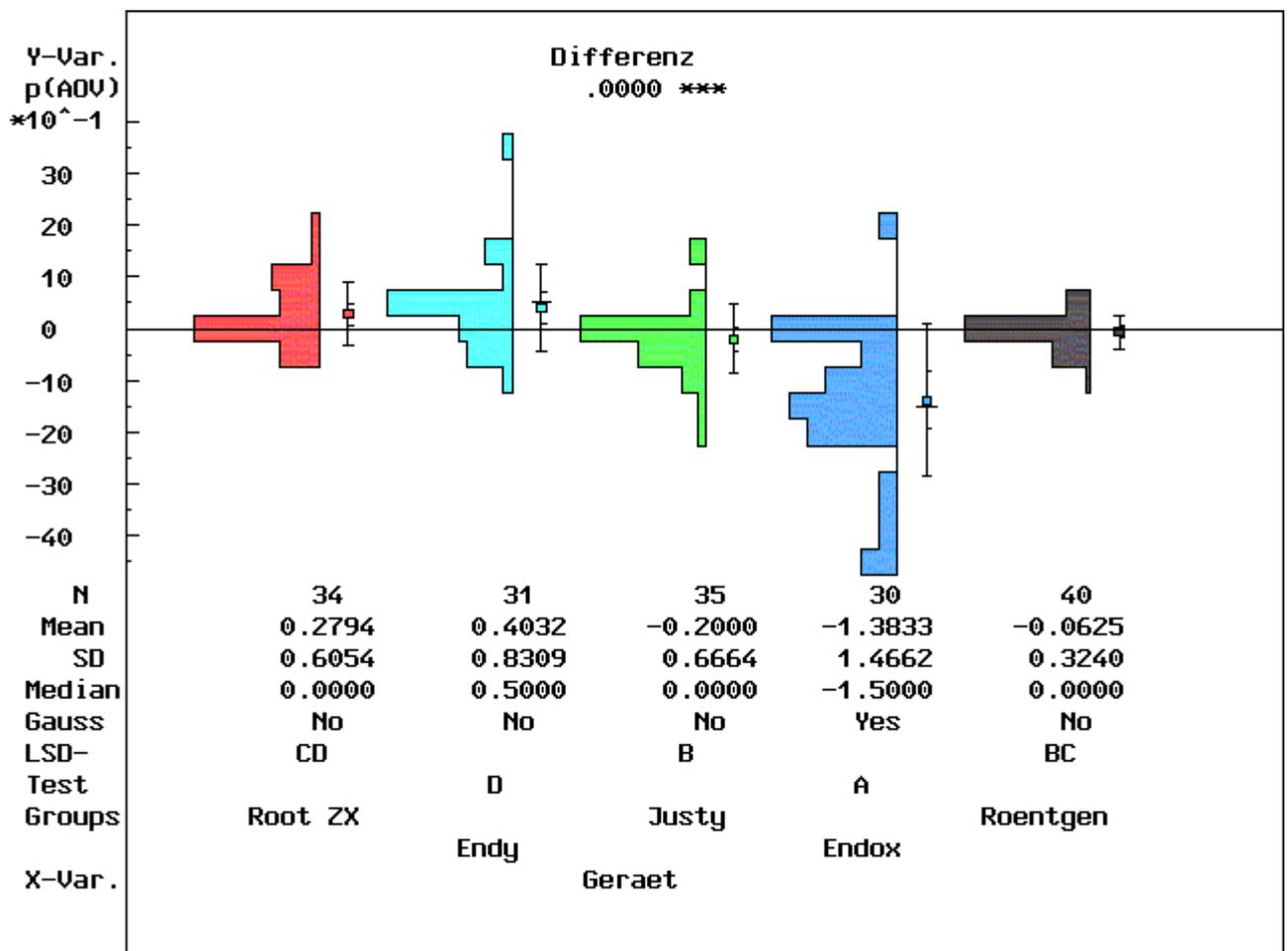


Diagramm 11: Varianzanalyse über die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren (Gruppe I)

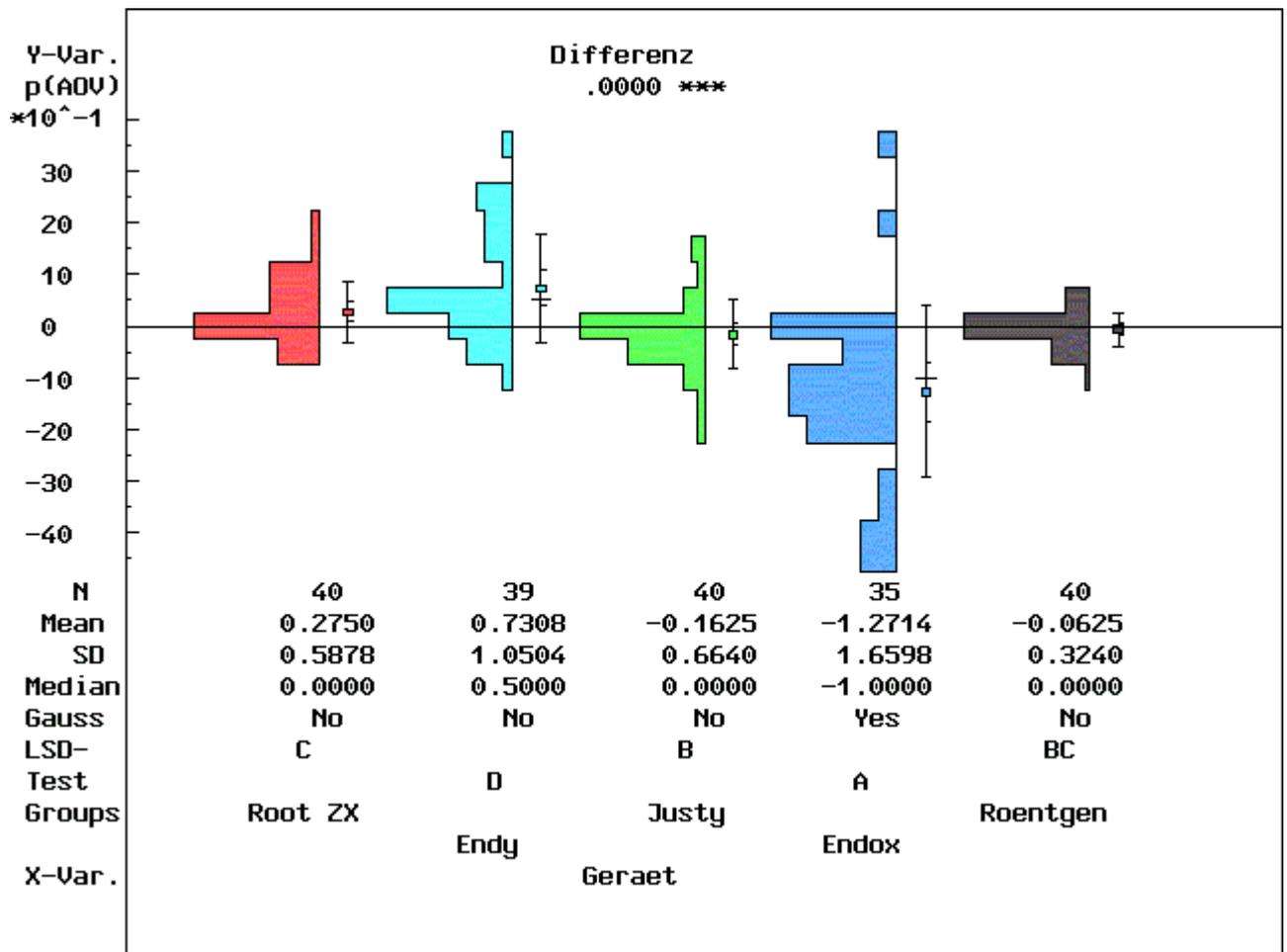


Diagramm 12: Varianzanalyse über die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren für alle Messwerte (Gruppe II)

Diagramm 13 zeigt den unterschiedlichen Messverlauf an drei Frontzähnen 12, 32 und 42.

Diese sind beispielhaft ausgewählt, die Messwerte der vier Geräte lagen hier nah beisammen oder waren sogar identisch.

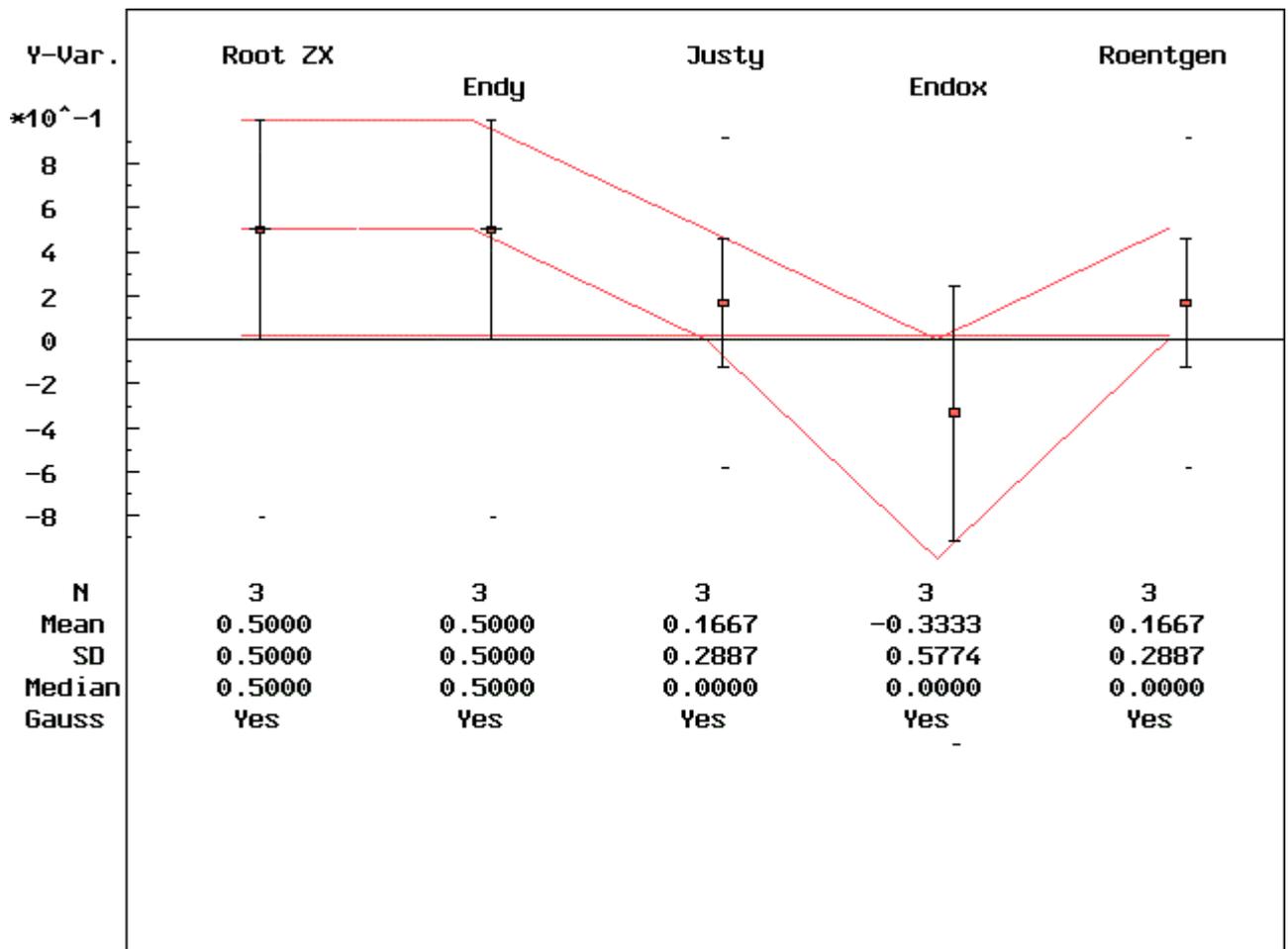


Diagramm 13: Messverlauf an drei Frontzähnen für die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren

Diagramm 14 zeigt beispielhaft die unterschiedlichen Messverläufe für drei Zähne 45. Hierbei weichen die Messwerte der vier Geräte deutlich voneinander ab.

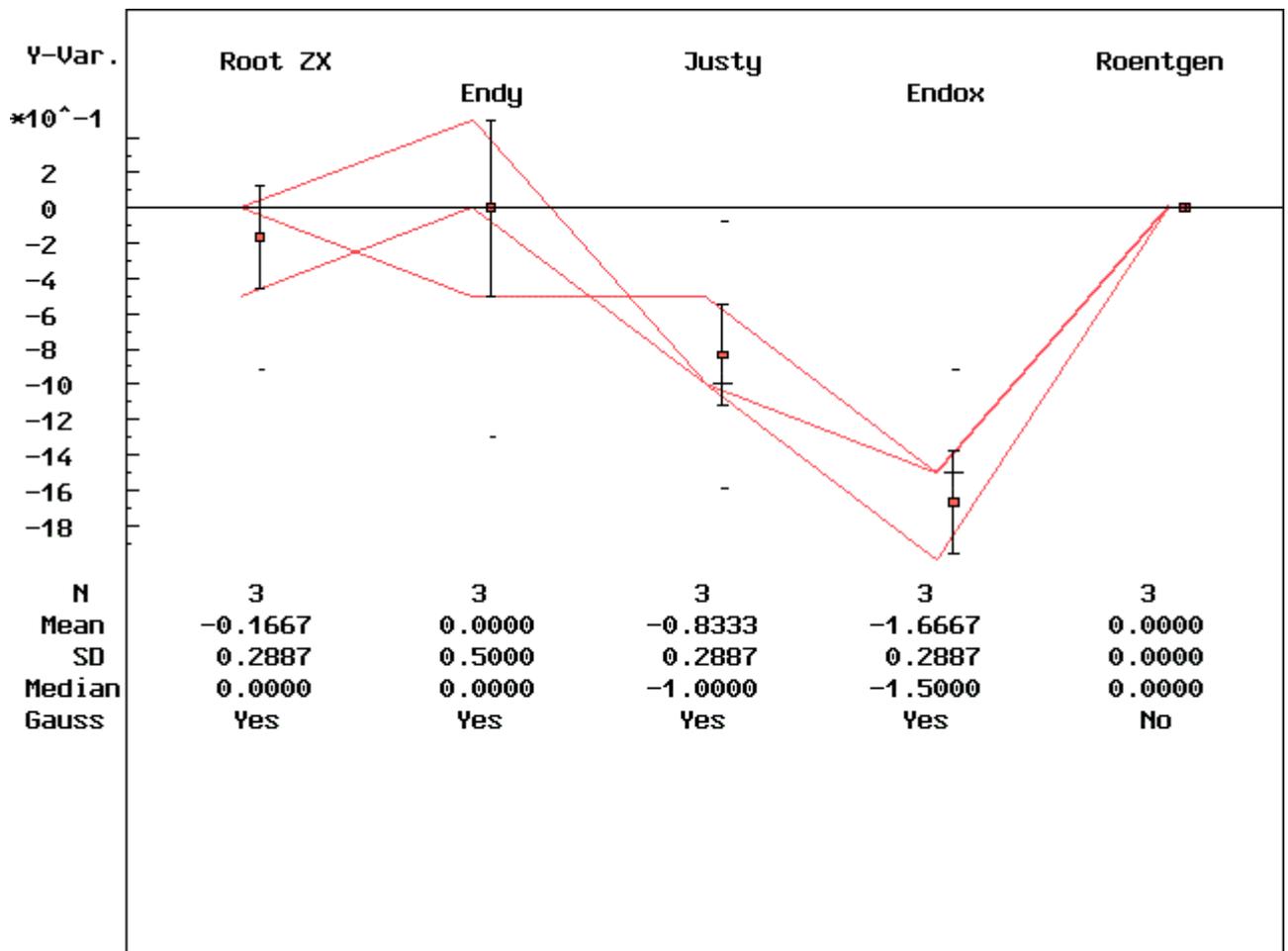


Diagramm 14: Messverlauf an drei Prämolaren für die vier Endometriegeräte und das Röntgenverfahren

5. 5. 2. Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis

5. 5. 2. 1. Einfluss der Vitalität bzw. Devitalität auf das Messergebnis

Für die folgende statistische Berechnung wurden die untersuchten Wurzelkanäle in die Versuchsgruppen „vital“ und „devital“ eingeteilt.

Es wurde für alle vier Geräte anhand des t-Tests für unabhängige Stichproben ermittelt, ob sich zwischen den untersuchten Gruppen auf dem 5 % - Niveau (Irrtumswahrscheinlichkeit) statistisch signifikante Unterschiede ergeben.

In der folgenden Tabelle sind die statistischen Kennwerte der vier Geräte aus den jeweiligen Messreihen gegenübergestellt.

	<i>Root ZX</i>	<i>Endy</i>	<i>Justy</i>	<i>Endox</i>
<i>Probenanzahl vital</i>	29	28	29	25
<i>Mittelwert vital</i>	0,362 mm	1,018 mm	-0,009615 mm	-1,417 mm
<i>Standardabweichung vital</i>	0,611 mm	1,126 mm	0,693 mm	1,736 mm
<i>Probenanzahl devital</i>	11	11	11	11
<i>Mittelwert devital</i>	-0,009091 mm	-0,004545 mm	-0,364 mm	-1,136 mm
<i>Standardabweichung devital</i>	-0,375 mm	0,416 mm	0,452 mm	1,206 mm
<i>Statistische Signifikanz</i>	p = 0,008	p = 0,009	p = 0,176	p = 0,585

Tabelle 15: Kennwerte der Gruppen "vital" und "devital"

Für die Geräte Root ZX und Endy ergab die statistische Überprüfung anhand des t - Tests für unabhängige Stichproben bezüglich der Gruppen "vital" und "devital" hochsignifikante Ergebnisse ($t(29,6) = -2,827$, $p = 0,008$ bzw. $t(37) = -2,772$, $p = 0,009$). Für Justy II und Endox wies der t - Test keine signifikanten Unterschiede aus ($t(28,5) = -1,389$, $p = 0,176$ bzw. $t(27,3) = 0,552$, $p = 0,585$).

5. 5. 2. 2. Einfluss der Einwurzligkeit bzw. Mehrwurzligkeit auf das Messergebnis

Weiterhin wurde eine Einteilung in die zwei Gruppen „einwurzlig“ und „mehrwurzlig“ vorgenommen. Es wurde ein analoge Berechnung zu 5. 5. 2. 1. durchgeführt

	<i>Root ZX</i>	<i>Endy</i>	<i>Justy</i>	<i>Endox</i>
<i>Probenanzahl einwurzlig</i>	27	27	28	27
<i>Mittelwert einwurzlig</i>	0,034 mm	0,704 mm	- 0,196 mm	- 0,938 mm
<i>Standardabweichung</i>	0,567 mm	1,120 mm	0,698 mm	1,447 mm
<i>Probenanzahl mehrwurzlig</i>	11	12	9	11
<i>Mittelwert mehrwurzlig</i>	0,00833 mm	0,833 mm	0,111 mm	- 2,182 mm
<i>Standardabweichung</i>	0,634 mm	0,985 mm	0,417 mm	1,570 mm
<i>Statistische Signifikanz</i>	0,312	0,720	0,660	0,039

Tabelle 16: Kennwerte der Gruppen "einwurzlig" und "mehrwurzlig"

Lediglich beim Gerät Endox ergab sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Messergebnisse der Gruppen "einwurzlig" und "mehrwurzlig" ($t(18,1) = 2,231$, $p = 0,039$).

Für die Geräte Root ZX, Endy und Justy wies der t - Test keine signifikanten Unterschiede aus ($t(18,9) = 1,039$, $p = 0,312$ bzw. $t(23,9) = -0,363$, $p = 0,720$ bzw. $t(23,3) = -0,445$, $p = 0,660$).

5. 5. 2. 3. Einfluss von Feuchtigkeit auf das Messergebnis

Zuletzt wurden zwei Gruppen für Kanalinhalt "feucht" und "trocken" gebildet. Es erfolgte wiederum eine analoge Berechnung zu 5. 5. 2. 1..

	<i>Root ZX</i>	<i>Endy</i>	<i>Justy</i>	<i>Endox</i>
<i>Probenanzahl trocken</i>	10	10	10	10
<i>Mittelwert trocken</i>	-0,15 mm	0,000 mm	-0,350 mm	-1,2 mm
<i>Standardabweichung</i>	0,337 mm	0,408 mm	0,474 mm	1,252 mm
<i>Probenanzahl feucht</i>	30	29	30	25
<i>Mittelwert feucht</i>	0,367 mm	1,0 mm	-0,0667 mm	-1,38 mm
<i>Standardabweichung</i>	0,601 mm	1,110 mm	0,716 mm	1,710 mm
<i>Statistische Signifikanz</i>	0,002	0,009	0,168	0,734

Tabelle 17: Kennwerte der Gruppen "feucht" und "trocken"

Während sich anhand des t - Tests für die Geräte Root ZX und Endy ein hochsignifikanter Unterschied bezüglich der Gruppen Kanal "feucht" und "trocken" ergibt ($t(28) = -3,376$, $p = 0,002$ bzw. $t(37) = -2,764$, $p = 0,009$), ist der Unterschied für Justy II und Endox nicht signifikant ($t(24) = -1,424$, $p = 0,168$ bzw. $t(23) = 0,334$, $p = 0,734$).

6. Diskussion

6. 1. Material und Methode

Die vorliegende Untersuchung wurde als In - vivo - Studie erhoben. Die Durchführung der Messreihen am Patienten ermöglicht die Schaffung authentischer Bedingungen zum entsprechenden Behandlungsablauf. Die so gewonnen Ergebnisse können weitestgehend auf den klinischen Alltag übertragen werden.

Es wurden vier handelsübliche Endometriegeräte untereinander sowie mit der Röntgenmesstechnik verglichen.

Die Wahl fiel hierbei auf drei Endometriegeräte, welche nach der "Verhältnismethode" arbeiten, ein erst 1991 entwickeltes Geräteprinzip (siehe 2. 3. 2. 4.):

Root ZX (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan)

Endy (Fa. Loser, Leverkusen, Deutschland)

Justy II (Fa. Hager-Werken, Duisburg, Deutschland)

Während das Root ZX bereits Gegenstand zahlreicher Studien war [9; 11; 14; 42; 45; 51; 61; 66], liegen über die Geräte Endy und Justy II derzeit keine klinischen Studien vor.

Weiterhin wurde das Gerät **Endox** (Fa. Lysis, Mailand, Italien) ausgewählt, ein Endodontiesystem zur Devitalisierung von Pulpengewebe mit integriertem endometrischem Messgerät, welches vom Messprinzip den Geräten der ersten Generation zuzurechnen ist.

Die Auswahl dieser vier Geräte sollte zum einen eine Abschätzung zulassen, inwieweit sich die Messergebnisse der Geräte neuester Bauart von denjenigen herkömmlicher Bauart unterscheiden. Zum anderen sollte ermittelt werden, ob hinsichtlich der Messergebnisse innerhalb der Gerätegruppe der neuen Bauart Unterschiede bestehen bzw. ob diese sich in ihren Messergebnissen signifikant unterscheiden.

Die Zusammensetzung des Patientengutes erfolgte zufällig, ausgeschlossen wurden lediglich Personen, die einem schweren allgemeinmedizinischen Risiko unterlagen, insbesondere Patienten mit Herzschrittmacher.

Hinsichtlich der Zähne und ihrer Ausgangssituation wurde keine Selektion vorgenommen, da ein praxisnahes Bild von der klinischen Einsetzbarkeit der Geräte ermittelt werden sollte.

Die Anzahl der untersuchten Zähne orientiert sich an der Gruppengröße anderer Untersuchungen [14; 35; 38; 45, 51; 54] bzw. liegt über derjenigen vergleichbarer Studien [17; 40; 55; 60, 61].

Durch die Analyse der Messergebnisse sollen eventuell beeinflussende Parameter wie Vitalität bzw. Devitalität, Ein- bzw. Mehrwurzigkeit sowie vorhandene bzw. fehlende Feuchtigkeit im Wurzelkanal in dieser klinischen Studie untersucht werden.

Die Geräte wurden gemäß den Herstellerangaben eingesetzt.

Die Hersteller der drei Geräte Root ZX, Endy und Justy geben an, dass die Messung nicht durch elektrolytische Lösungen im Kanal beeinflusst wird, beim Gerät Endox wird vor dem Messvorgang ein Trocknen des Kanals mit Papierspitzen unter Erhalt einer geringen Restfeuchtigkeit gefordert.

Eine standardisierte Vorbehandlung erfolgte nicht, da dies nicht dem klinischen Alltag entsprochen hätte. So wurde in einigen Studien vor der Messung der Kanalinhalt entfernt und z. T. anschließend getrocknet, in anderen wurden unterschiedliche Flüssigkeiten appliziert [14; 17; 32; 40; 51; 54; 55].

Die nach der Extraktion angefertigten Längsschnitte der Zähne und die somit mögliche Ermittlung der tatsächlichen Zahnlänge erlaubt den direkten Vergleich dieses tatsächlichen Wertes mit dem jeweils endometrisch ermittelten.

Die Analyse der Messergebnisse erfolgte unter direkter Sicht am extrahierten Zahn unter einem Stereo - Lichtmikroskop mit 10-facher Vergrößerung.

Das durch ein Längsschneiden des Zahnes mögliche Einsehen des Wurzelkanals erlaubt die Unterscheidung von apikaler Konstriktion und Foramen apicale. Da die apikale Konstriktion den gewünschten Endpunkt der Wurzelkanalaufbereitung und -füllung darstellt, bietet dieses Vorgehen bestmögliche Voraussetzungen zur Beurteilung der idealen Länge.

Ein anderweitig praktiziertes Verfahren [25; 50; 51; 60] ohne Schneiden des Zahnes über ein Vorschieben der Feile im Wurzelkanal die tatsächliche Wurzelkanallänge an dem Punkt

festzulegen, an welchem die Feilenspitze am Foramen apicale sichtbar wird, bietet diese Möglichkeit nicht.

Eventuelle Fehlerquellen können bei Studien auftreten, welche die Auswertung einer Röntgenmessaufnahme als Referenz heranziehen [17; 42; 55; 56; 66].

Der Informationsverlust durch die zweidimensionale Darstellung des dreidimensionalen Objektes sowie durch Überlagerung mit anatomischen Strukturen, die mögliche Distanz zwischen apikaler Konstriktion und röntgenologischem Apex, weiterhin Verzerrung oder projektionstechnische Verzeichnung des Objektes kann zu einer mehr oder weniger fehlerhaften Bestimmung der Arbeitslänge führen. Wird jedoch die so ermittelte Arbeitslänge als Referenzwert zur endometrischen Messung herangezogen, kann dies unter gegebenen Umständen zu einer fälschlichen Beurteilung der endometrischen Messung führen.

Durch Ermittlung der tatsächlichen Länge unter Sicht ist ein exakter Referenzwert gewährleistet.

In unserer Studie wurde nach Extraktion eine Röntgenmessaufnahme in Paralleltechnik nach standardisiertem Vorgehen angefertigt. Dies ermöglicht den Vergleich der Messwerte, die mittels der Röntgentechnik ermittelt wurden, mit den übrigen Werten DUNLAP et al., MCDONALD und HOVLAND, weiterhin PALLARES und FAUS arbeiteten in einer ähnlichen Untersuchung ebenfalls mit nach Extraktion angefertigten Röntgenmessaufnahmen und Längsschnitten der Zähne [14, 46; 54].

Es ergab sich eine hohe Übereinstimmung von röntgenologisch ermittelter Wurzelkanallänge und unter Sicht ermittelter, tatsächlicher Länge. So konnte mittels des Röntgenmessverfahrens eine Genauigkeit von 97,5% im Bereich +/- 0,5 mm erreicht werden.

Damit liegt dieser Wert um 17,5 % höher als jener für das Gerät Justy, welches unter den getesteten Geräten die höchste Genauigkeit lieferte.

Man muss jedoch bedenken, dass die Anfertigung dieser Röntgenaufnahmen extraoral erfolgte und somit eine Standardisierung sowie die Anwendung der Paralleltechnik möglich war.

Es ist also anzunehmen, dass im klinischen Alltag die Genauigkeit der Röntgenmessaufnahmen unter dem hier angegebenen Wert liegen dürfte.

NEGM gibt für das Röntgenmessverfahren klinisch eine Genauigkeit von 75 % an [47], FOUAD und KRELL sprechen von 53 % [17], OUNSI und HADDAD erzielen, ähnlich der

vorliegenden Studie, mit optimierter Röntgentechnik in vitro eine Genauigkeit von 97,06 % und geben ebenfalls an, dass diese Werte weit genauer sein dürften als die klinisch ermittelten [50].

GELFAND et al. belegen, dass sich bei von verschiedenen Behandlern angefertigten und ausgewerteten Röntgenmessaufnahmen hinsichtlich des ermittelten Wertes signifikante Unterschiede ergeben [20].

In einigen Untersuchungen wurde die Feile nach erfolgter Messung im Wurzelkanal festzementiert [14; 40; 51; 60]. Dies bietet den Vorteil der genauen Erfassung der tatsächlichen Feilenposition.

Ein solches Vorgehen ist jedoch bei einer Messreihe, mit welcher verschiedene Geräte in derselben Situation getestet werden sollen, nicht durchführbar.

Davon abgesehen entspricht das Abmessen der ermittelten Distanz zwischen Referenzpunkt und lokalisiertem Apex, Einstellen des Stoppers und Repositionieren der Feile genau dem klinischen Vorgehen bei der endodontischen Behandlung. Sich daraus ergebende mögliche Fehlerquellen müssen also beim klinischen Vorgehen ebenso in Kauf genommen werden.

6. 2. Diskussion der Versuchsergebnisse

6. 2. 1. Bestimmung des Grenzbereichs

In Kapitel 4 dieser Studie werden die Messergebnisse in Grafiken und Tabellen dargestellt. Diese veranschaulichen für alle vier Geräte die ermittelten Messwerte in Relation zur apikalen Konstriktion.

Es werden die Fallzahlen sowie die prozentuale Verteilung der Messwerte innerhalb bestimmter Toleranzbereiche gezeigt. Die Bestimmung der zulässigen Grenzwerte entscheidet über die Erfolgsquote der Geräte. In fast allen Studien zu diesem Thema wurde der Bereich, in welchem die Messungen akzeptiert wurden, auf $\pm 0,5$ oder $\pm 1,0$ mm Entfernung zum physiologischen, anatomischen bzw. röntgenologischen Apex gewählt.

Die Auswertung aller Messergebnisse ergab im Bereich $\pm 1,0$ mm Entfernung zum physiologischen Apex, dass für das Root ZX 95 % der Messungen darin lagen, für das Endy 71,8 %, für das Justy 90 % und für das Endox 48,6 %.

Wählt man den Bereich $\pm 0,5$ mm vom physiologischen Apex entfernt, so ergibt sich für das Root ZX ein prozentualer Anteil an allen Messungen von 77,5 %, das Endy zeigt 66,7 %, Justy 80 %, das Gerät Endox liegt bei 31,4 %.

Optimal wäre es, nur die Messungen als erfolgreich gelten zu lassen, die den physiologischen Apex direkt lokalisiert haben. Für das Root ZX war dies bei 45 % der Messungen der Fall, für Endy bei 17,9 %, für Justy bei 45 % und für Endox bei 20 %.

Die apikale Konstriktion variiert stark in Form und Lokalisation. Aufgrund von Entzündungsprozessen kann die Wurzelspitze bei Zähnen mit devitaler Ausgangslage bis einschließlich der Konstriktion resorbiert sein. Es wird daher immer schwierig bleiben, das physiologische Foramen exakt zu lokalisieren. Die klinische Erfolgsrate der Endodontie liegt jedoch trotzdem mit bis zu 95 % [63; 77] sehr hoch, obwohl wahrscheinlich nicht in allen erfolgreichen Fällen das physiologische Foramen exakt lokalisiert wurde. Demnach könnte angenommen werden, dass sich eine leichte Über- bzw. Unterinstrumentierung aufgrund eines ausreichenden Heilungspotentials des apikalen Mischgewebes klinisch nicht unbedingt auswirken muss.

Andererseits muss jedoch ein eventuell verursachter Schaden der Über- oder Unterinstrumentierung bedacht werden bzw. mit zunehmender Entfernung der festgelegten Arbeitslänge von der Lage der apikalen Konstriktion das zunehmende Risiko eines endodontischen Misserfolgs in Kauf genommen werden. Daher sollten die "idealen" Grenzen doch so eng wie möglich gesetzt werden.

Somit erscheint eine Bestimmung des Grenzbereiches bezüglich der Akzeptanz der Messergebnisse bis zu einer Entfernung von +/- 0.5 mm vom physiologischen Apex als sinnvoll.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind denjenigen vergleichbar, welche Untersuchungen von Endometriegeräten der letzten Jahre lieferten (siehe Tabelle 1, S. 31).

So geben beispielsweise FOUAD und KRELL die Genauigkeit von 5 untersuchten Endometriegeräten zwischen 55 - 75 % an [17], DUNLAP et al. beschreiben für das Root ZX eine Genauigkeit von 82.3 % [14], bei PAGAVINO et al. lag diese für selbiges Gerät bei 82.75 % [51]. SHABAHANG et al. setzen die Genauigkeit für das Root ZX mit 96,2 % etwas höher an [61].

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Parameter in Material und Methodik variieren und somit ein direkter Vergleich der Messergebnisse nicht uneingeschränkt möglich ist.

So können beispielsweise eine geringere Stichprobenzahl, die Beschränkung auf bestimmte Zahntypen, das Heranziehen der röntgenologisch bestimmten Arbeitslänge als Referenz, die Anwendung verschiedener Spüllösungen und vieles mehr zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

6. 2. 2. Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis

Verschiedene Faktoren können Einfluss nehmen auf die Genauigkeit des Messergebnisses.

Einer dieser Faktoren könnte die Vitalität bzw. Devitalität des untersuchten Zahnes sein. So könnten Kanäle mit nekrotischem Inhalt und zunehmender Zerstörung des parodontalen Ligamentes bzw. des den Apex umgebenden Knochens andere Impedanzwerte aufweisen als Kanäle mit vitalem Inhalt [44].

In der Bedienungsanleitung des Root ZX wird darauf hingewiesen, dass apikale Entzündungsprozesse die Messung beeinflussen können.

Bei devitalen Zähnen kann die charakteristische Verengung an der Dentin - Zement - Grenze durch entzündlich bedingte apikale Resorptionsvorgänge zerstört werden.

Hierin könnte ein Grund für Fehlmessungen liegen.

CHANAN unterstützt diese These. In einer von ihm durchgeführten Studie ergaben sich zu kurze Werte für Kanäle mit nekrotischem Inhalt und apikaler Radioluzenz. Er vermutet, dass dies auf das Eindringen von apikalem Exsudat und damit leitendem Elektrolyt zurückzuführen ist [5].

ARORA und GULABIVALA konnten 1996 mit zwei Endometriegeräten bei devitalen Zähnen nach apikal streuende Ergebnisse feststellen [1].

MAYEDA und SIMON konnten bei einer Untersuchung des Gerätes Endex 1993 keinen signifikanten Unterschied zwischen vitalen und nekrotischen Zähnen ermitteln [43].

DUNLAP et al. legten 1998 eine Studie vor, in welcher 29 Zähne mit 35 Kanälen mittels des Gerätes Root ZX untersucht wurden. Die durchschnittliche Entfernung von der apikalen Konstriktion betrug für Kanäle mit vitalem Inhalt 0,21 mm, für Kanäle mit nekrotischem Inhalt 0,49 mm. Eine statistische Signifikanz ergab sich nicht [14].

In der vorliegenden Studie ergaben sich für die Geräte Root ZX, Endy und Endox bei devitalem Kanalinhalt genauere Messergebnisse, beim Justy II war die Messungen bei vitalem Inhalt näher an der apikalen Konstriktion. Statistische Signifikanz ergab sich nur für die Geräte Root ZX und Endy.

Jedoch müssen die Aussagen, die aus der Berechnung resultieren, relativiert werden, da für vitale und devitale Zähne die Gruppengröße deutlich voneinander abwich.

Eine Aussage über die eventuelle Einflussnahme einer apikalen Radioluzenz kann in der vorliegenden Studie nicht getroffen werden, da nur in wenigen Fällen eine präoperative Röntgenaufnahme zur entsprechenden Diagnostik vorlag.

Bezüglich der Ein- bzw. Mehrwurzigkeit konnte lediglich für das Endox eine statistische Signifikanz im Hinblick auf die Messgenauigkeit festgestellt werden, wobei berücksichtigt werden sollte, dass dieses Gerät insgesamt deutlich schlechtere Messergebnisse lieferte als die übrigen drei.

Weiterhin könnte die Größe des Foramens Einfluss nehmen auf die Messgenauigkeit.

Diese wird beeinflusst vom Entwicklungsstadium und Alter des Zahnes, der Gegenwart periapikaler Läsionen mit einhergehender entzündlich bedingter Wurzelresorption oder durch iatrogene Erweiterung durch Überinstrumentierung bei der Aufbereitung.

KUTTLER fand 1955 heraus, dass mit steigendem Alter die Foramengröße abnimmt [39].

Eine verfrühte Anzeige bei überdurchschnittlicher Foramengröße belegt HUANG 1987 anhand eines In - vitro - Versuches an Zähnen und standardisierten Röhrchen [25].

Ungenaue Messungen ergaben sich, wenn der Durchmesser der Foramina 0,2 mm, jener der Glasröhrchen 0,4 mm überschritt.

FOUAD und KRELL legten 1989 mit einem ähnlichen Modell vergleichbare Ergebnisse vor [17].

WU besagt 1992, dass bei Einsatz eines Gerätes, das für durchschnittliche Foramengrößen konzipiert wurde, bei sehr kleinen Foramina das anatomische Foramen später angezeigt wird, also zu lang gemessen wird [81].

PAGAVINO et al. untersuchten 1998 an 29 Zähnen den Einfluss eines lateralen Foramens auf die Messgenauigkeit. Hierbei ergaben sich für Zähne mit lateralem Foramen (abweichend von der Hauptachse des Zahnes) signifikant schlechtere Messergebnisse [51].

Ein interessanter Aspekt ergibt sich bei der Gegenüberstellung der Messgenauigkeit bei trockenem bzw. feuchtem Kanalmilieu. Beim klinischen Vorgehen während der Untersuchung entstand der Eindruck, dass der Messvorgang an trockenen Kanälen störungsfreier und zügiger durchzuführen war. Bei feuchtem Wurzelkanal schien es häufiger zu Kurzschlüssen oder springender Längenanzeige zu kommen.

Für die Geräte Root ZX und Endy bestätigte sich dies mit einer hochsignifikant höheren Messgenauigkeit bei trockenen Kanälen.

Für die Geräte Justy II und Endox hingegen ergab sich keine statistische Signifikanz, Justy II lieferte sogar genauere Messergebnisse bei feuchtem Kanal.

Auch hierbei soll allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Gruppengröße der Zähne mit trockenem Kanal deutlich unter jener der Zähne mit feuchtem Kanalinhalt lag.

Der Einfluss von Elektrolyten oder Spülflüssigkeiten auf die endometrische Messung wurde ebenfalls mehrfach untersucht. Die neueren Studien bestätigen hierbei die Aussagen der

Gerätehersteller. So stellten WEIGER et al. 1999 für das Gerät Root ZX keine schlechteren Messergebnisse in Anwesenheit verschiedener Flüssigkeiten fest (1 % NaOCl, 3 % H₂O₂, 0,9 % NaCl) [78]. JENKINS et al. kommen 2001 ebenfalls für das Gerät Root ZX zu der Aussage, dass die getesteten Flüssigkeiten (2 % Lidocain mit Adrenalin 1:100000, 5,25 % NaOCl, RC Prep, EDTA, 3 % H₂O₂, Peridex) das Messergebnis nicht beeinflussen [32].

6. 2. 3. Vergleich der getesteten Geräte

Der Vergleich von zu kurzer bzw. zu langer Messungen ergab folgendes Ergebnis:

Das Root ZX maß in 40 % der Fälle zu lang, nur in 15 % zu kurz. Endy lag sogar in 66,7 % der Fälle zu lang. Ähnliche Ergebnisse für das Root ZX legen PAGAVINO et al. vor und machen daher den Vorschlag, die Feile um 0,5 mm zurückzuziehen [51]. In Anbetracht der vorliegenden Zahlen mag man sich Empfehlung anschließen, auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine geringfügig zu kurze Wurzelkanalaufbereitung und -füllung eine höhere Erfolgsquote verspricht als dies bei Überinstrumentierung und Überfüllung der Fall ist.

Im Gegensatz dazu lag das Gerät Justy II in 40 % der Fälle zu kurz.

Eine Überinstrumentierung ist bei diesem Endometriegerät wohl vergleichsweise seltener zu erwarten.

Das Endox lag in 74,3 % mit der Messung zu kurz, wobei das Hauptproblem bei der Messung Blut im Wurzelkanal darstellte.

Vergleicht man schließlich Gruppe I (nur Messergebnisse mit Apexanzeige 0) und Gruppe II (auch Messergebnisse mit Anzeige "x mm vor Apex" zugelassen), so lassen sich für die Geräte Root ZX und Justy kaum Unterschiede feststellen. Die Millimeteranzeige im Apexbereich scheint also relativ genau zu sein, die Messergebnisse wurden durch Einbeziehen der angegebenen Werte nicht negativ beeinflusst.

Auch für das Gerät Endox lassen sich zwischen Gruppe I und II kaum Unterschiede feststellen, jedoch bleibt festzuhalten, dass hier die Messergebnisse insgesamt sehr ungenau ausfielen. Weiterhin ergab sich bei diesem Gerät die höchste Anzahl an Ausfällen, d.h. in mehreren Fällen war gar keine Messung möglich, meist infolge feuchten Kanalmilieus.

Das Gerät Endy lieferte im Vergleich in der Gruppe II deutlich schlechtere Ergebnisse. Die Millimeteranzeige im Bereich vor der apikalen Konstriktion scheint hier weniger verlässlich skaliert zu sein als bei Root ZX und Justy.

Die Erfahrung im Umgang mit den Endometriegegeräten hat gezeigt, dass eine störungsfreie Messung mit mehrmals reproduzierbarem Messwert die genauesten Ergebnisse liefert. Ungünstige Anzeichen sind springende digitale Anzeige und nicht exakt reproduzierbarer Messwert.

6.3. Schlussfolgerung

Basierend auf den nach dieser Untersuchung vorliegenden Ergebnissen ergeben sich folgende Überlegungen :

Um eine Empfehlung zum klinischen Einsatz der Endometriegeräte geben zu können, müssen deren Erfolgsquoten mit denen herkömmlicher Methoden verglichen werden.

Ogleich die angegebenen Zahlen für die Genauigkeit des Röntgenmessverfahrens eine Vielzahl ungenauer Wurzelkanallängenmessungen impliziert, ist der häufige Erfolg des endodontischen Eingriffes unumstritten. Die Geräte der jüngsten Generation liefern vergleichbare bis genauere Messergebnisse. Das hier verwendete Gerät mit älterem Messmodus scheint für die Längenbestimmung nicht geeignet.

Entscheidend für die Beurteilung der Messergebnisse ist der in der Auswertung definierte Grenzbereich zum physiologischen Foramen. Dieser wurde möglichst eng gesetzt, um eine wirkliche Erfolgsquote zu bestimmen.

Das Endometrieverfahren bietet den Vorteil, idealerweise das physiologische Foramen zu ermitteln. Bei der Röntgenmessmethode hingegen muss die Arbeitslänge auf der Basis der Position des röntgenologischen Apex ermittelt werden. Da der Abstand zwischen röntgenologischem Apex und tatsächlichem Foramen variieren kann, kann eine Fehlmessung unerkant bleiben.

Mit der Röntgenaufnahme wird jedoch über die Längenmessung hinaus wertvolle Information bezüglich Wurzelkonfiguration, Krümmungsgrad und umgebender Knochenstrukturen geliefert.

Im Hinblick auf die rasante Entwicklung im Bereich der digitalen Radiografie mit reduzierter Strahlenbelastung und - wie beim direkt digitalen Röntgen - wegfallender Entwicklungszeit durch sofortige Bilddarstellung werden jedoch die Hauptaspekte Strahlenschutz und Zeitgewinn etwas in abgemildert.

Das Vorgehen in Kombination Röntgentechnik / Endometrie in der Abfolge

- 1. Anfertigen einer Diagnoseaufnahme**
- 2. Elektronische Wurzelkanallängenmessung**
- 3. Röntgenkontrolle nach Wurzelfüllung**

bietet überzeugende positive Aspekte. Durch die bildgebende Darstellung des zu behandelnden Zahnes können zunächst wichtige Informationen gewonnen werden, welche die Endometrie nicht liefern kann. Die Anwendung der elektronischen Längenbestimmung ist im Sinne des Strahlenschutzes sicherlich sinnvoll und kann sich weiterhin durch das Einbringen moderner Behandlungstechnik in den Behandlungsablauf positiv auf die Beurteilung von Seiten des Patienten auswirken.

Die abschließende Röntgenkontrolle ermöglicht die Beurteilung nach abgeschlossener Behandlung und ist nicht zuletzt aus forensischen Gründen erforderlich.

Treten während des Messvorganges Probleme auf und lässt sich kein reproduzierbarer Messwert ermitteln, empfiehlt es sich, auf die konventionelle Röntgenmesstechnik zurückzugreifen (vgl. auch [42]).

7. Zusammenfassung

Für jede systematische Wurzelkanalbehandlung ist es erforderlich, die Wurzelkanallänge exakt zu bestimmen. Hierzu kommt in der Regel das Prinzip der Röntgenmesstechnik als bewährtes Verfahren zur Anwendung. Seit nunmehr etlichen Jahren ist es jedoch möglich, mittels elektronischer Messgeräte die Wurzelkanallänge zu ermitteln.

Nach ständiger Weiterentwicklung und Verbesserung der zugrundeliegenden Technik werden mittlerweile Endometriegeräte der vierten Generation auf dem Markt angeboten. Mit Hilfe dieser soll es möglich sein, schnell, einfach und ohne Strahlenbelastung für den Patienten die exakte Wurzelkanallänge zu bestimmen. Bisher herrscht jedoch vielfach noch Unsicherheit, inwieweit die Endometrie als zuverlässiges Verfahren im klinischen Alltag eingesetzt werden kann. Bisher gilt noch immer die Empfehlung, auf die Messaufnahme nicht zu verzichten und die Endometriegeräte eher als Orientierungshilfe einzusetzen.

Um dies zu überprüfen wurden vier Endometriegeräte unter den im klinischen Alltag üblichen Behandlungsbedingungen getestet. Die Wahl fiel hierbei auf drei Endometriegeräte, welche nach der "Verhältnismethode" arbeiten, dem neuesten Messprinzip (1 - 3), sowie ein Endodontiesystem mit integriertem endometrischem Messgerät älterer Bauart (4).

- 1) **Root ZX** (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan)
- 2) **Endy** (Fa. Loser, Leverkusen, Deutschland)
- 3) **Justy II** (Fa. Hager-Werken, Duisburg, Deutschland)
- 4) **Endox** (Fa. Lysis, Mailand, Italien)

An vierzig Wurzelkanälen zur Extraktion anstehender Zähne wurden mit diesen vier Geräten endometrische Messungen durchgeführt. Im Anschluss an die Extraktion wurden extraoral Röntgenmessaufnahmen mittels der Paralleltechnik angefertigt. Zur Bestimmung der tatsächlichen Wurzelkanallänge wurden im Bereich des apikalen Drittels Längsschnitte angefertigt und diese unter einem Stereo - Lichtmikroskop untersucht. Neben der Messung wurde die Ausgangssituation anhand einiger Parameter (Zahntyp, Vitalität, Kanalmilieu) protokolliert. Dies erlaubte eine spätere Berechnung von Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern und den Messergebnissen.

In den Grenzen von $\pm 0,5$ mm zur apikalen Konstriktion weist das Root ZX eine Erfolgsquote von 77,5 % auf. 22,5 % der Messungen lagen apikal des definierten Bereiches, koronal davon lag keine der Messungen.

Beim Gerät Endy lagen 66,7 % innerhalb der $\pm 0,5$ mm, 30,8 % lagen apikal, 2,6 % koronal. Das Justy ermittelte in 80 % der Fälle die Länge innerhalb des definierten Bereiches, 7,5 % lagen apikal, 12,5 % koronal davon.

Endox konnte nur in 31,4 % die Länge innerhalb des Grenzbereiches bestimmen, 5,7 % der Messungen lagen apikal, 62,9 % jedoch koronal.

Eine Varianzanalyse über die vier Endometriegeräte auf dem 5 % - Niveau ergab folgende Klasseneinteilung bezüglich der Messgenauigkeit :

1. Justy
2. Root ZX
3. Endy
4. Endox

Hierbei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Justy und Root ZX, weiterhin zwischen Justy und Endy, nicht jedoch zwischen Root ZX und Endy. Das Gerät Endox unterscheidet sich signifikant von allen übrigen Geräten.

Die Mittelwerte lagen für Root ZX bei 0,275 mm zum physiologischen Foramen, für Endy bei 0,731 mm, für Justy bei -0,163 mm und für Endox bei -1,271 mm zum physiologischen Foramen.

Das Röntgenverfahren lieferte die besten Ergebnisse mit 97,5 % der Messungen im Grenzbereich von $\pm 0,5$ mm, der Mittelwert betrug -0,063 mm. Hierbei bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass die Röntgenmessaufnahmen extraoral unter standardisierten Bedingungen angefertigt wurden. Es ist nicht davon auszugehen, dass eine derartige Erfolgsquote klinisch erreicht werden kann.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Vitalität bzw. Devitalität auf das Messergebnis ergaben sich für die Geräte Root ZX und Endy hochsignifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, für Justy und Endox wurden keine signifikanten Unterschiede ausgewiesen.

In der Gegenüberstellung der Gruppen nach Zahntyp (einwurzlig bzw. mehrwurzlig) ergab sich nur für das Endox ein statistisch signifikanter Unterschied.

Feuchtes bzw. trockenes Kanalmilieu ergab für Root ZX und Endy hochsignifikante Unterschiede in den Messergebnissen, für Justy und Endox waren diese nicht signifikant.

Insgesamt gesehen liefert das Gerät Justy nicht nur die genauesten Ergebnisse, auch beeinflusste keiner der untersuchten Ausgangsparameter die Messergebnisse signifikant.

Betrachtet man die in der Literatur angegebenen Ergebnisse für die Genauigkeit der Röntgenmessaufnahme in der klinischen Anwendung und zieht den Vergleich zu den hier vorliegenden Messergebnissen der Geräte Justy und Root ZX, so liegt es nahe, dass in der Zukunft die Endometrie aufgrund ihrer Vorteile verstärkt Einzug halten wird in das endodontische Behandlungskonzept.

Das Anfertigen einer Diagnoseaufnahme vor Beginn der Behandlung sowie einer Kontrollaufnahme nach deren Abschluss scheint aus Gründen der Informationsgewinnung und nicht zuletzt der Forensik sinnvoll.

Bei nicht reproduzierbarem Messwert bei der Anwendung des endometrischen Verfahrens sollte auf die Röntgenmesstechnik zurückgegriffen werden.

8. Literaturverzeichnis

- [1] **Arora, R. H.; Gulabivala, K.:**
An in vivo evaluation of the Endex and RCM Mark II electronic apex locators in root canals with different contents
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 79, 497-503 (1995)
- [2] **Baumann, M. A.:**
Grundlagen der Zahnerhaltungskunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Köln
Hundt Druck GmbH, Köln, 1997
- [3] **Beatty, R. G.; Aurelio, J. A.:**
Electronic root canal length measuring devices
Fla Dent J 56, 21-23 (1985)
- [4] **Benz, C.; ElMahdy, K.; Haffner, C.:**
Endo 2000 - Neue Wege zum Erfolg
Unveröffentlichtes Manuskript, Fortbildungsveranstaltung
- [5] **Chanan, R.; Chanan-Qayoom, Y.:**
Bewertung der Messgenauigkeit des Dentometers in verschiedenen klinischen Situationen
Endodontie 4, 301-308 (1992)
- [6] **Chapman, C. E. :**
A microscopic study of the apical region of human anterior teeth
J Brit Endod Soc 3, 52-58 (1969)
- [7] **Cohen, H. P.:**
A clinical evaluation of the Neosono-D electronic apex locator
J Conn State Dent Ass 60, 39 (1986)
- [8] **Custer, L. W.:**
Exact methods of locating the apical foramen
J Nat Dent Assoc 5, 815 - 819 (1916)
- [9] **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 Endodont 20, 605-606 (1994)

- [10] **Czerw, R. J.; Fulkerson, M. S.; Donnelly, J. C.; Walman, J. O.:**
An in vitro evaluation of the accuracy of several electronic apex locators
J Endodont 21, 572-575 (1995)
- [11] **Duckmanton, P.:**
Clinical evaluation of Root ZX electronic apex locator
United Dental Hospital of Sydney (1994)
- [12] **Dummer, P. M. H.; Lewis, J. M.:**
An evaluation of the endometric probe in root canal length estimation
Int Endodont J 20, 25-29 (1987)
- [13] **Dummer, P. M. H.; McGinn, J. H.; Rees, D. G.:**
The position and topography of the apical constriction and apical foramen
Int Endodont J 17, 192-198 (1984)
- [14] **Dunlap, C. A.; Remeikis, N. A.; BeGole, E. A.; Rauschenberger, C. R.:**
An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital
and necrotic canals
J Endodont 24, 48-50 (1998)
- [15] **Ehrenfeld, H.:**
Beitrag zur Frage der elektrischen Zahnuntersuchung
Z Stomatol 25, 77 (1927)
- [16] **Fechter, B.:**
Ergebnis von mehreren Tausend in der freien Praxis nach wissenschaftlich
anerkannten Methoden durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen
(1. Bericht über den sogenannten Großversuch des BDZ)
Dtsch Zahnärztl Z 10, 1677-1685 (1955)
- [17] **Fouad, A. F.; Krell, K. V.:**
An in vitro comparison of five root canal length measuring instruments
J Endodont 15, 573-577 (1989)
- [18] **Fouad, A. F.; Krell, K. V.; McKendry, J.; Koorbush, G. F.; Olson, R. A.:**
A clinical evaluation of five electronic root canal length measuring instruments
J Endodont 16, 446-449 (1990)
- [19] **Fouad, A. F.; Rivera, E. M., Krell, K. V.:**
Accuracy of the Endex with variations in canal irrigants and foramen size
J Endodont 19, 63-67 (1993)

- [20] **Gelfand, M.; Sunderman, E. J.; Goldman, M.:**
Reliability of radiographic interpretations
J Endodont 9, 71-75 (1989)
- [21] **Guldener, P.; Langeland, K.:**
Endodontologie
Thieme, 3. Auflage, Stuttgart (1993)
- [22] **Hasegawa, K.; Iizuka, H.; Takei, M.; Goto, N.; Nihei, M.; Ohashi, M.:**
A new method and apparatus for measuring root canal length
J Nihon Univ Sch Dent 28, 117 (1986)
- [23] **Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.:**
Einführung in die Zahnerhaltung
Urban & Schwarzenberg (1995)
- [24] **Hör, D.; Attin, T.:**
Die elektrische Längenbestimmung des Wurzelkanals
Endodontie 1, 39-56 (2001)
- [25] **Huang, L.:**
An experimental study of the principle of electronic root canal measurement
J Endod 13, 60-64 (1987)
- [26] **Hülsmann, M.:**
Die endometrische Kanallängenbestimmung in der Endodontie
Indikation, Anwendung, Grenzen
Quintessenz, 16, 1809 (1989)
- [27] **Hülsmann, M.:**
Die Bestimmung der Arbeitslänge in der Endodontie
Die endometrische Bestimmung der Kanallänge
ZÄ Welt 100, 86 (1991)
- [28] **Hülsmann, M., Bertzbach, F. :**
Klinische Überprüfung der Meßgenauigkeit eines elektronischen Apexlokalisators
Dtsch Zahnärztliche Z 44 (1989)
- [29] **Ingle, J. I.:**
Endodontic instruments and instrumentation
Dent Clin North Am 1, 805-807 (1957)

- [30] **Inoue, N.:**
Dental "stethoscope" measures root canal
Dent Surv 48, 38-39 (1972)
- [31] **Inoue, N.; Skinner, D.:**
A simple and accurate way of measuring root canal length
J Endodont 11, 421-427 (1985)
- [32] **Jenkins, J. A.; Walker, W. A.; Schindler, W. G.; Flores, C. M.:**
An in vitro evaluation of the accuracy of the Root ZX in the presence of various irrigants
J Endodont 27, 209-211 (2001)
- [33] **Kersten, H. W.; Wesselink, P. R.; Thoden van Velzen, S. K.:**
The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling
Int Endod J 20, 20 (1987)
- [34] **Kockapan, C.:**
Endodontie
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen
2. Auflage (1998)
- [35] **Kollmann, W.:**
Vergleich der Genauigkeit verschiedener Wurzelkanallängenmeßmethoden
Dtsch Zahnärztl Z 40, 973-976 (1985)
- [36] **Kobayashi, C.:**
Electronic canal length measurement
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 79, 226 - 230 (1995)
- [37] **Kobayashi, C.; Suda, H.:**
New electronic canal measuring device based on the ratio method
J Endodont 20, 111-114 (1994)
- [38] **Kremers, L.; Lampert, F.:**
Der Forameter, ein Hilfsmittel zur exakten Längenbestimmung des Wurzelkanals?
Dtsch Zahnärztl Z 30, 321-325 (1975)
- [39] **Kuttler, Y.:**
Microscopic investigation of Root apexes.
J Am Dent Assoc 50, 544-552 (1955)

- [40] **Lauper, R.; Lutz, F.; Barbakow, F.:**
A in vivo comparison of gradient and absolute impedance electronic apex locators
J Endodont 22, 260-263 (1996)
- [41] **Lemagnen, G., Vachey, E., Rouge, J., Roques, J. C., Duhamel, J., Duguet, J.:**
New endodontic resistance measures
Tafeldemonstration, CED - Tagung Regensburg 1987
- [42] **Luck, S.:**
Die Anwendung der Endometrie
Dtsch Zahnärztl Z 54, 314-316 (1999)
- [43] **Mayeda, D.; Simon, J.:**
In vivo measurement accuracy in vital and necrotic canals with the Endex apex locator
J Endodont 19, 545-548 (1993)
- [44] **Mayer, A.:**
Die Technik der Exstirpation und der Kanalaufbereitung
Dtsch Zahnärztl Z 4, 1424-1428 (1949)
- [45] **McDonald, N. J.:**
The electronic determination of working length
Dent Clin North Am 36, 293-307 (1992)
- [46] **McDonald, N. J.; Hovland, E. J.:**
An evaluation of the apex locator Endocater
J Endodont 16, 5-8 (1990)
- [47] **Negm, M. M.:**
Clinical evaluation of a new method for determining tooth length without radiographs.
Oral Surg 56, 414 (1983)
- [48] **Nolden, R.:**
Zahnerhaltungskunde
Thieme; 6. Auflage; Stuttgart (1994)
- [49] **Nomura, H.; Sakada, S.; Itow, H.:**
Some observations on electric conductivity of the tooth
Bull Tokyo Dent Coll 12, 15 (1971)

- [50] **Ounsi, H. F.; Haddad, G.:**
In vitro evaluation of the reliability of the Endex electronic apex locator
J Endodont 24, 120-122 (1998)
- [51] **Pagavino, G.; Pace, R.; Baccetti, T.:**
A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator
J Endodont 24, 438-441 (1998)
- [52] **Pahncke, D.; Scheffler, T.; Sobkowiak, E. M.; Unger, H.; Vrana, J.:**
Beitrag zur elektrischen Längenmessung von Wurzelkanälen
Teil 2 : Neue elektrische Methode zur Feststellung des Foramen apicale
Zahn Mund Kieferheilk. 74, 240-244 (1986)
- [53] **Pahncke, D.; Voß, A.:**
Die Abhängigkeit endometrischer Messungen von den Bedingungen im Wurzelkanal
Dtsch Zahnärztl Z 46, 635-636 (1991)
- [54] **Pallares, A.; Faus, V.:**
An in vivo comparative study of two apex locators
J Endodont 20, 576-579 (1994)
- [55] **Pilot, T. F.; Pitts, D. L.:**
Determination of impedance changes at varying frequencies in relation to root canal
file position and irrigant
J Endodont 23, 719-724 (1997)
- [56] **Pommer, O.; Stamm, O.; Attin, T.:**
Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of
root canals
J Endodont 28, 83-85 (2002)
- [57] **Pratten, D. H.; McDonald, N. J.:**
Comparison of radiographic and electronic working lengths
J Endodont 22, 173 - 76 (1996)
- [58] **Schelter, W.:**
Elektrische Eigenschaften biologischer Gewebe im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 kHz
Nat. Diss. Erlangen-Nürnberg (1985)
- [59] **Schneider, H.:**
Konservierende Zahnheilkunde
Apollonia Verlag, Linnich, (1993)

- [60] **Seidberg, B. H.; Alibrandi, B. V.:**
Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital tactile sense
J Am Dent Assoc 90, 379-387 (1975)
- [61] **Shabahang, S.; Goon, W. W. Y.; Gluskin, A. H.:**
An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator
J Endodont 22, 616-618 (1996)
- [62] **Shinoda, K.; Watanabe, K.; Nakashima, M.; Sekine, I.; Mukaiyama, K.:**
Experimental and clinical evaluation of the Root ZX, an electric Root canal measuring device
Japan J Cons Dentistry 34, 61-63 (1992)
- [63] **Sjögren, U.; Hägglund, B.; Sundqvist, G.:**
Factors affecting the long-term results of endodontic treatment
J Endodont 16, 498-504 (1990)
- [64] **Sobarzo, V.; Quistorp-Prömper, M.; Rastl, B.:**
Elektrische Endometrie statt Röntgen - Meßaufnahme?
Vergleichende Untersuchung der Geräte Exact-a-pex und Digident Quintessenz (1987)
- [65] **Sonnabend, E.; Benz, C.:**
Röntgentechnik in der Zahnheilkunde
Urban & Schwarzenberg, 2. Auflage (1991)
- [66] **Strickling, W.; Ott, K.:**
Klinische Untersuchung des Wurzelkanallängenmeßgerätes Root ZX.
Dtsch Zahnärztebl 3, 155-160 (1995)
- [67] **Sunada, I.:**
New method for measuring the length of the root canal
J Dent Res 41, 375-387 (1962)
- [68] **Suzuki, K.:**
Experimental study on iontophoresis
J Japan Stomatol 1942; 16, 411-414
- [69] **Trope, M.; Rabie, G.; Tronstad, L.:**
Accuracy of an electronic apex locator under controlled clinical conditions
Endodont Dent Traumatol 1, 142-145 (1985)

- [70] **Ushiyama, J.:**
New principle and method for measuring the root canal length
J Endodont 9, 97-104 (1983)
- [71] **Visser, H.; Kramer, I.; Hülsmann, M.; Krüger, W.:**
Physikalische Charakterisierung von Endometriegeräten
Zahnärztl. Welt 100, 458-462 (1991)
- [72] **Voß, A.:**
Die Längenbestimmung des Wurzelkanals unter besonderer Berücksichtigung der elektrischen Verfahren
Habilitationsschrift (1988)
- [73] **Voß, A.:**
Die Endometrie - eine fragwürdige Methode der Längenbestimmung des Wurzelkanals
Dtsch Zahnärztl Z 44, 606 (1989)
- [74] **Voß, A.:**
Neue elektrische Meßverfahren zur Längenbestimmung des Wurzelkanals
Dtsch Zahnärztl. Z 45, 219-222 (1990) 4
- [75] **Voß, A.; Pahncke, D.; Würf, M.:**
Endometrie mit Praxis-Computer - Grundlagen und klinische Anwendung des Systems "apex visibilis"
Dtsch Zahnärztl Z 47, 191-194 (1992) 3
- [76] **Voß, A.; Siebenkees J.:**
Experimentelle und klinische Bewertung der Endometriegeräte Apit und Root ZX
Dtsch Zahnärztl Z 49, 281-284 (1994) 3
- [77] **Weber, W.:**
Vergleichende Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit dreier Methoden zur Behandlung von Wurzelkanälen in vivo
Zahnmed Diss Berlin (1990)
- [78] **Weiger, R.; John, C.; Geigle, H.; Lost, C.:**
An in vitro comparison of two modern apex locators
J Endodont 25, 765-786 (1999)
- [79] **Weine, F.:**
Endodontic Therapy
Mosby; St. Louis (1982)

-
- [80] **Wörner, H.:**
Röntgen beim Zahnarzt
Deutscher Ärzte Verlag, Köln, 2. Aufl. (1990)
- [81] **Wu, Y.; Shi, J.; Huang, L.:**
Variables affecting electronic Root canal measurement.
Int Endodont J 25, 88-92 (1992)
- [82] **Yamashita, K. :**
Variable factors in the impedance method of determining the working length of a root canal.
Japan J Conserv Dent 24, 83 (1981)

9. Anhang

9. 1. Materialliste

Root ZX (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan)

Endy (Fa. Loser, Leverkusen, Deutschland)

Justy II (Fa. Hager-Werken, Duisburg, Deutschland)

Endox (Fa. Lysis, Mailand, Italien)

Endobox (Kerr, Romulus MI, USA)

Metallstopper (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Schweiz)

Diamantscheibe (Komet, Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)

Stereo – Lichtmikroskop (Carl Zeiss, Göttingen, Deutschland)

9.3. Patienteninformation

Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

LMU München

Direktor : Professor Dr. R. Hickel

Information zur Teilnahme an einer Studie zur Längenmessung von Wurzelkanälen

Worum geht es ?

Wenn ein Zahn, z.B. durch Karies, so zerstört ist, daß der Nerv in Mitleidenschaft gezogen wurde, muß eine sogenannte Wurzelkanalbehandlung durchgeführt werden. Der Zahn wird eröffnet und der Nerv aus der Zahnwurzel zunächst entfernt. Um den Zahn erhalten können, muß der Hohlraum nach Säuberung und Aufbereitung gefüllt werden (Wurzelfüllung).

Dazu muß die Länge des Wurzelkanals bestimmt werden.

Die aktuelle Methode, die Länge der Wurzel zu bestimmen, ist die Anfertigung eines Röntgenbildes. Trotz Weiterentwicklung von neuen Röntgengeräten ist der Patient einer gewissen, wenn auch geringen, Strahlenbelastung ausgesetzt.

In den letzten Jahren sind daher Geräte entwickelt worden, mit deren Hilfe die Länge elektronisch ermittelt werden kann, ohne den Patienten zu belasten.

Mit einem solchen Gerät soll in der Studie getestet werden, ob in Zukunft auf ein Röntgenbild zur Bestimmung der Wurzelkanallänge verzichtet werden kann.

Warum wenden wir uns an Sie ?

Im Rahmen der Behandlung (ggf. in Vollnarkose) muß/müssen bei Ihnen der Zahn / die Zähne _____ gezogen werden, weil eine Erhaltung nicht mehr möglich ist. Für die oben beschriebene Meßuntersuchung werden Zähne benötigt, die nach der Messung gezogen werden, damit die Wurzelspitze im Mikroskop untersucht und die Messung ausgewertet werden kann.

Neben den Maßnahmen, die ohnehin für die Zahnextraktion notwendig werden, wird der Zahn vorab kurz eröffnet und die elektronische Messung der Wurzellänge durchgeführt.

Wie lange wird das dauern ?

Der zeitliche Mehraufwand beträgt insgesamt ca. **10 min.**

Besteht ein zusätzliches Risiko ?

Nein, außer den Risiken, die bei der Zahnentfernung bestehen und über die Sie im Vorfeld der Behandlung durch Ihren behandelnden Zahnarzt aufgeklärt wurden, sind keine zusätzlichen Probleme oder Risiken zu erwarten. (Auch die Narkose wird durch die Messung nicht beeinflusst.)

Wenn Sie Fragen haben, wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung.

Wir bedanken uns für Ihre Mitarbeit.

Ich erkläre mich einverstanden, daß der /die zu ziehende/n Zahn/Zähne _____ im Rahmen der oben beschriebenen Studie für eine elektronische Längenmessung herangezogen Wird/werden. Über Inhalt und Vorgehen wurde ich aufgeklärt. Ich habe keine weiteren Fragen

Name: _____

geb.: _____

München, den _____

Unterschrift : _____

9. 4. Danksagung

Herrn Prof. Dr. L. Kremers möchte ich für die Überlassung des Themas und der verwendeten Geräte sowie die Unterstützung bei der Durchführung der Studie danken.

Herrn Dr. C. Haffner gilt mein besonderer Dank für die Betreuung und Hilfe bei allen auftretenden Problemen.

Herrn Dr. G. Hamm danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Herrn Prof. Dr. Dr. M. Ehrenfeld und seinen Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der LMU München danke ich für die Zustimmung, einen Teil der klinischen Studie in dieser Poliklinik durchführen zu dürfen.

Für die materielle und geistige Unterstützung während meines gesamten Studiums danke ich ganz besonders meinen lieben Eltern.

9. 5. Lebenslauf

Kerstin Martina Galler

Persönliche Angaben:

Name: Kerstin Martina Galler

Anschrift: Dultplatz 1a
93059 Regensburg

Geburtstag: 25.03.1975

Geburtsort: Mainz

Eltern: Dr. Diethard Galler, Zahnarzt, geb. am 08.07.1948
Edeltraud Galler, geb. Lorenz, Hausfrau, geb. am 30.04.1948

Geschwister: Anke Katrin Galler, geb. am 18.05.1977
Lennart Christian Galler, geb. am 02.09.1979
Lorenz Matthias Galler, geb. am 21.01.1993

Schulbildung:

Sept. 1981 bis Juli 1985: Besuch der Grundschule Passau - Hacklberg
Sept. 1985 bis Juli 1994: Besuch des Auersperg - Gymnasiums Passau, musisches Gymn.

Abschluss am 01.07.1994: Allgemeine Hochschulreife

Studium:

WS 1994/95 bis SS 2000: Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität München

Zahnärztliche Vorprüfung am 14.04.97

Zahnärztliche Prüfung am 21.07.00

Berufliche Tätigkeit:

Okt. 2000 – Dez. 2000: Tätigkeit für das „Zahnärztliche Hilfsprojekt Brasilien e.V.“
01.01.2001 – 30.06.2001: Ausbildungsassistentin in kassenzahnärztlicher Praxis, Friedberg (Hessen)
01.07.2001 – 30.06.2002: Ausbildungsassistentin in kassenzahnärztlicher Praxis, Hauzenberg
seit 01.09.2002: Assistentin in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Regensburg