

Aus der Zahnklinik 1 - Zahnerhaltung und Parodontologie der  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor: Prof. Dr. A. Petschelt

---

# **Drei elektronische Wurzelkanallängenmessgeräte im klinischen Vergleich**

Eine In-vivo Untersuchung

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

vorgelegt von  
Christian Muhr  
aus  
München



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

**Dekan:** Prof. Dr. Dr. J. Schüttler  
**Referent:** Prof. A. Voss  
**Korreferent:** Prof. A. Petschelt  
**Tag der mündlichen Prüfung:** 29.9.2010

# **Drei elektronische Wurzelkanallängenmessgeräte im klinischen Vergleich**

Christian Muhr

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Einleitung</b> .....	<b>5</b>
2.1. Der Begriff Endodontologie .....	5
2.2. Die Bedeutung der apikalen Konstriktion .....	6
<b>3. Die Arbeitslänge</b> .....	<b>10</b>
3.1. Verschiedene Methoden zur Arbeitslängenbestimmung .....	10
3.1.1. Die digital – taktile Längenbestimmung.....	10
3.1.2. Die röntgenologische Methode.....	11
3.1.3. Die endometrische Methode .....	13
3.1.3.1. Historie und Grundlagen der Endometrie.....	13
3.1.3.2. Physikalische Grundlagen.....	17
3.2. Endometrie versus Röntgentechnik.....	20
<b>4. Ziel der Untersuchung</b> .....	<b>24</b>
<b>5. Material und Methode</b> .....	<b>26</b>
5.1. Beschreibung der elektronischen Messgeräte .....	26
5.1.1. Gerätebeschreibung Root ZX (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan) .	26
5.1.2. Gerätebeschreibung Propex (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz) .....	28
5.1.3. Gerätebeschreibung Raypex 4 (VDW GmbH, München).....	30
5.2. Untersuchungsgut .....	31
5.3. Praktische Vorgehensweise bei der endometrischen Messung .....	32
5.4. Vorgehensweise bei der Konstriktionsbestimmung mittels Querschnittsberechnung .....	33
5.5. Versuchsaufbau (schematisch) .....	37
<b>6. Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
6.1. Verteilung der absoluten und relativen Häufigkeiten .....	38
6.1.1. Relative und absolute Häufigkeiten aller Messungen.....	39
6.1.2. Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an vitalen Zähnen (Gruppe I) .....	41

6.1.3.	Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an devitalen Zähnen (Gruppe II) .....	43
6.1.4.	Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an einwurzligen Zähnen (Gruppe III) .....	45
6.1.5.	Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an mehrwurzligen Zähnen (Gruppe IV).....	47
6.2.	Graphische Darstellung der relativen Häufigkeiten .....	48
6.3.	Darstellung der mittleren Abweichung anhand von Boxplots .....	58
6.4.	Statistische Auswertung .....	62
6.4.1.	Unterschiede zwischen den Endometriegeräten (statistische Signifikanz).....	62
6.4.2.	Unterschiede zwischen den Gruppen ( statistische Signifikanz) .....	63
6.4.3.	Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichung (Varianzanalyse) 64	
6.4.4.	Verteilung der Messwerte im Grenzbereich $\pm 0,5$ mm .....	66
<b>7.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>71</b>
7.1.	Diskussion des Studienablaufs .....	71
7.1.1.	Material und Methode .....	71
7.1.2.	Wahl des Referenzpunktes .....	72
7.1.3.	Wahl der Toleranzgrenzen.....	73
7.2.	Diskussion der Ergebnisse.....	74
7.2.1.	Vergleich der getesteten Geräte .....	74
7.2.2.	Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis .....	75
7.3.	Konklusion.....	77
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>87</b>

# 1. Zusammenfassung

## Ziel der Untersuchung

Das Ziel dieser Studie war es, die Genauigkeit der elektronischen Arbeitslängenbestimmung bei Verwendung dreier verschiedener Wurzelkanallängenmessgeräte unter In-Vivo-Bedingungen zu untersuchen. Weiterhin sollte der Einfluss der Vitalität bzw. Avitalität und der Einwurzligkeit bzw. Mehrwurzligkeit auf das Messergebnis geprüft werden.

## Material und Methode

An 25 zur Extraktion vorgesehenen Zähnen wurde bei 29 Wurzelkanälen die Arbeitslänge endometrisch bestimmt. Zum Einsatz kamen die Endometriegeräte Root ZX (J. Morita, Tokyo, Japan), Propex (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) und Raypex 4 (VDW, München, Deutschland). Gemessen wurden die Längen für die Skaleneinheiten „0“, „0.5“ und „1“ des jeweiligen Gerätes. Da in der Studie auch verschiedene Einflussfaktoren zu untersuchen waren, wurden die Zähne in vier Gruppen eingeteilt (Gruppe I= vitale Zähne n= 17; Gruppe II= avitale Zähne n= 12; Gruppe III= einwurzlige Zähne n= 20; Gruppe IV= mehrwurzlige Zähne n= 9).

Um den tatsächlichen Wert für die Arbeitslänge zu erhalten, wurde die Lage der apikalen Konstriktion nach mikroskopischer Vergrößerung durch Berechnung der Fläche von Querschnittsprofilen bestimmt. Die gewonnenen Daten wurden statistisch mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben analysiert.

## Ergebnisse

Die Genauigkeit von Root ZX im Grenzbereich  $\pm 0,5\text{mm}$  betrug 89,1%. Die Messungen liegen in 45,8% der Fälle koronal und in 54,2% der Fälle apikal der Konstriktion. In der Gruppe der vitalen Zähne wurde in 88,2% der Fälle, in der Gruppe der avitalen Zähne in 91,7% der Fälle die Konstriktion exakt bestimmt. Die Messungen in der Gruppe der einwurzligen Zähne ergab eine korrekte Messung in 95,0% der Fälle, in der Gruppe der mehrwurzligen Zähne in 77,7% der Fälle. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied beim Vergleich der

Meßergebnisse der Gruppen I und II, sowie den Ergebnissen von Gruppe III und Gruppe IV.

Mit Raypex4 wird in 86,2% der Fälle die apikale Konstriktion im Grenzbereich  $\pm 0,5\text{mm}$  korrekt bestimmt. Tendenziell liegen die Messungen koronal (65,2%) von der Konstriktion. In der Gruppe der vitalen Zähne wird die apikale Konstriktion in 94,1% der Fälle, in der Gruppe der avitalen Zähne in 75,0% der Fälle korrekt bestimmt. Die Messungen an einwurzligen Zähnen waren zu 85,0% exakt, Messungen an mehrwurzligen Zähnen zu 88,9%. Es ergaben sich keinerlei statistisch signifikante Unterschiede beim Vergleich der Gruppen.

Die Genauigkeit von Propex im Grenzbereich  $\pm 0,5\text{mm}$  betrug 72,4%. Propex lieferte an vitalen Zähnen in 76,5% der Fälle korrekte Ergebnisse, an avitalen Zähnen in 66,7% der Fälle. Messungen an mehrwurzligen Zähnen lieferten zu 55,6% die korrekte Arbeitslänge, Messungen an einwurzligen Zähnen zu 80,0%. Der Unterschied zwischen Gruppe III und Gruppe IV war statistisch signifikant. Der Vergleich der Geräte untereinander lieferte keine statistisch signifikanten Unterschiede.

### **Schlussfolgerung**

Endometriegeräte der neuesten Generation sind in hohem Maße in der Lage die apikale Konstriktion korrekt zu bestimmen. Eine Kombination mit der radiologischen Arbeitslängenbestimmung ist obligat.

## Abstract

### Objective

The aim of this thesis was to determine the accuracy of electronic working length determination by using three different apex locators under in vivo conditions.

Furthermore, the influence of vitality and the number of root canals on the result of the measurement were examined.

### Material and method

In 25 cases of teeth to be extracted, the working length of 29 root canals was determined endometrically, by using the apex locating device Root ZX (J.Morita, Tokyo, Japan), Propex (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany) and Raypex 4 (VDW, Munich, Germany). The length for the scale units "0", "0,5" and "1" of the respective measuring devices were measured. As different factors of influence were to be examined, the teeth were divided into 4 groups. To determine the definite value of the working length, the location of the apical constriction was determined by measuring profiles under microscopic magnification. The collected data were statistically analyzed by the t-test for independent samples.

### Results

The accuracy of Root ZX in the threshold range  $\pm 0,5\text{mm}$  was 89,1%. In 45,8% of the cases the measurement was coronal of the constriction, in 54,2% of the cases it was apical. The Constriction was determined exactly in 88,2% of the vital teeth and in 91,7% of the non-vital teeth. The measurement in the group of single-rooted teeth showed an accuracy of 95% with regard to the multiple rooted teeth an accuracy of 77,7%. The comparison of the measurement results showed no statistically significant difference between groups I and II and between groups III and IV. With Raypex 4 the apical constriction was accurately determined in 86,6% of cases. By trend the measurements are coronal (65,2%) of the constriction. With regard to the

apical constriction the measurements in the group of vital teeth were correct in 94,% of the cases., in the group of non-vital teeth in 75% of the cases. The measuring of single-rooted teeth was exact in 85%, in multiple-rooted teeth in 88,9%. No statistically significant differences were found. The accuracy of Propex was 72,4%. Propex showed correct results in 76,5% at vital teeth and in 66,7% at non-vital teeth. Measurements of multiple-rooted teeth showed the correct working length in 55,6%, of the single-rooted teeth in 80%. The difference between group III and group IV was statistically significant. The comparison of the three different devices showed no statistically significant differences.

### **Conclusion**

Endometric devices of the latest generation are highly capable to determine the apical constriction correctly. A combination with the radiological determination of working length is obligatory.

## **2. Einleitung**

### **2.1. Der Begriff Endodontologie**

Die Endodontologie beschäftigt sich mit der Anatomie und Physiologie des Endodonts sowie mit der Ätiologie, Prävention, Pathologie, Diagnostik und Therapie seiner Erkrankungen. Das Endodont umfasst dabei sowohl die Zahnpulpa als auch die sie umgebenden, mit ihr physiologischerweise in Kontakt stehenden Gewebe, das Dentin sowie das periapikale und laterale Parodont [62]. Das Pulpagewebe kommuniziert durch das Foramen apicale, die Seitenkanäle, akzessorische Kanäle und Pulpaperiodontalkanäle mit dem Parodont, sodass sich Erkrankungen des Endodonts bei deren Progredienz auf den Periapex und das Parodont ausweiten können.

Das Ziel jeder endodontischen Behandlung ist es, den erkrankten Zahn langfristig zu erhalten und schädigende Auswirkungen auf den Gesamtorganismus zu verhüten. Die endodontische Behandlung umfasst das Entfernen der infizierten Pulpa aus der Pulpenkammer und aus den Wurzelkanälen, die mechanische Säuberung, Aufbereitung und Desinfektion des Kanalsystems und schließlich deren bakteriendichte Obturation mittels einer Wurzelkanalfüllung. Im Erfolgsfall wird durch diese Behandlung erreicht, dass die Infektion aus dem Wurzelkanalsystem eliminiert wird, ein Ausheilen des entzündlichen Prozesses im anliegenden Knochen um die Wurzelspitze gewährleistet ist und somit eine Extraktion vermieden wird [27].

Der Erfolg einer endodontischen Behandlung wird sowohl klinisch als auch röntgenologisch überprüft. Ein erfolgreich behandelter Zahn muss auch nach Jahren beschwerdefrei und funktionell belastbar sein. Röntgenologisch wird die Ausdehnung und Dichtigkeit der Wurzelfüllung kontrolliert, wobei pathologische Veränderungen des apikalen Parodonts ausgeschlossen sein sollten. Lag eine apikale Veränderung im Ausgangsbefund vor, sollte eine Ausheilung zu beobachten sein.

SJÖGREN ET AL. [49] wiesen in einer Langzeitstudie über 8-10 Jahre nach endodontischer Therapie eine Erfolgsquote von 91 % nach. Dabei waren initial vitale Zähne ohne periapikale Läsionen zu 96 % erfolgreich, Zähne mit periapikaler Aufhellung zu 86 % und revidierte Zähne mit periapikalen Läsionen zu 62 % erfolgreich behandelt worden [49].

Auch KEREKES und TRONSTAD konnten bei einer Studie 3-5 Jahre nach Wurzelkanalbehandlung bei einer Anzahl von 501 nachuntersuchten Wurzeln eine Erfolgsquote von 91 % nachweisen [25]. Anzumerken bleibt, dass die Erfolgsraten großen Schwankungen unterliegen, da diese erheblich vom präoperativen Zustand des Zahnes abhängen.

### **2.2. Die Bedeutung der apikalen Konstriktion**

Um die Arbeitslänge korrekt zu bestimmen, bedarf es genauer Kenntnisse der anatomischen Struktur des apikalen Wurzelbereiches. Der Pulparaum stellt sich als komplexes Kanalsystem dar. Vom eigentlichen Hauptkanal können in verschiedenster Konfiguration Seitenkanäle abzweigen. Im apikalen Bereich bilden diese Aufzweigungen und akzessorischen Kanäle häufig ein sogenanntes apikales Delta.

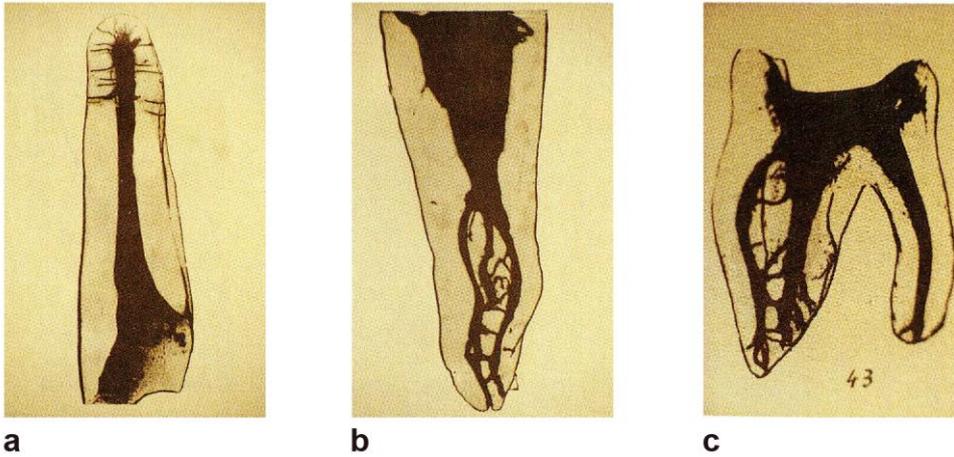


Abb. 1: Komplexität der Wurzelkanalsysteme von W.Hess 1917 [3]

Der Hauptkanal verjüngt sich in der Regel nach apikal. Seine engste Stelle wird als apikale Konstriktion oder auch als physiologisches Foramen bezeichnet und misst etwa 0,15-0,25 mm Durchmesser. In der Regel befindet sich hier auch die Zement – Dentin – Grenze [3]. Die anatomische Wurzelspitze wird als anatomischer Apex bezeichnet. Die Stelle an der sich die Wurzelspitze im Röntgenbild darstellt wird radiologischer Apex genannt. Das Foramen apicale bildet den natürlichen Zugang zur Pulpahöhle.

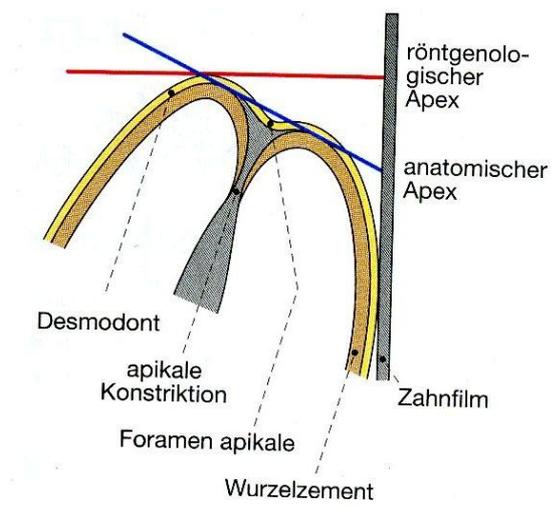


Abb. 2: Anatomie der Wurzelspitze [20]

Verschiedene Untersuchungen von KUTTLER [31] und GREENE [16] haben gezeigt, dass der Abstand des physiologischen Foramens zum röntgenologischen Apex im Durchschnitt 0,5- 1,1 mm beträgt. Auch nach HELLWIG [20] beträgt der Abstand zwischen Foramen physiologicum und röntgenologischen Apex 1 mm (0,8-1,2 mm). Hierin zeigen sich die Schwierigkeit und die Fehlerhaftigkeit der heute gebräuchlichsten Art der Arbeitslängenbestimmung mithilfe der Röntgenmessmethode. Sie ermöglicht keine exakte Lokalisation der apikalen Konstriktion, da diese auf einem Röntgenbild nicht sichtbar ist. Zudem unterliegt der Abstand der Konstriktion zum röntgenologischen Apex einer großen Variation und wird außerdem durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise der Zahninklination, der Position des Röntgenfilms und dem Winkel des Strahlengangs. Somit erscheint eine Lokalisation der Konstriktion mithilfe eines Röntgenbildes aus heutiger Sicht ungenügend. In der Summe der Faktoren muss laut Untersuchungen von OLSON ET AL. [38] mit einer Fehlerquote von 8-20% gerechnet werden. Zudem ist die apikale Konstriktion röntgenologisch nicht sichtbar. Nur der röntgenologische Apex ist zweifelsfrei lokalisierbar. Folglich erfolgt im engeren Sinne keine Messung, sondern eine Schätzung der Arbeitslänge. Die Lösung dieses Problems könnte in der Verwendung von Endometriegeräten liegen.

Eine entscheidende Voraussetzung für den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist eine exakte Bestimmung der so genannten Arbeitslänge. Aktuelle Studien haben gezeigt, dass die besten Resultate dann erreicht werden, wenn der Wurzelkanal bis zur apikalen Konstriktion aufbereitet und gefüllt wird. Wird die Arbeitslänge zu lang bestimmt (Überinstrumentierung), kann eine Verletzung oder eine Kontamination des periapikalen Gewebes auftreten. Wird sie zu kurz bestimmt (Unterinstrumentierung), können Bakterien und entzündetes Gewebe als Dauerreservoir für Mikroorganismen und toxische Stoffwechselprodukte im Kanal verbleiben, was zu akuten und chronischen periapikalen Läsionen führen kann. Die ideale Aufbereitung endet also an der engsten Stelle des letzten Kanalabschnittes, der apikalen Konstriktion. Diese fungiert hierbei als natürliche Barriere zwischen Wurzelkanalfüllmaterial und dem apikalen Gewebe. Die Kontaktfläche zwischen dem

eingebrachten Fremdkörper und vitalem Gewebe kann so möglichst klein gehalten werden. Eine mechanische Traumatisierung des Gewebes jenseits der Konstriktion sowie dessen Infektion durch Keimverschleppung kann so verhindert werden.

### **3. Die Arbeitslänge**

Unter dem Begriff Arbeitslänge definiert man die Distanz zwischen einem koronalen (Höckerspitzen, Inzisalkante) und einem apikalen Referenzpunkt (apikale Konstriktion). Den koronalen Referenzpunkt stellt der Anschlagpunkt des Stoppers des jeweils verwendeten endodontischen Instruments an der Inzisalkante oder Höckerspitze des Zahnes dar. Als Stopper können beispielsweise Gummi- oder Metallringe dienen, die entlang des Instrumentes zur Einstellung der angestrebten Länge verschoben werden können. Beim Fehlen einer Inzisalkante oder einer Höckerspitze infolge von beispielsweise Karies oder einer Kronenfraktur ist es nötig, einen eindeutigen koronalen Referenzpunkt aufzubauen.

Ein besonders wichtiger Teil einer Wurzelbehandlung ist die Kanalaufbereitung und somit kommt der Arbeitslängenbestimmung eine entscheidende Rolle zu. Zum einen legt sie fest, wie weit aufbereitet wird und damit inwieweit Gewebe, Zelltrümmer, Bakterienprodukte und Metabolite aus dem Kanal entfernt werden, zum anderen legt sie den apikalen Endpunkt der Wurzelfüllung fest. Aus diesem Grund entscheidet die korrekte Bestimmung der Arbeitslänge in beträchtlichem Maße über Erfolg oder Misserfolg der Behandlung [15]. Sie muss daher mit höchster Sorgfalt und unter zu Hilfenahme moderner und wissenschaftlich bestätigter Techniken vorgenommen werden. Zudem sollten diese Methoden effizient und praktikabel sein.

#### **3.1. Verschiedene Methoden zur Arbeitslängenbestimmung**

##### **3.1.1. Die digital – taktile Längenbestimmung**

Die digital-taktile Methode zur Bestimmung der apikalen Konstriktion verlässt sich auf das Gespür und die Erfahrung des Behandlers, der versucht, die Konstriktion mit einem Wurzelkanalinstrument, üblicherweise ISO 15, zu lokalisieren. Diese Technik

stammt aus der Zeit der Jahrhundertwende, bevor die Röntgentechnik in den Praxen Einzug hielt. Diese Methode ist zwar mit Sicherheit die schnellste und besonders unkomplizierte, beinhaltet aber zahlreiche Fehlerquellen und Limitationen. Sie kann daher zumindest als alleinige Methode als obsolet betrachtet werden. Aus klinischer Sicht ist es offensichtlich, dass die Methode zu ungenau ist, da sie von der Taktilität des behandelnden Arztes, vom Durchmesser des Kanals, von der Wurzelkrümmung oder etwaigen Unebenheiten der Kanalwand beeinflusst wird. Auch wenn es bereits zu Resorptionen im Bereich der Konstriktion infolge einer periapikalen Läsion gekommen ist, wird die Methode unbrauchbar. Dieses gilt auch für Zähne mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum. In beiden Fällen besteht die Gefahr der Überinstrumentierung. Ebenso wenig sollte die Schmerzreaktion des Patienten zu Hilfe genommen werden, da bei vitaler Pulpa der Schmerzpunkt zwischen Wurzelkanaleingang und Foramen apicale (Reste von Pulpengewebe) und bei Zähnen mit apikalen Läsionen deutlich im periapikalen Gewebe liegen kann [18].

SEIDBERG ET AL. [45] fanden durch klinische Studien heraus, dass sogar erfahrene Behandler die apikale Konstriktion mit der taktilen Methode nur zu 64% richtig bestimmten.

### **3.1.2. Die röntgenologische Methode**

Die Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe der Röntgenmessaufnahme stellt heute das am meisten angewandte Verfahren dar. Die Zahnlänge kann jedoch nicht direkt auf dem Röntgenbild gemessen werden, da weder die Rechtwinkeltechnik noch die Halbwinkeltechnik maßstabsgetreue beziehungsweise unverzerrte Abbildungen des Zahnes liefern. Aus diesem Grund bedient man sich der radiologischen Annäherungstechnik nach INGLE aus dem Jahre 1957 [30]. Bei dieser Technik werden ausgehend von der Zahnlänge des diagnostischen Röntgenbilds und von der Instrumentenlänge Korrekturen durchgeführt und daraus die tatsächliche Arbeitslänge festgelegt. Im Detail sieht das praktische Vorgehen bei der

röntgenologischen Methode wie folgt aus: Vor Beginn der Wurzelbehandlung wird ein diagnostisches Röntgenbild im Idealfall mittels Paralleltechnik angefertigt. Anhand dieser Aufnahme wird eine approximative Arbeitslänge festgelegt, indem der Zahn auf der Röntgenaufnahme gemessen wird. Von dieser approximativ festgelegten Länge zieht man je nach Neigung des Zahns 1-3 mm ab, um der Verzerrung des Röntgenbilds und dem Vergrößerungsfaktor bei der Paralleltechnik (laut Untersuchungen von VAN DE VOORDE und BJORNDALH VON 1969 beträgt der Vergrößerungsfaktor 5,4%) Rechnung zu tragen [54]. Nach Überprüfung des Kanals auf Gängigkeit wird die Länge eines Instruments geeigneter ISO-Größe auf die bestimmte Arbeitslänge eingestellt und bis zum Anschlag am Referenzpunkt in den Kanal eingeführt. Um eine eindeutige Analyse der nachfolgenden Messaufnahme zu gewährleisten, können nur bestimmte Instrumente verwendet werden (z.B. Räumer und K-Feilen mind. ISO 15 oder H-Feilen mind. ISO 20), da sonst die Instrumentenspitze nicht sicher zu identifizieren ist. Weiterhin ist anzustreben, dass die verwendeten Instrumente Klemmpassung aufweisen, um ein Herausfallen oder Verschieben während des Röntgens zu vermeiden. Anschließend wird ein Röntgenbild mittels der Halbwinkeltechnik angefertigt. Das entwickelte Bild liefert nun Informationen über die Relation der Instrumentenspitze zur Wurzelspitze bzw. deren Abstand. Aus diesem Abstand lässt sich nun mit Hilfe der Verhältnisgleichung die tatsächliche Zahnlänge berechnen.

$$IL/ILR = ZL/ZLR \rightarrow ZL = IL \times ZLR / ILR$$

mit

IL = Instrumentenlänge

ILR = Instrumentenlänge im Röntgenbild

ZL = Zahnlänge

ZLR = Zahnlänge im Röntgenbild

Von dieser so ermittelten Zahnlänge werden 0,5-1mm abgezogen, da im Röntgenbild nur der röntgenologische Apex zweifelsfrei bestimmt werden kann. Weicht die Instrumentenspitze mehr als 2mm von der Wurzelspitze ab, so empfiehlt es sich eine neue Aufnahme anzufertigen, da das nur rechnerisch korrigierte

Messergebnis unter diesen Umständen unsicher ist. Obwohl die Röntgenmessaufnahme die gebräuchlichste Methode zur Arbeitslängenbestimmung darstellt, muss man sich immer vor Augen führen, dass sie nicht fehlerfrei ist. COX ET AL. [7] stellten fest, dass nur 68% der Behandler die Arbeitslänge korrekt bestimmten, wenn eine Korrektur um +/- 0,5mm nach Auswertung der Messaufnahme nötig war, und nur 14%, wenn eine Anpassung von mehr als 1mm erforderlich war. Die Ursache hierfür liegt zum einen darin, dass die apikale Konstriktion auf dem Röntgenbild nicht eindeutig zu diagnostizieren ist. Sicher diagnostiziert kann nur der röntgenologische Apex werden, der aber mehr als 2mm von der Konstriktion entfernt sein kann (Untersuchungen von DUMMER ET AL. [8]). Zum anderen liefert ein Röntgenbild eine zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Struktur. Krümmungen oder Abweichungen in bukkolingualer Dimension können nicht erfasst werden. Weitere Fehlerquellen liegen in projektionstechnischen Verzerrungen durch die Aufnahme an sich, aber auch durch Verbiegen des Films und durch die Position des Films. Dies erschwert die Interpretation und vermindert den Aussagewert der Aufnahme.

So erklärt sich auch, dass Untersuchungen von KERSTEN ET AL. [26] nachweisen konnten, dass trotz radiologisch erkennbar korrekter Wurzelfüllung, diese sich nach Extraktion bei einem Viertel der Zähne als insuffizient herausstellte.

### **3.1.3. Die endometrische Methode**

#### **3.1.3.1. Historie und Grundlagen der Endometrie**

Die Geschichte der elektronischen Längenbestimmung beginnt schon 1918, als CUSTER [32] eine elektronische Messmethode entwickelte, welche auf der unterschiedlichen Leitfähigkeit von verschiedenen Geweben beruhte. Mit Hilfe seiner Methode konnte der Übergang von nekrotischem Gewebe (trockener Kanal) zum

vitalen Gewebe jenseits des Apex angezeigt werden. Genaue Informationen über die Lage des Foramens waren damit nicht möglich [13, 59].

SUZUKI [23] legte 1942 den Grundstein für eine weitere Entwicklung der Endometrie. Durch seine experimentellen Studien mittels Iontophorese an Hundezähnen konnte nachgewiesen werden, dass der Widerstand zwischen Desmodont und Mundschleimhaut konstant ist [22]. Daraus wurde abgeleitet, dass der Widerstand zwischen Mundschleimhaut und Desmodont auch dann konstant ist, wenn eine Messsonde via Wurzelkanal mit dem Desmodont in Verbindung kommt [5, 35]. Basierend auf dieser Tatsache wurde 1962 von SUNADA [23] mit dem Endometer das erste Gerät zur elektronischen Wurzelkanallängenbestimmung vorgestellt. Dieses Gerät war ein einfaches Ohmmeter, das das Erreichen des Foramen apicale anzeigte, wenn ein Widerstand von 6,5 k $\Omega$  erreicht wurde. Diese Erkenntnisse stellten die Grundlage der weiteren Entwicklung von Endometriemessgeräten dar, und es entstand die erste Generation dieses Gerätetyps [3, 23]. Alle Geräte der ersten Generation waren vom Widerstandstyp. Das heißt sie zeigen den Apex an, wenn in einem Gleichstromkreis die in Suzukis Untersuchungen bestimmten 6,5 k $\Omega$  gemessen werden.

Diese Methode beinhaltet aber einige Fehlerquellen. Eines der größten Probleme stellt die Empfindlichkeit gegenüber Flüssigkeit im Kanal dar. Schon durch geringe Mengen kann der Stromkreis geschlossen werden, bevor das Desmodont erreicht wurde. Daraus ergibt sich eine zu kurze Wurzel- und damit auch Arbeitslänge [34].

Ein weiteres Problem dieser Methode waren Polarisationsphänomene an der Elektrode. Im Gleichstromkreis arbeitet eine Elektrode entweder als Kathode oder als Anode. Folglich werden die sich im feuchten Wurzelkanalmilieu befindlichen Anionen und Kationen angezogen. Dies führt zur Polarisation der Instrumentenspitze und damit zu Messungenauigkeiten [36, 50]. Aus diesem Grund entstanden die Endometriegeräte der zweiten Generation, die mit Wechselstrom arbeiteten. Im Wechselstromkreis wird nicht der Ohmsche Widerstand gemessen, sondern mit dem Wechselstromwiderstand die Impedanz. Diese ist abhängig von

der Frequenz, genauer, sie sinkt mit steigender Frequenz. Auch diese Methode birgt einige Probleme. Ein Problem ergibt sich aus der Tatsache, dass sich die Gesamtimpedanz im Wurzelkanal zusammensetzt aus der Gewebe- und der Elektrodenimpedanz. Im Idealfall müsste nur die Impedanz des Gewebes gemessen werden. Weiterhin führen wiederum die Ionen der Flüssigkeiten im Kanal zu einer Erniedrigung des Widerstands durch Ionenfluß und damit zu Fehlmessungen im Sinne zu kurz angegebener Arbeitslänge [29]. VOß [59] stellte zudem fest, dass sich Messfehler bei der Verwendung von Instrumenten verschiedener ISO Größen ergeben. Weiterhin konnten VOß und SIEBENKEES belegen, dass diese Geräte maßgeblich vom Übergangswiderstand der Elektroden beeinflusst werden und somit mehr die Elektrodenimpedanz als die des Gewebes gemessen wird [61]. Ein Vertreter dieser Generation war das Root Canal Meter aus dem Jahre 1969, das eine Frequenz von 150 Hz verwendete. Allerdings verursachte das Gerät durch zu hohe Ströme Schmerzen, so dass die Idee weiterentwickelt werden musste. Ein weiteres Gerät war der von HASEGAWA 1979 entwickelte Endocater, der mit einer Frequenz von 400 Hz arbeitete und damit versuchte, die Polarisierungseffekte an der Elektrode durch die Häufigkeit der Stromrichtungsänderung zu vermindern [13, 29]. Trotz der oben genannten Probleme wurde die Messgenauigkeit des Endocaters von MC DONALD und HOVLAND in einer in vivo Studie im Bereich  $\pm 0,5$  mit 93,4% angegeben [34]. 1983 wurde von USHIYAMA [53] ein neues Messprinzip vorgeschlagen, wobei eine bipolare Elektrode zum Einsatz kam, die die Spannungsdifferenz im Wurzelkanal messen sollte. Das Prinzip basiert auf der Grundlage, dass an der Stelle eines stromdurchflossenen Leiters, die den kleinsten Querschnitt aufweist, die größte Spannungsänderung pro Längeneinheit auftritt. Durch diese Methode kann der Messfehler durch die Elektrodenimpedanzen eliminiert werden, allerdings wird nicht nur die apikale Konstriktion gemessen, sondern jede Engstelle [29]. Außerdem war die eingesetzte bipolare Elektrode zu dick, um in engen Wurzelkanälen zum Einsatz zu kommen. Sie konnte erst ab ISO Größe 30 verwendet werden [59]. Die Geräte der dritten Generation arbeiten mit einer Weiterentwicklung dieser Spannungsgradientenmethode, dem Impedanzquotienten oder der relativen

Impedanzmessung. Das Prinzip beruht darauf, die Impedanz mit zwei verschiedenen Wechselstromfrequenzen zu messen und aus diesen einen Relativwert zu bestimmen. Es wurden zwei verschiedene Methoden zur Ermittlung des Relativwerts vorgestellt, die Differenzmethode und die Quotientenmethode. Bei der Differenzmethode von YAMASHITA [41] wurden zwei verschiedene Frequenzen von 1 kHz und 5 kHz verwendet. Daraus resultieren zwei Impedanzen, aus deren Differenz die apikale Konstriktion bestimmt werden kann [39], da dort die Differenz am größten ist. Bei der Verhältnismethode werden ebenfalls zwei verschiedene Frequenzen verwendet, allerdings wird aus den resultierenden Impedanzen ein Quotient gebildet, über den die Konstriktion ermittelt wird. Die neuesten Geräte basieren auf dem Prinzip der Verhältnismethode, wie zum Beispiel die in dieser Arbeit untersuchten Root ZX, Raypex 4 und Propex. Ein Vertreter der Differenzmethode ist zum Beispiel das Gerät APIT. Beide Methoden sind unabhängig von den elektrischen Bedingungen im Kanal, also von der Anwesenheit leitender Elektrolyte im Kanal, so dass dadurch keine Messfehler mehr entstehen können. Im Gegenteil, diese sind sogar Bedingung für den Stromfluss. Die Quotientenmethode stellt eine Weiterentwicklung der Differenzmethode dar, da bei letzterer wenige Millimeter vor dem Apex eine Kalibrierung nötig war, um Normabweichungen des Kanals zu erfassen, die bei den neuesten Geräten nicht nötig ist.

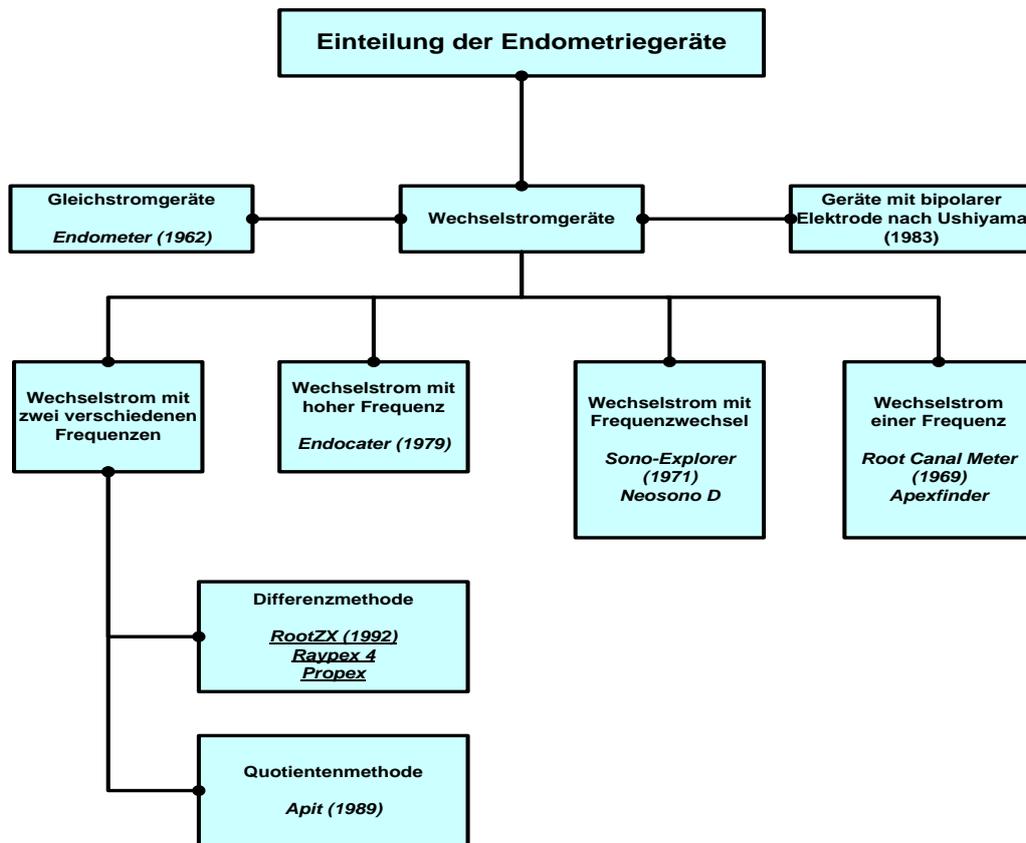


Abb. 4: Einteilung der Endometriegeräte ( aus Kobiyashi 1995 [29])

### 3.1.3.2. Physikalische Grundlagen

Das Grundprinzip jeder endometrischen Messung ist die Bestimmung der Arbeitslänge durch die Ermittlung von elektrischen Widerständen. Deswegen sind die wesentlichen Bestandteile eines Endometriegerätes eine Spannungsquelle, ein Messgerät, eine Elektrode und eine Gegenelektrode. Ein Wurzelkanalinstrument fungiert als Elektrode, die Gegenelektrode wird von einer im Mundwinkel angebrachte Schleimhaut- oder Lippenelektrode gebildet. Wird das Instrument nach apikal bewegt, so verändern sich die elektrischen Charakteristika, wobei die größte Veränderung dort auftritt, wo das Instrument den Wurzelkanal durch das Foramen physiologicum verlässt [55].

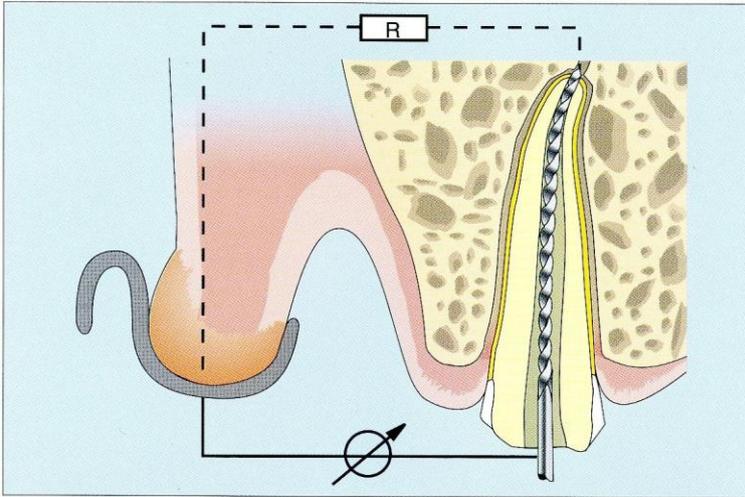


Abb. 3: Schematische Anordnung einer endometrischen Messapparatur [4]

Durch die Messung des Widerstands zwischen diesen beiden Elektroden soll die Lage des Instruments im Kanal bestimmt werden, die dann visuell und akustisch angezeigt wird. Die Messgröße stellt der elektrische Widerstand dar. Jede Materie setzt bei einer angelegten Spannung dem fließenden Strom einen elektrischen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand ist abhängig von der Länge und dem Querschnitt des stromdurchflossenen Materials und von einer Materialkonstante, dem spezifischen Widerstand [22]. Im Wechselstromkreis heißt der Widerstand Impedanz und ist frequenzabhängig. Er setzt sich zusammen aus einem ohmschen Widerstand (frequenzunabhängig) und einem kapazitiven Widerstand (frequenzabhängig). Der kapazitive Widerstand ergibt sich aus der Tatsache, dass ein Zahn als Isolator in umgebenden leitenden Gewebe wie ein Kondensator wirkt, und zu geringem Anteil aus dem Widerstand von Geweben. Auch die Leitfähigkeit von Gewebe ist frequenzabhängig. Es leitet bei niedriger Frequenz schlecht, da Ionen nur in der extrazellulären Flüssigkeit fließen können [37]. Bei Frequenzen über 10 kHz nimmt die spezifische Leitfähigkeit zu, da die Zellmembranen kapazitiv überbrückt werden [44]. Die idealen Messfrequenzen liegen im Bereich von etwa 1kHz [60]. Hinzu kommt die Elektrodenimpedanz, ein die Messung störender Übergangswiderstand zwischen Elektrode und Elektrolyt, die sich wiederum aus ohmschen und kapazitiven Widerstand zusammensetzt [58]. Diese ist abhängig von

den Eigenschaften des Elektrolyts und von der Größe der Kontaktfläche und somit variabel und verfälscht das Messergebnis. Die neuesten Geräte arbeiten heutzutage mit der Elektrodenimpedanz bzw. mit deren Quotienten. Da sich bei Wechselstromquellen eben diese Elektrodenimpedanzen durch elektrophysikalische Polarisationsprozesse am Übergang vom metallischen auf einen ionischen Leiter aufbauen, wird nicht die angestrebte Gewebeimpedanz gemessen, sondern eine Gesamtimpedanz. Da die Elektrodenimpedanz stärker von der Frequenz abhängig ist, werden zwei verschiedene Frequenzen verwendet, woraus sich zwei verschiedene Impedanzen ergeben. Wird aus diesen Werten nun durch die Impedanzdifferenz oder durch den Impedanzquotienten ein Relativwert gebildet, so heben sich die frequenzunabhängigen Widerstände auf. Die sich daraus ergebende Elektrodenimpedanz kann als Referenzgröße zur Arbeitslängenbestimmung herangezogen werden. Die Elektrodenfläche ist im Kanal klein (Kanalwand als Isolator) und relativ konstant, da der Strom nur durch die Querschnittsfläche des Wurzelkanals in Richtung des Periapex fließen kann, ergo ist die Impedanz groß. Je kleiner der Querschnitt, desto größer die Impedanz. Sie erreicht folglich an der Konstriktion ihr Maximum [15]. Nach der Konstriktion wird sie kleiner, da Stromfluss in alle Richtungen möglich ist, weil die isolierenden Eigenschaften der Kanalwand fehlen [61]. Der elektrolytische Einfluss von Flüssigkeiten kann also vernachlässigt werden. Ebenso der Einfluss von entzündlich verändertem Gewebe oder weitem Foramen apicale oder noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum, da das Desmodont nicht mehr als Referenzgewebe zur Widerstandsmessung dient. Allerdings stellt das Dentin keinen absoluten Isolator dar. Das Kanalwanddentin besitzt eine geringe Leitfähigkeit, so dass sich der angezeigte Punkt weiter Richtung Foramen apicale verschiebt, je leitfähiger das Dentin ist. Deswegen postulieren VOß und SIEBENKEES, dass auch mit den Geräten der neuesten Generation sogar unter optimalen Arbeitsbedingungen nur ein Punkt zwischen Konstriktion und apikalen Foramen gefunden werden kann [61].

### **3.2. Endometrie versus Röntgentechnik**

Die elektronische Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe so genannter Apexlokalisatoren erlebt in den letzten Jahren eine Hochkonjunktur. Die zunehmende Angst der Patienten vor der bei Wurzelkanalbehandlung bisher unumgänglichen, wiederholten Anwendung von Röntgenstrahlung und die scheinbar schnelle und einfache Handhabung von Endometriegeräten führen dazu, dass immer häufiger die Frage aufkommt, ob diese Art der Längenbestimmung nicht das traditionelle Röntgenverfahren ablösen könne. In Folgendem sollen nun Vorteile und Nachteile der beiden Methoden sowie ihre Indikationen beschrieben werden. Der größte Vorteil von Apexlokalisatoren liegt eindeutig in ihrer hohen Präzision, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit mit der die apikale Konstriktion angezeigt wird. Wie schon zuvor erwähnt, fällt die Röntgentechnik hinsichtlich der Genauigkeit im Vergleich zu Endometriegeräten häufig zu kurz aus. Aufgrund oben genannter Probleme der Röntgenmessaufnahme kam es nach Untersuchungen von PRATTEN ET AL. [42] bei 63% des Untersuchungsguts zu einer 0,5 mm zu kurz bestimmten Arbeitslänge. Ein weiterer Vorteil der Endometrie liegt in der Zeitersparnis gegenüber der Röntgentechnik und der Absenz von ionisierender Strahlung. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass die Röntgenaufnahme über die reine Längenmessung hinaus zahlreiche zusätzliche und für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung essentielle Informationen liefert. Sie gibt Aufschluss über die Anzahl der Wurzeln, deren Krümmungsgrad, die Weite des Kanallumens, das Vorliegen von Wurzelresorptionen, eventuelle Obliteration des Kanals oder von Fremdkörpern im Kanal. Ein gänzlicher Verzicht auf dieses diagnostische Hilfsmittel ist daher nicht zu verantworten. Nur in wenigen Einzelfällen, wie zum Beispiel bei der Behandlung von Schwangeren und bei akuter Notfallbehandlung, ist die alleinige Anwendung der endometrischen Messmethode indiziert. Nach heutigem Stand der Wissenschaft empfiehlt es sich, die radiologische und endometrische Methode kombiniert einzusetzen, um so die Länge des Wurzelkanals mit hoher Genauigkeit zu bestimmen und eine maximale Erfolgsquote für die Wurzelkanalbehandlung zu gewährleisten.

So können die Nachteile der Röntgenmessaufnahme (tatsächliches Foramen physiologicum, Projektions-/ Interpretationsfehler) durch den Einsatz von Endometriegeräten umgangen werden und andererseits können durch Röntgenaufnahmen für Behandlung und Diagnostik wertvolle Informationen gewonnen werden [41]. Die Endometrie kann zum Beispiel sehr hilfreich sein, wenn auf dem Ausgangsröntgenbild die exakte Zahnlänge nicht zu erkennen ist oder die Wurzelspitze nicht scharf oder überhaupt nicht abgebildet ist. Oft ist eine exakte Auswertung des Röntgenbilds nicht möglich, weil Kanäle oder Wurzeln trotz exzentrischer Aufnahme nicht getrennt dargestellt werden und sich überlagern. Ebenso können knöcherne Strukturen (z.B. Arcus zygomaticus) oder metallische Gegenstände (z.B. Osteosyntheseplatten) die Wurzelspitzen überlagern. In diesen Fällen kann die endometrische Messung zur Überprüfung herangezogen werden. Zur Kontrolle der radiologisch bestimmten Arbeitslänge während des Aufbereitens kann es ebenfalls sinnvoll sein, Endometriegeräte einzusetzen. Während bei geraden und nur leicht gekrümmten Wurzelkanälen die radiologisch bestimmte Arbeitslänge als gegeben angenommen werden darf, kommt es bei stark gekrümmten Kanälen zu einer wesentlichen Verkürzung der Arbeitslänge. Eine Unterinstrumentierung wäre die Folge. In diesen Fällen ist es indiziert, wiederholte Kontrollen mittels Endometriegeräten durchzuführen und gegebenenfalls die Arbeitslänge zu korrigieren. Sehr hilfreich können Endometriegeräte auch beim Auffinden und Diagnostizieren von Wurzelperforationen sein. Bei Untersuchungen von KAUFMAN ET AL. [24] stellte sich heraus, dass Endometriegeräte sowohl kleine als auch große Wurzelperforationen entdecken können. Da Perforationen auf dem Röntgenbild oft nicht oder nur sehr schwer zu diagnostizieren sind und ein möglichst schnelles Erkennen und behandeln prognostisch von höchster Bedeutung ist, kann die Endometrie wertvolle Unterstützung liefern. Dies gilt auch bei der Diagnose von horizontalen und vertikalen Wurzelfrakturen. Neuere Untersuchungen von TOPUZ ET AL. [52] zeigten, dass Vertikalfrakturen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit mit Hilfe von Endometriegeräten diagnostiziert werden können. Untersuchungen von AZBAL ET AL. [2] zeigten, dass unter Umständen auch Horizontalfrakturen erkannt werden können.

Endometrische Messungen an Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum oder weit offenem Foramen ergeben kein verwertbares Ergebnis. Allerdings zeigten Untersuchungen von HERRERA ET AL. [21], dass bei einem Durchmesser bis zu 1mm mit keiner Beeinflussung der Messgenauigkeit der Endometriegeräte gerechnet werden muss. Bei Zähnen ohne abgeschlossenes Wurzelwachstum kann ein Endometer zur Verlaufskontrolle einer Apexifikationsbehandlung verwendet werden. Zur Klärung der Frage, ob es nach mehrmaligen temporären Calciumhydroxideinlagen zur Ausbildung einer Hartschichtbarriere gekommen ist, lässt sich die Endometrie mit hoher Wahrscheinlichkeit einsetzen.

Allerdings gibt es auch eine ganze Reihe von Faktoren, die das Ergebnis der endometrischen Messung beeinflussen und damit verfälschen können, weswegen die alleinige Verwendung dieser Geräte zur Bestimmung der Arbeitslänge den Behandler nicht zufrieden stellen kann. So ist die Auswertung des präoperativen Röntgenbilds mit größter Sorgfalt vorzunehmen. Liegen periapikale Läsionen, Zysten oder Abszesse vor, so muss mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Fehlmessungen gerechnet werden. Gleiches gilt für Zähne mit weitem Foramen und mit apikalen Resorptionserscheinungen. Unter diesen Umständen messen die Endometriegeräte zwar oft auch korrekt, allerdings ist die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Messung so groß, dass man auf eine Röntgenmessaufnahme nicht verzichten sollte. Entzündungsphänomene im Kanal können ebenfalls einen Einfluss auf die Messung haben. Reste vitaler Pulpa, Exsudat oder Blut können elektrische Ströme erzeugen, welche die Messgenauigkeit negativ beeinflussen. Aus diesem Grund ist auf ein möglichst vollständiges Entfernen von Entzündungsgewebe zu achten. Da sowohl der Kontakt mit Speichel, als auch der Kontakt mit kariösem und damit feuchtem Dentin das Ergebnis der Messung beeinflussen kann, ist größter Wert auf eine vollständige Trockenheit und sorgfältige Entfernung des gesamten kariösen Dentins zu legen. Ist dies nicht gewährleistet, ist ein Kurzschluss im Stromkreis die Folge. Damit wird das Auftreten von Messfehlern begünstigt. Die Anwendung von Kofferdam gilt als obligat. Messfehler ergeben sich auch durch die Ableitung des Stroms durch Kontakt mit metallischen Füllungen oder Kronen. Aus diesem Grund ist

die Trepanationsöffnung so anzulegen, dass das Instrument ohne Kontakt zur Restauration in den Kanal eingebracht werden kann. Fehlerhafte Messungen können auch durch zu starke Erweiterung des Kanals beziehungsweise durch eine starke Erweiterung der Konstriktion, so genanntes preflaring, entstehen. Dabei tritt nach Erweiterung der zweiten physiologischen Enge eine größere Streuung der Messwerte mit Tendenz zu verkürzten Messungen auf [43]. Ebenfalls problematisch kann die Messung von revidierten Kanälen sein. Nach DUNLAP ET AL. [9] kann unvollständig entferntes Material isolierend wirken oder die apikale Konstriktion durch Dentinspäne verstopft sein, so dass der Stromfluss unterbunden ist und eine Messung der Länge unmöglich ist. Auch die Feuchtigkeit oder Trockenheit im Kanal kann zu Fehlmessungen führen. Ist der zu messende Kanal zu trocken, ist kein Stromfluss und damit keine Messung möglich, ist er mit Spülfüssigkeit überfüllt, kann es zu einer Verbindung zwischen den Kanälen von mehrwurzigen Zähnen kommen, wobei laut Herstellerangaben nicht klar ist, welcher Wert gemessen wird.

Heutzutage wird gefordert beide oben genannten Methoden zu kombinieren. Apexlokalisatoren haben berechtigterweise einen festen Platz in der modernen Endodontie. Sie aber als einzige Methode zu propagieren wäre aus oben genannten Gründen falsch. Kombiniert man die radiologische und die endometrische Längenbestimmung sinnvoll miteinander, kann die Länge des Wurzelkanals mit hoher Genauigkeit bestimmt werden und somit die endodontische Behandlung zu einem hohen Prozentsatz erfolgreich sein. Apexlokalisatoren sollten die radiologische Methode nicht ablösen, sondern deren Informationen sinnvoll ergänzen. Schon allein aus forensischen Gründen kann auf Röntgenaufnahmen bei der endodontischen Behandlung nicht verzichtet werden.

## 4. Ziel der Untersuchung

Wegen des Problems, dass die physiologische Konstriktion als angestrebter Aufbereitungsendpunkt im Röntgenbild nicht dargestellt wird und weiterer oben genannter Schwachpunkte der radiologischen Methode wurde schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts versucht, neue Wege zur Arbeitslängenbestimmung zu finden. Die ersten Endometriegeräte waren schwierig zu bedienen, lieferten nur bei trockenen Kanälen brauchbare Ergebnisse und waren damit unzuverlässig. Aus dieser Zeit haben sich Vorurteile gegenüber der Endometrie bis heute gehalten.

Obwohl durch kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung mittlerweile Studien vorliegen, die eine hohe Messgenauigkeit sowohl im relativ trockenen als auch im feuchten Kanal angeben und Studien von SHINODA ET AL. [48] gezeigt haben, dass Spülflüssigkeiten im Kanal keinen relevanten Einfluss auf das Messergebnis haben, stehen viele Behandler den Apexlokalisatoren mit Skepsis gegenüber. Vor allem herrscht große Unsicherheit darüber, ob mit Messfehlern gerechnet werden muss und unter welchen Bedingungen sie gegebenenfalls auftreten, und somit darüber, wie weit die Messergebnisse moderner Endometriegeräte von verschiedenen variierenden Einflussfaktoren abhängen. In vorliegender Untersuchung soll geprüft und kritisch beurteilt werden, inwieweit Endometriegeräte der neuesten Generation die hohen Ansprüche, die in der Endodontologie hinsichtlich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit an sie gestellt werden, erfüllen können.

Ziel der Studie ist es somit, die klinische Einsetzbarkeit der verwendeten Geräte in vivo zu prüfen. Hierfür wurde in der Untersuchung die Arbeitslänge an zu extrahierenden Zähnen mit den Endometriegeräten Root ZX, Raypex 4 und Propex gemessen. Der Messvorgang wurde hierbei unter den im Praxisalltag herrschenden Bedingungen durchgeführt, das heißt, es wurde hinsichtlich der untersuchten Patienten und Zähne keine besondere Selektion vorgenommen. Im Anschluss wurde der tatsächliche Ort der Konstriktion im Versuch ermittelt und mit den Messwerten verglichen. Abschließend wurden die Ergebnisse dieser Studie mit

denen einer nach der gleichen Methodik durchgeführten In-vitro-Untersuchung der extrahierten Zähne verglichen. Dadurch soll herausgearbeitet werden, wie genau die Messergebnisse sind und ob und in welchem Umfang die Messung von verschiedenen Ausgangsparametern (Vitalität/ Avitalität, Ein-/ Mehrwurzligkeit) abhängig ist.

## 5. Material und Methode

### 5.1. Beschreibung der elektronischen Messgeräte

Das Funktionsprinzip aller drei Versuchsgeräte basiert auf der Impedanzquotientenmethode und so wird bei allen Geräten mit zwei verschiedenen Frequenzen gemessen. Bei den zwei Wechselstromfrequenzen werden die Impedanzen gemessen und daraus mittels Mikroprozessor durch die Quotientenmethode ein Relativwert errechnet. Dadurch wird der Einfluss von Elektrolyten und Polarisationsprozessen ausgeschlossen.

#### 5.1.1. Gerätebeschreibung Root ZX (J. Morita Corporation, Tokyo, Japan)



Abb. 5: Endometriegerät Root ZX

Laut Herstellerangaben muss das Gerät Root ZX zu Beginn nicht kalibriert werden und kann im feuchten und trockenen Kanal gleichermaßen verwendet werden. Vor Beginn der Messung muss die Gegenelektrode, eine hakenförmige Schleimhauetelektrode im Mundwinkel des Patienten platziert werden. Als Messelektrode wird ein handelsübliches Wurzelkanalinstrument verwendet, das über einen Clip an das Gerät angeschlossen wird.

Die Anzeige erfolgt über ein LCD-Display mit den Skalierungspunkten 3 → 2,5 → 2 → 1,5 → 1 → 0,5 → APEX [11, 50]. Die Information über die Position der Feile im Kanal kann entweder über einen Balken auf dem LCD abgelesen werden oder wahlweise akustisch erfolgen. Ab dem Erreichen des Wertes 2 auf dem Display ertönt ein Alarmton in bestimmten Intervallen. Je näher man einem individuell bestimmten Wert z.B. 0,5 mm kommt, desto kürzer ist das Intervall.

Am anatomischen Apex ertönt ein Dauerton. Die Werkseinstellung beträgt „0,5“, sie kann aber auch individuell mittels SET Knopfes an der Unterseite des Gerätes eingestellt werden. Das Root ZX wird mit 5 Mignonbatterien (1,5 V) betrieben, wobei der Hersteller eine maximale Betriebsdauer von 100 Stunden angibt. Eine Anzeige des Ladezustands befindet sich in der rechten oberen Ecke [11].

Als Nachfolgergeräte des Root ZX existieren mittlerweile das TriAuto ZX und das Dentaport. Diese stellen eine Kombination aus Endometer und einem Motor zur maschinellen Aufbereitung dar. Laut Herstellerangaben ist der eingebaute Endometer dieser Geräte mit dem Root ZX identisch.

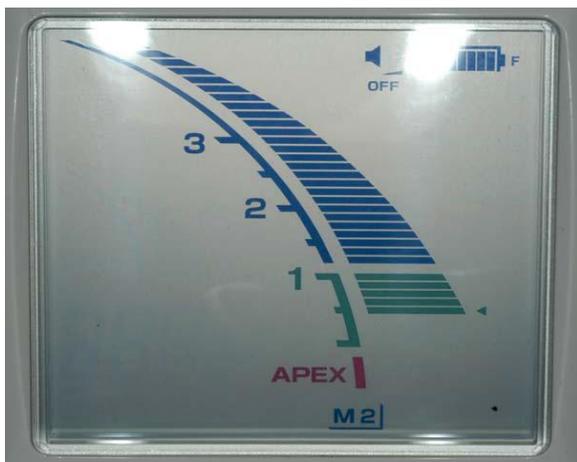


Abb. 6: Root ZX - Darstellung des apikalen Drittels

### 5.1.2. Gerätebeschreibung Propex (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz)



*Abb. 7: Endometriegerät Propex*

Auch das Endometriegerät Propex arbeitet nach dem Prinzip der Quotientenmethode. Auch hier werden zwei differente Frequenzen verwendet und eine Relativimpedanz bestimmt, mithilfe dieser dann der Apex an der Schmelz-Dentin-Grenze, also das Foramen apicale, lokalisiert werden soll. Bei Inbetriebnahme führt das Gerät selbstständig eine Autokalibrierung durch, sodass keine vorbereitenden Maßnahmen nötig sind. Die Gegenelektrode stellt wiederum ein Lippenclip dar. Als Messelektrode kann laut Hersteller jede Art von Wurzelkanalinstrument verwendet werden, das an der Anschlussakenöse befestigt wird. Das Propex bietet sowohl eine visuelle Anzeige als auch akustische Signale an, mit deren Hilfe die Bewegung der Feile im Kanal kontrolliert werden kann. Mit Annäherung an den Apex wird das Intervall zwischen den einzelnen Signaltönen kürzer. Bei Erreichen des Apex gibt das Gerät einen Dauerton ab. Damit soll ein Arbeiten ohne ständige Sichtkontrolle möglich werden. Die Lautstärke ist auf vier Stufen einstellbar (stumm, niedrig, normal, laut). Auf dem Display des ProPex befindet sich eine schematische Darstellung einer Zahnwurzel.

Das Propex bietet während des Messvorgangs drei verschiedenen Anzeigen, wobei das Gerät zwischen „Mittlerem Bereich“, „Präapikalen Bereich“ und „Apikalen Bereich“ unterscheidet.

1) Mittlerer Bereich:

Im mittleren Bereich zeigt Propex die Bewegung des Instruments durch zwei vertikale Pfeile an. Ein nach apikal gerichteter Pfeil oder ein nach koronal gerichteter Pfeil zeigen an, ob das Instrument in den Kanal eingeführt oder aus dem Kanal entfernt wird.

2) Präapikaler Bereich

Als präapikalen Bereich definiert Propex den Bereich 2mm bis 3mm vor dem Apex. Wird dieser Bereich erreicht, so gibt das Gerät ein akustisches Warnsignal in Form von zwei Signaltönen ab. Zudem erscheinen zwei blinkende horizontale Pfeile auf dem Display

3) Apikaler Bereich

Der apikale Bereich ist zur visuellen Kontrolle der Bewegung des Instruments in 10 Segmente unterteilt, die willkürlich von 0,9 bis 0,0 (Apex) durchnummeriert sind.

Bei Überschreitung des Apex erscheint ein rotes Licht als Warnsignal

Als Stromversorgung verwendet ProPex einen NiMH Akku 3,6 V. Eine Anzeige für den Ladezustand befindet sich auf dem Display [10].

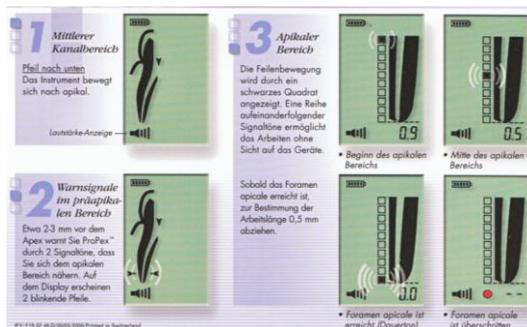


Abb. 8: Propex – Darstellung des apikalen Bereichs

### 5.1.3. Gerätebeschreibung Raypex 4 (VDW GmbH, München)

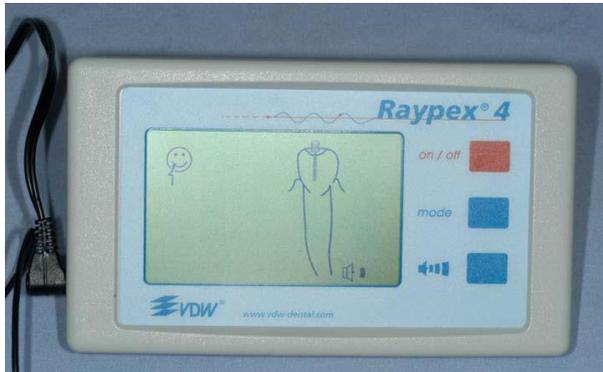


Abb. 9: Endometriegerät Raypex 4

Auch dieser Apexlokalisator arbeitet wie die eben beschriebenen Modelle nach der Impedanzquotientenmethode. Auch hier dienen Lippenclip und Instrumentenklemme, in die ein Wurzelkanalinstrument geeigneter ISO-Größe eingespannt wird, als Elektroden. Wird das Instrument in den Kanal eingebracht, zeigt das Gerät den Instrumentenvorschub im gesamten Kanal an. Wenn die Feile auf dem im Display angezeigten Zahn am unteren Ende angekommen ist, erscheint eine Zoom-Anzeige, die die Lage des Instruments im unteren Drittel des Wurzelkanals anzeigt. Die Zoom-Anzeige dient der separaten Darstellung des letzten apikalen Abschnitts und soll laut Firmenprospekt den Instrumentenvorschub bis zur maximalen Konstriktion in Zehnerschritten anzeigen. Die Skalierung stellt keine metrische Einteilung dar. Akustische Signale unterstützen die optische Anzeige und verändern sich bei Annäherung an die Konstriktion. Der letzte Balken zeigt an, dass die Konstriktion erreicht ist. Bewegt man das Instrument weiter apikalwärts, erscheint eine rote Warnleuchte, die das Verlassen des Wurzelkanals anzeigt. Das optische Warnsignal wird akustisch unterlegt [12].

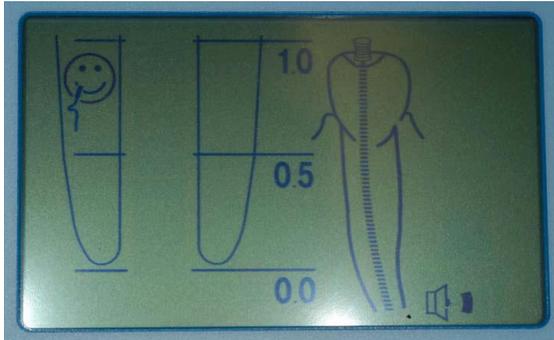


Abb. 10: Raypex 4 – Zoomanzeige mit Darstellung der Skalierung

## 5.2. Untersuchungsgut

An der Studie nahmen insgesamt 12 Patienten im Alter von 21 bis 69 Jahren teil. Bezüglich des Alters und der Patienten wurde keinerlei Selektion vorgenommen. Die Auswahl der Zähne geschah zufällig und nach Einverständniserklärung des Patienten. Als einziges Auswahlkriterium wurde festgelegt, dass der zu messende Zahn vorher nicht endodontologisch behandelt worden war. Im Rahmen dieser Studie wurden ausschließlich Zähne verwendet, die aus parodontologischen, kieferorthopädischen oder prothetischen Gründen zur Extraktion vorgesehen waren. Für die Studie wurden insgesamt 25 extraktionswürdige Zähne herangezogen und von ursprünglich 37 Wurzelkanälen wurden 29 in die Auswertung einbezogen. Von der Auswertung ausgeschlossen wurden Zähne, deren Wurzelkanäle obliteriert waren oder deren Auswertung nicht möglich war, da es bei der Extraktion zu einer Fraktur der Wurzelspitze oder des okklusalen Referenzpunktes kam. Des Weiteren wurden die Wurzelkanäle, deren Sondierbarkeit mit einem Wurzelkanalinstrument der Größe ISO 08 nicht durchgehend möglich war, ebenfalls von der Auswertung ausgeschlossen. In einigen Fällen war die Durchführung der Messung nicht möglich, weil kein reproduzierbarer Wert ermittelt werden konnte oder die Anzeige zu sehr schwankte. Auch diese Messungen wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Insgesamt mussten drei Messungen aufgrund von Wurzelfraktur, zwei Messungen

wegen Obliteration und 3 Messungen aufgrund mangelnder Reproduzierbarkeit des Messergebnisses von der Auswertung ausgeschlossen werden. Gemessen und ausgewertet wurden insgesamt 29 Wurzelkanäle. Dabei handelte es sich um 20 Kanäle von einwurzigen Zähnen und 9 Kanäle von mehrwurzigen Zähnen.

Für 17 Zähne fiel die, vor Messbeginn durchgeführte Vitalitätsprüfung positiv aus, in 12 Fällen war sie negativ.

In Darstellung und Auswertung der Messergebnisse wurden die gemessenen Zähne in Untergruppen eingeteilt:

**Gruppe I:** Vitale Zähne (n=17)

**Gruppe II:** Avitale Zähne (n=12)

**Gruppe III:** Einwurzige Zähne (n=20)

**Gruppe IV:** Mehrwurzige Zähne (n=9)

### **5.3. Praktische Vorgehensweise bei der endometrischen Messung**

Zu Beginn der Untersuchung wurde mittels CO<sub>2</sub>- Schnees eine Vitalitätsprüfung des Zahns durchgeführt und das Ergebnis vermerkt. Nach der Vitalitätsprüfung wurde eine Infiltrations- oder Leitungsanästhesie des betreffenden Zahnes vorgenommen. Nach dem Entfernen von metallischen Füllungen und metallischem Zahnersatz zum Ausschluss von dadurch bedingten Fehlmessungen wurde der Zahn trepaniert. Nach dem Anlegen einer endodontischen Zugangskavität wurde vorsichtig exstirpiert. Es wurden keine besonderen Maßnahmen zur Trocknung des Kanals getroffen. Vor der Messung wurde nun ein okklusales Plateau präpariert, um einen genau definierten koronalen Referenzpunkt zu schaffen und die Messungen damit reproduzierbar zu machen.

Anschließend wurden die Messungen entsprechend den Herstellerangaben nacheinander mit den Geräten RootZX, Raypex und Propex durchgeführt. Als Messelektrode wurden K-Feilen der ISO-Grösse 08 verwendet. Als Markierung des

Referenzpunktes kamen ausschließlich Metallstopper mit festem Sitz am Instrument zum Einsatz, um Ungenauigkeiten durch Verrutschen des Stoppers beim Entfernen der Feile aus dem Kanal auszuschließen. Mit jedem Gerät wurde die Feile nun bis zur Anzeige 1 vorgeschoben, und der Punkt wurde mittels Metallstopper markiert. Anschließend wurde die Feile aus dem Kanal entfernt, die Länge mit Hilfe einer digitalen Schiebelehre mit einer Genauigkeit von 0,1 mm abgelesen und im Versuchsprotokoll vermerkt. Nach der gleichen Methode erfolgte die Messung am Anzeigewert 0,5 und 0 (=Apex). Für jeden Wert wurde die Messung dreimal wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu prüfen. Nach Abschluss der Messungen wurde der Zahn mit höchster Sorgfalt extrahiert und die Wurzelspitzen auf Vollständigkeit hin überprüft. Die extrahierten Zähne wurden bis zur weiteren Untersuchung in Behältern mit physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Auf dem Versuchsprotokoll wurde neben dem Patientendaten und dem Ergebnis der Vitalitätsprüfung, der Zahntyp sowie die Anzahl der Wurzeln und Kanäle vermerkt. Weiterhin die gemessene Arbeitslänge und der zugehörige Referenzpunkt.

### **5.4. Vorgehensweise bei der Konstriktionsbestimmung mittels Querschnittsberechnung**

Um nun eine Aussage über die Genauigkeit der untersuchten Apexlokalisatoren treffen zu können, musste die exakte Lage der apikalen Konstriktion bestimmt werden. Dies erfolgte mithilfe von Querschnittsflächenprofilen im Bereich der Wurzelspitze. Der erste Schritt dieses Versuchsabschnitts war die exakte Bestimmung der Zahnlänge mittels einer digitalen Schiebelehre, mit deren Hilfe die Länge des Zahnes auf 1/10 mm genau bestimmt wurde. Gemessen wurde der Abstand vom okklusalen/ inzisalen Plateau bis zur Wurzelspitze. Anschließend wurde das Untersuchungsgut in 1/10 mm Schritten abgetragen und das dabei entstehende Querschnittsprofil fotografiert und vermessen. Um die Exaktheit der einzelnen Schleifvorgänge zu garantieren, wurde eine eigens für diese Untersuchung konstruierte Schleifvorrichtung verwendet. Da im Rahmen dieser in vivo

Untersuchung auch eine vergleichende in vitro Studie am gleichen Untersuchungsgut durchgeführt wurde, wurden die Probenzähne nun in Plexiglasträgern einpolymerisiert. Mittels dieser Plexiglasträger konnten die Zähne mit zwei Schrauben mit der Wurzelspitze nach oben in der Schleifapparatur fixiert werden. An der Oberseite der Apparatur befand sich eine horizontal angeordnete Stahlplatte mit einer 2cm großen Bohrung. Durch diese Öffnung hindurch konnte der Zahn mittels einer Inbusschraube an der Unterseite der Vorrichtung, die einen vertikalen Vorschub des Plexiglasträgers zusammen mit dem Zahn ermöglichte, auf und ab bewegt werden.



*Abb. 11: Schleifvorrichtung*



*Abb. 12: Zahn in Plexiglasträger einpolymerisiert*

Über dieser Öffnung wurde eine auf 1/100 mm genau messende Messuhr angebracht, zu deren Eichung die Metallebene als Nullpunkt herangezogen wurde. Bei Vorschub des Plexiglasträgers sowie des Zahnes wurde ebenfalls der Stempel der Messuhr bewegt, so dass man den Fortschritt des Vorschubs genau messen konnte.

Auf diese Art konnte man die genauen 1/10 mm pro Schleifvorgang und damit die 1/10 mm Schritte der einzelnen Querschnitte garantieren. War nun also genau ein 1/10 mm Vorschub erreicht, wurde der Zahn mittels eines Schleifklotzes mit Schleifpapier der Körnung 1000 bis zur Metallebene ( Nullebene) reduziert und die Reduktion mit der Messuhr überprüft.

Auf diese Weise wurden in 1/10 mm Schritten alle Wurzeln von apikal abgetragen. Nach jedem Schleifvorgang wurde der Kanalquerschnitt mit einer Spiegelreflex-Digitalkamera (Nikon D1), die über ein Auflichtmikroskop (Zeiss Stemi SV6) angeschlossen war, unter 25-facher Vergrößerung fotografiert. Die so gewonnenen Bilder wurden direkt auf einen Computer übertragen, an dem mit Hilfe des Programms „Image Tool“ die Fläche der einzelnen Wurzelkanalquerschnittsprofile [in  $\mu\text{m}^2$ ] bestimmt werden konnte. Da das Computerprogramm zur Berechnung der Fläche ein Referenzgröße benötigt, wurde Millimeterpapier durch das Mikroskop in der gleichen Vergrößerung wie später die Zahnwurzeln abgelichtet und an Hand des Bildes der Maßstab bestimmt. Die Schleif- und Messvorgänge wurden so oft pro Wurzel wiederholt, bis drei Querschnittsflächen über dem Minimum erreicht waren. Dieses auf diese Weise bestimmte Minimum wurde als die tatsächlich engste Stelle im Wurzelkanal betrachtet, also als die apikale Konstriktion.

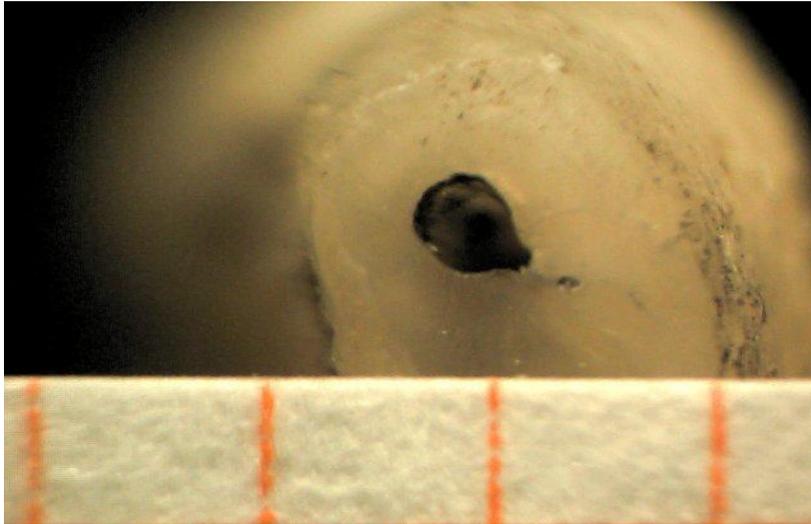


Abb. 13: Ablichtung des Wurzelkanalquerschnitts durch das Mikroskop

Um nun die Länge vom inzisalen/ okklusalen Plateau bis zum kleinsten Querschnitt zu erhalten, multiplizierte man 1/10 mm mit der Anzahl der Schleifvorgänge bis zum Erreichen des minimalen Querschnittsprofils und subtrahierte diesen Wert von der anfangs mit der Schiebelehre bestimmten Gesamtlänge der Wurzel.

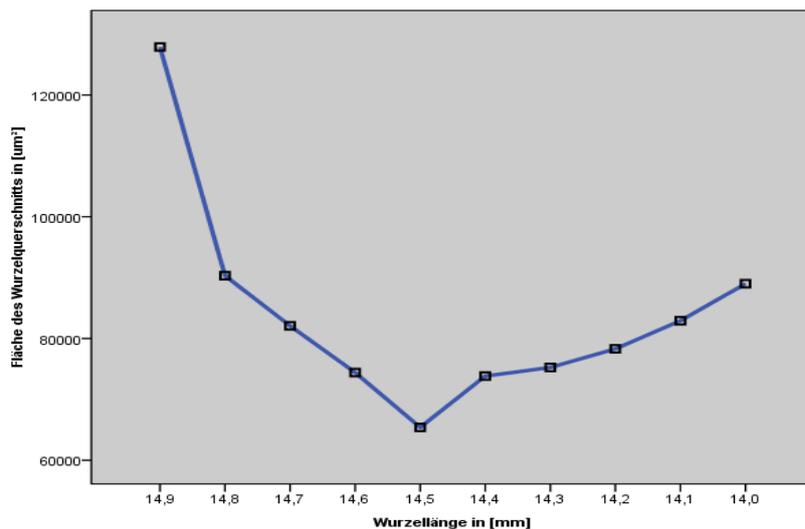
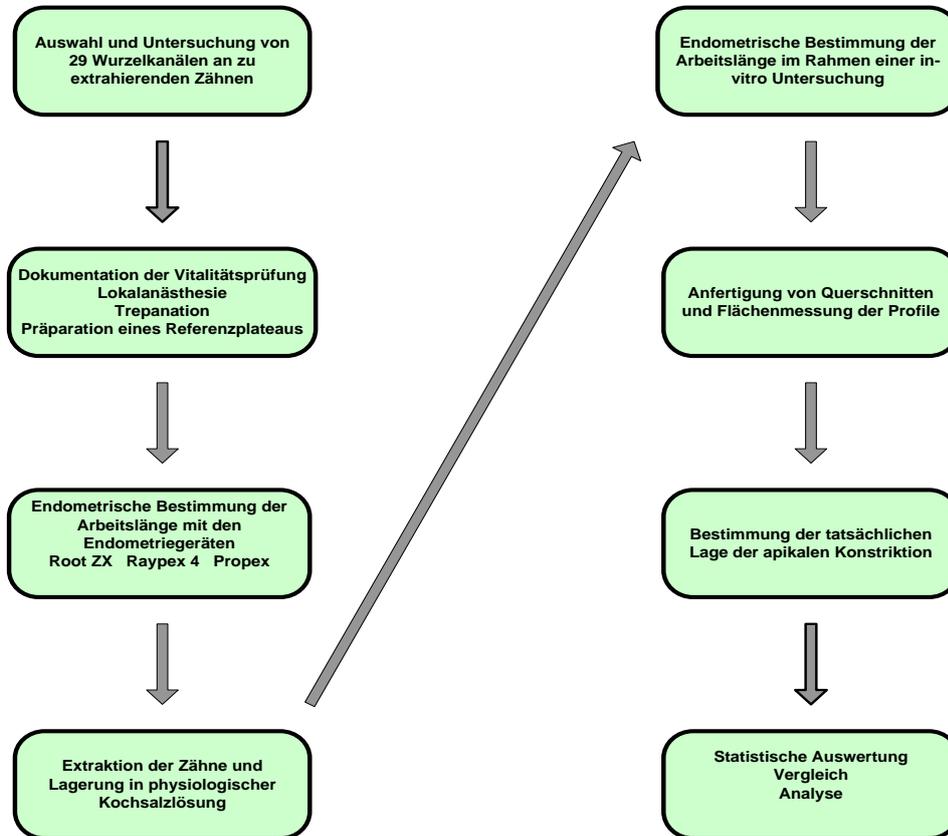


Abb. 14: Wurzelkanalquerschnittsprofil Zahn Nummer 19

### 5.5. Versuchsaufbau (schematisch)



## 6. Ergebnisse

### 6.1. Verteilung der absoluten und relativen Häufigkeiten

Die folgenden Tabellen zeigen für die drei verschiedenen Geräte die ermittelten absoluten, also die tatsächlichen Fallzahlen, und die relativen Häufigkeiten, also die prozentuale Verteilung, für die Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Kanallänge. Dies wurde jeweils für die Skalenwerte 0,0, 0,5 und 1,0 auf der Anzeige des jeweiligen Endometers durchgeführt.

In allen Tabellen ist in den Spalten die Entfernung der Instrumentenspitze bis zur apikalen Konstriktion [in mm] angegeben. Negative Werte stehen für zu kurz bestimmte Arbeitslängen, d.h. die Instrumentenspitze lag bei Anzeige „0,0/0,5/1,0“ des jeweiligen Gerätes koronal, positive Werte bezeichnen Messungen, welche zu Überinstrumentierung geführt hätten, d.h. die Instrumentenspitze lag bei entsprechender Anzeige apikal der Konstriktion. Der Stichprobenumfang beträgt für alle aufgeführten Messungen  $n=29$ . Bei der Festlegung der Grenzbereiche (hier:  $\pm 0,25\text{mm}$ ) wurde darauf geachtet, dass einerseits eine hohe Präzision der statistischen Analyse erreicht werden konnte und andererseits eine gewisse Praxisrelevanz gewahrt bleibt. Eine Genauigkeit von  $0,1\text{mm}$  ist von keinem Behandler immer umsetzbar und nicht erforderlich, allerdings reicht eine Genauigkeit von  $\pm 1\text{mm}$ , wie sehr häufig in ähnlichen Studien verwendet, heutzutage nicht mehr aus um den endodontischen Behandlungserfolg langfristig zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde bei folgender Analyse der Grenzbereich auf  $\pm 0,25\text{mm}$  festgelegt.

**6.1.1. Relative und absolute Häufigkeiten aller Messungen**

	Root ZX [in %]			Raypex 4 [in %]			Propex [in %]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	3,4	3,4	0	0	3,4	3,4	3,4	20,7
$-0,75 > x > -1$	0	3,4	10,3	3,4	3,4	3,4	6,9	6,9	3,4
$-0,5 > x > -0,75$	13,8	10,3	13,8	17,3	20,7	24,1	3,4	17,2	13,8
$-0,25 > x > -0,5$	10,3	17,2	13,8	10,3	13,8	13,8	13,8	10,3	6,9
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>41,4</b>	<b>37,9</b>	<b>31,0</b>	<b>41,4</b>	<b>34,5</b>	<b>27,6</b>	<b>37,9</b>	<b>34,5</b>	<b>27,6</b>
$0,25 < x < 0,5$	20,7	13,8	13,8	10,3	13,8	10,3	17,3	3,4	6,9
$0,5 < x < 0,75$	13,8	10,3	3,4	17,3	13,8	13,8	13,8	24,1	13,8
$0,75 < x < 1$	0	3,4	3,4	0	0	0	0	0	6,9
$x > 1$	0	0	6,9	0	0	3,4	3,4	0	0

*Tabelle 1: Prozentuale Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (relative Häufigkeit)*

	Root ZX [n=29]			Raypex 4 [n=29]			Propex [n=29]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	1	1	0	0	1	1	1	6
$-0,75 > x > -1$	0	1	3	1	1	1	2	2	1
$-0,5 > x > -0,75$	4	3	4	5	6	7	1	5	4
$-0,25 > x > -0,5$	3	5	4	3	4	4	4	3	2
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
$0,25 < x < 0,5$	6	4	4	3	4	3	5	1	2
$0,5 < x < 0,75$	4	3	4	5	4	4	4	7	4
$0,75 < x < 1$	0	1	3	0	0	0	0	0	2
$x > 1$	0	0	1	0	0	1	1	0	0

*Tabelle 2: Fallzahlen der Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (absolute Häufigkeit)*

Bei den Geräten Root ZX und Raypex 4 liegt der Wert für die exakte Apexlokalisierung am Skalenwert 0 bei 41,4 % während Propex im Vergleich leicht abfällt und zu 37,9 % den Apex genau lokalisiert. Es fällt auf, dass Root ZX den Apex in keinem Fall mehr als 0,75 mm verfehlt, Raypex 4 ihn in nur 3,4 % zu kurz angibt. Propex fällt in dieser Hinsicht mit 10,3 % zu kurz gemessenen und 3,4 % zu lang gemessenen Ergebnissen deutlich ab.

Beim Anzeigepunkt 0,5 liegen alle drei Geräte relativ gleich auf. Der Apex wurde bei Raypex 4 und Propex in 34,5 Prozent der Fälle exakt bestimmt, mit dem Root ZX sogar in 37,9 Prozent der Fälle. Auch beim Betrachten der Streuung der Messwerte ergeben sich keine auffälligen Unterschiede für die verschiedenen Geräte.

Das Gerät Root ZX liegt bei Lokalisationen der Konstriktion am Skalenwert 1 mit 31% höher als Propex und Raypex 4 mit jeweils 27,6% der Messungen. Allerdings misst Root ZX auch in 10,3% der Fälle mehr als 0,75mm zu lang, so dass in diesen Fällen der Apex schon bei der Anzeige 1,0 erreicht würde. Propex hingegen misst in 20,7 % der Fälle deutlich zu kurz (mehr als 1,0 mm) im Vergleich zu 3,4 % der Fälle der Messungen mit den Geräten Root ZX und Raypex 4.

**6.1.2. Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an vitalen Zähnen (Gruppe I)**

	Root ZX [in %]			Raypex 4 [in %]			Propex [in %]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	0	0	0	0	0	0	0	17,6
$-0,75 > x > -1$	0	0	0	0	0	0	5,9	5,9	5,9
$-0,5 > x > -0,75$	5,9	11,8	11,8	11,8	11,8	17,6	5,9	5,9	5,9
$-0,25 > x > -0,5$	11,8	0	11,8	23,5	17,6	11,8	17,6	17,6	11,8
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>47,1</b>	<b>58,8</b>	<b>47,1</b>	<b>52,9</b>	<b>47,1</b>	<b>47,1</b>	<b>41,2</b>	<b>47,1</b>	<b>29,4</b>
$0,25 < x < 0,5$	29,4	17,6	17,6	5,9	17,6	17,6	11,8	0	11,8
$0,5 < x < 0,75$	5,9	11,8	5,8	5,9	5,9	0	17,6	23,5	17,6
$0,75 < x < 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x > 1$	0	0	5,8	0	0	5,8	0	0	0

*Tabelle 3: Prozentuale Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (relative Häufigkeit)*

	Root ZX [n=17]			Raypex 4 [n=17]			Propex [n=17]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	0	0	0	0	0	0	0	3
$-0,75 > x > -1$	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$-0,5 > x > -0,75$	1	2	2	2	2	3	1	1	1
$-0,25 > x > -0,5$	2	0	2	4	3	2	3	3	2
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
$0,25 < x < 0,5$	5	3	3	1	3	3	2	0	2
$0,5 < x < 0,75$	1	2	1	1	1	0	3	4	3
$0,75 < x < 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x > 1$	0	0	1	0	0	1	0	0	0

*Tabelle 4: Fallzahlen der Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (absolute Häufigkeit)*

Die exakte Apexlokalisierung gelingt hier mit dem Gerät Raypex 4 am besten und liegt bei 52,9%. Das Gerät Root ZX liegt mit 47,1% noch vor Propex, welches den Apex mit 41,2% am wenigsten häufig anzeigt. Auffällig ist hier, dass Raypex 4 in nur 11,8% zu lang misst und kein Wert kürzer als 0,75mm vom Apex entfernt liegt. Bei Root ZX kommt es immerhin bei 29,4% zu einer leichten Überinstrumentierung bis zu 0,25mm und zu 5,9% zu einer zu langen Messung bis zu 0,75mm. Bei dem Gerät Propex liegen die Messungen bei immerhin 17,6 % bis zu 0,75mm zu lange. Auffällig ist, dass in dieser Messreihe das Root ZX von allen drei Geräten am häufigsten zu lange Werte misst. Am Skalenwert „0,5“ messen Propex und Raypex zu 47,1% exakt. Das Root ZX bestimmt den Wert mit 58,8% deutlich häufiger genau. Mit dem Root ZX fallen 29,4% der Messungen zu lange aus und 11,8% zu kurz. Mit Raypex werden in 23,5% der Fälle zu lange Werte gemessen und mit 29,4% der 0,5-Wert zu früh angezeigt. Auffallend ist, dass mit Propex zu 23,5% der Anzeigenpunkt 0,5 um bis zu 0,75mm zu lang gemessen wird und in 5,9% eine zu kurze Messung von bis zu 1,0 mm feststellbar ist. Die Streubreite der Anzeigeergebnisse des Propex nimmt zu.

Gegenüber den Geräten Root ZX und Raypex 4, bei denen der Anzeigenwert mit einer Genauigkeit von 47,1% exakt angezeigt wird, fällt das Propex deutlich ab. Der angestrebte Wert wird nur in 29,4% der Fälle auch erreicht. Ebenso häufig fällt die Messung zu lang und sogar mit 41,2% zu kurz aus. Wie schon beim Wert 0,5 angedeutet, nehmen die Streuung und die Streubreite der Messwerte zu. Dies zeigt sich vor allem darin, dass 17,6% der Werte über einen Millimeter zu kurz ausfallen. Auffallend ist auch, dass bei Root ZX und bei Raypex 4 in 5,8% der Fälle am Anzeigenpunkt 1 die Messungen zu lang ausfallen. Allerdings wird bei diesen beiden Endometriegeräten in einem erweiterten Toleranzbereich von +/- 0,5mm, einer in der Praxis durchaus akzeptable Präzision, in 76,5% der Messungen die Engstelle des Kanals exakt bestimmt. Mit Propex dagegen in nur 53,0% der Fälle. Auch hier bleibt Propex klar hinter den beiden Vergleichsgeräten zurück.

**6.1.3. Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an avitalen Zähnen (Gruppe II)**

	Root ZX [in %]			Raypex 4 [in %]			Propex [in %]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	8,3	8,3	0	0	8,3	8,3	8,3	25,0
$-0,75 > x > -1$	0	8,3	25,0	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	0
$-0,5 > x > -0,75$	25,0	8,3	16,7	25,0	33,3	33,3	0	33,3	25,0
$-0,25 > x > -0,5$	8,3	41,7	16,7	8,3	8,3	16,7	8,3	0	0
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>33,3</b>	<b>8,3</b>	<b>8,3</b>	<b>25,0</b>	<b>16,7</b>	<b>0</b>	<b>33,3</b>	<b>16,7</b>	<b>25,0</b>
$0,25 < x < 0,5$	8,3	8,3	8,3	0	8,3	0	25,0	8,3	0
$0,5 < x < 0,75$	25,0	8,3	0	33,3	25,0	33,3	8,3	25,0	5,9
$0,75 < x < 1$	0	8,3	8,3	0	0	0	0	0	11,8
$x > 1$	0	0	8,3	0	0	0	8,3	0	0

*Tabelle 5: Prozentuale Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (relative Häufigkeit)*

	Root ZX [n=12]			Raypex 4 [n=12]			Propex [n=12]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	1	1	0	0	1	1	1	3
$-0,75 > x > -1$	0	1	3	1	1	1	1	1	0
$-0,5 > x > -0,75$	3	1	2	3	4	4	0	4	3
$-0,25 > x > -0,5$	1	5	2	1	1	2	1	0	0
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
$0,25 < x < 0,5$	1	1	1	0	1	0	3	1	0
$0,5 < x < 0,75$	3	1	0	4	3	4	1	3	1
$0,75 < x < 1$	0	1	1	0	0	0	0	0	2
$x > 1$	0	0	1	0	0	0	1	0	0

*Tabelle 6: Fallzahlen der Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (absolute Häufigkeit)*

Root ZX misst mit 33,3% Häufigkeit die Konstriktion exakt. Jeweils 25% der Werte liegen jeweils zwischen 0,5 mm und 0,75mm vor der Konstriktion oder gehen darüber hinaus. Raypex gibt mit 33,3% am häufigsten die Engstelle des Wurzelkanals 0,5-0,75mm zu lang an, 41,6 % der Messwerte fallen bis zu 1,0 mm zu kurz aus. Propex liefert zu 33,3% die richtige Lokalisation, liegt allerdings in 8,3% der Fälle über 1mm vor der Konstriktion. In ebenfalls 8,3% der Fälle würde sich eine Überinstrumentierung über einen Millimeter ergeben.

Am Anzeigenpunkt 0,5 fällt auf, dass keines der drei Testgeräte zuverlässig, also in akzeptabler Häufigkeit den Wert exakt angibt. Mit dem Gerät Propex wird mit 33,3% am häufigsten, ein Wert angegeben, der tatsächlich 0,5mm-0,75mm vor diesem liegt. In einem Viertel der Fälle wird der Anzeigenwert erst 0,5mm bis 0,75mm nach der tatsächlichen Lokalisation angezeigt. Exakte Lokalisation wird in nur 16,7% der Messungen erreicht. Das gleiche Bild liefert die Messreihe mit Raypex 4. Auch hier erfolgt eine exakte Lokalisation in nur 16,7% der Messungen.

Root ZX hingegen gibt mit 41,7 % Häufigkeit einen Wert bis zu 0,5mm vor dem tatsächlichen Wert an. In nur 8,3% der Fälle stimmt der gemessene Wert mit der Konstriktion überein.

Am Anzeigenpunkt 1 sind bei keinem der Testgeräte eindeutige Maxima zu eruieren. Propex zeigt zwar den Wert 1 in 25% der Fälle exakt an, liegt aber genauso häufig über 1,0 mm vor diesem. Bei Raypex 4 liegen immerhin 83,3% der Werte in einem Bereich zwischen 0,75mm zu kurz oder zu lang.

**6.1.4. Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an einwurzligen Zähnen (Gruppe III)**

	Root ZX [in %]			Raypex 4 [in %]			Propex [in %]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	0	0	0	0	0	5,0	5,0	25,0
$-0,75 > x > -1$	0	5,0	15,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0
$-0,5 > x > -0,75$	10,0	10,0	20,0	15,0	20,0	20,0	0	20,0	15,0
$-0,25 > x > -0,5$	15,0	15,0	10,0	20,0	15,0	20,0	10,0	10,0	5,0
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>35,0</b>	<b>35,0</b>	<b>35,0</b>	<b>50,0</b>	<b>35,0</b>	<b>30,0</b>	<b>50,0</b>	<b>40,0</b>	<b>35,0</b>
$0,25 < x < 0,5$	20,0	15,0	15,0	0	15,0	10,0	15,0	0	10,0
$0,5 < x < 0,75$	20,0	15,0	5,0	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	5,0
$0,75 < x < 1$	0	5,0	0	0	0	0	0	0	5,0
$x > 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Tabelle 7: Prozentuale Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (relative Häufigkeit)*

	Root ZX [n=20]			Raypex 4 [n=20]			Propex [n=20]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	0	0	0	0	0	1	1	5
$-0,75 > x > -1$	0	1	3	1	1	1	1	1	0
$-0,5 > x > -0,75$	2	2	4	3	4	4	0	4	3
$-0,25 > x > -0,5$	3	3	2	4	3	4	2	2	1
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>7</b>
$0,25 < x < 0,5$	4	3	3	0	3	2	3	0	2
$0,5 < x < 0,75$	4	3	1	2	2	3	3	4	1
$0,75 < x < 1$	0	1	0	0	0	0	0	0	1
$x > 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Tabelle 8: Fallzahlen der Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (absolute Häufigkeit)*

Mit einer Häufigkeit von 50% wird die Konstriktion mit Propex exakt bestimmt. Root ZX zeigt diese nur in 35% der Fälle und Raypex 4 in 50% der Fälle genau an. Im Grenzbereich zwischen +0,5mm und -0,5mm liegen allerdings 70% der mit Root ZX gemessenen Werte richtig, 70% der mit Raypex 4 ermittelten und 75% der von Propex angezeigten Werte.

Am Skalenwert 0,5 ergeben sich keine allzu deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Geräten. Die Werte für die exakte Bestimmung des Anzeigewertes liegen mit Root ZX und Raypex 4 bei 35% und bei Anwendung von Propex mit 40% ein wenig über diesen Werten.

Auch wenn man die relativen Häufigkeiten für die exakte Messung des Anzeigenpunktes „1“ betrachtet, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testgeräten. Bei Propex sowie bei Root ZX ergeben sich 35% genaue Messungen, Raypex 4 liegt mit 30% knapp darunter. Im erweiterten Grenzbereich ergeben sich 95% Genauigkeit für Raypex 4, 85% für Root ZX und nur noch 75% für Propex. Der im Vergleich abfallende Wert des Propex kommt durch die immerhin zu 25% auftretende zu kurze Messung zustande, bei der der gemessene Wert mehr als 1mm vom tatsächlichen Wert abweicht.

**6.1.5. Relative und absolute Häufigkeiten der Messungen an mehrwurzigen Zähnen (Gruppe IV)**

	Root ZX [in %]			Raypex 4 [in %]			Propex [in %]		
	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
$x < -1$	0	11,1	11,1	0	0	11,1	0	0	11,1
$-0,75 > x > -1$	0	0	0	0	0	0	11,1	11,1	11,1
$-0,5 > x > -0,75$	22,2	11,1	0	22,2	22,2	33,3	11,1	11,1	11,1
$-0,25 > x > -0,5$	0	22,2	22,2	11,1	11,1	0	22,2	11,1	11,1
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>55,5</b>	<b>44,4</b>	<b>22,2</b>	<b>22,2</b>	<b>33,3</b>	<b>22,2</b>	<b>11,1</b>	<b>22,2</b>	<b>11,1</b>
$0,25 < x < 0,5$	22,2	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	22,2	11,1	0
$0,5 < x < 0,75$	0	0	0	33,3	22,2	11,1	11,1	33,3	33,3
$0,75 < x < 1$	0	0	11,1	0	0	0	0	0	11,1
$x > 1$	0	0	22,2	0	0	11,1	11,1	0	0

Tabelle 9: Prozentuale Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (relative Häufigkeit)

	Root ZX [n=9]			Raypex 4 [n=9]			Propex [n=29]		
	0	0,5	1	0	0,5	10	0	0,5	1
$x < -1$	0	1	1	0	0	1	0	0	1
$-0,75 > x > -1$	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$-0,5 > x > -0,75$	2	1	0	2	2	3	1	1	1
$-0,25 > x > -0,5$	0	2	2	1	1	0	2	1	1
<b><math>-0,25 &lt; x &lt; 0,25</math></b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
$0,25 < x < 0,5$	2	1	1	1	1	1	2	1	0
$0,5 < x < 0,75$	0	0	0	3	2	1	1	3	3
$0,75 < x < 1$	0	0	1	0	0	0	0	0	1
$x > 1$	0	0	2	0	0	1	1	0	0

Tabelle 10: Fallzahlen der Verteilung der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlich gemessener Länge (absolute Häufigkeit)

Betrachtet man die Messwerte an mehrwurzigen Zähnen so stellt sich das Root ZX als das präziseste Gerät heraus, zumindest bei Auswertung der exakten Apexbestimmung beim Skalenwert 0. Es bestimmt die Konstriktion mit 55,5% Häufigkeit. Dem gegenüber stehen 22,2 % bei Raypex und Propex. Bei Verwendung von Propex würde zu 44,4% überinstrumentiert, in 11,1 % der Fälle sogar deutlich um mehr als eine halben Millimeter.

Die größte Häufigkeit bezüglich exakter Lokalisation am Wert 0,5 wird wiederum von Root ZX mit 44,4% erreicht. Die beiden anderen Endometer liegen mit 33,3% knapp dahinter. Auffallend ist, dass mit Root ZX eher zu kurze Messungen angezeigt werden, während bei Raypex 4 33,3 % der Werte zu lang gemessen wurden und bei Propex sogar 44,4%.

Weder bei Raypex 4 und Root ZX, noch bei Propex lassen sich hier klare Maxima erkennen. Bezüglich Genauigkeit der Messungen am Skalenwert 1,0 an mehrwurzigen Zähnen ist hier keine klare Aussage zu treffen, da die Streuung der Werte mit allen Geräten groß. Auffällige Unterschiede zwischen den Geräten sind nicht vorhanden.

### **6.2. Graphische Darstellung der relativen Häufigkeiten**

In nachfolgenden Diagrammen soll nun anhand der graphischen Aufbereitung der relativen Häufigkeiten der Verlauf der verschiedenen Messungen dargestellt werden, um herauszufinden, ob sich bei der Messung mit den verschiedenen Endometriegeräten beziehungsweise den Schwankungen der Messergebnisse Auffälligkeiten ergeben.

Zu diesem Zweck werden in folgendem die Messverläufe mithilfe von Liniendiagrammen graphisch dargestellt. Es wird jeweils der Messverlauf für jedes einzelne Gerät graphisch aufgearbeitet. Für jedes Messgerät wurden fünf

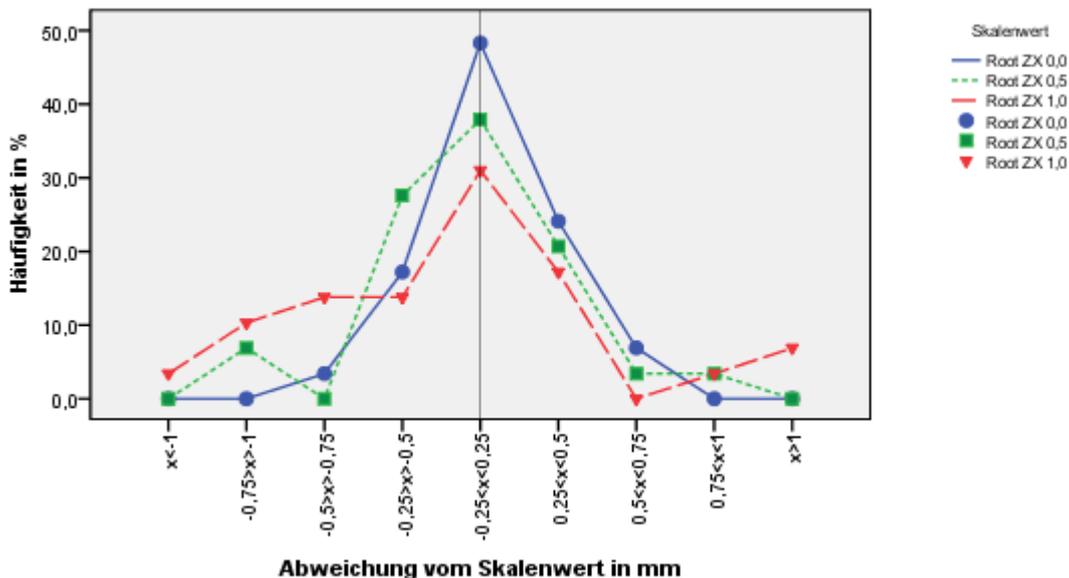
Diagramme für die verschiedene Gruppen angefertigt, um etwaige Unterschiede herausarbeiten zu können.

Jedes der Diagramme besteht aus drei Linien, die jeweils für die Anzeigepunkte 0, 0,5 und 1 des jeweiligen Gerätes stehen (siehe `Legende`).

Die x-Achse gibt die Entfernung der Messwerte vom Foramen physiologicum an. Der Wert 0 bedeutet somit die exakte Bestimmung der Konstriktion, negative Werte stehen für zu kurze Messungen und positive Werte für zu lange.

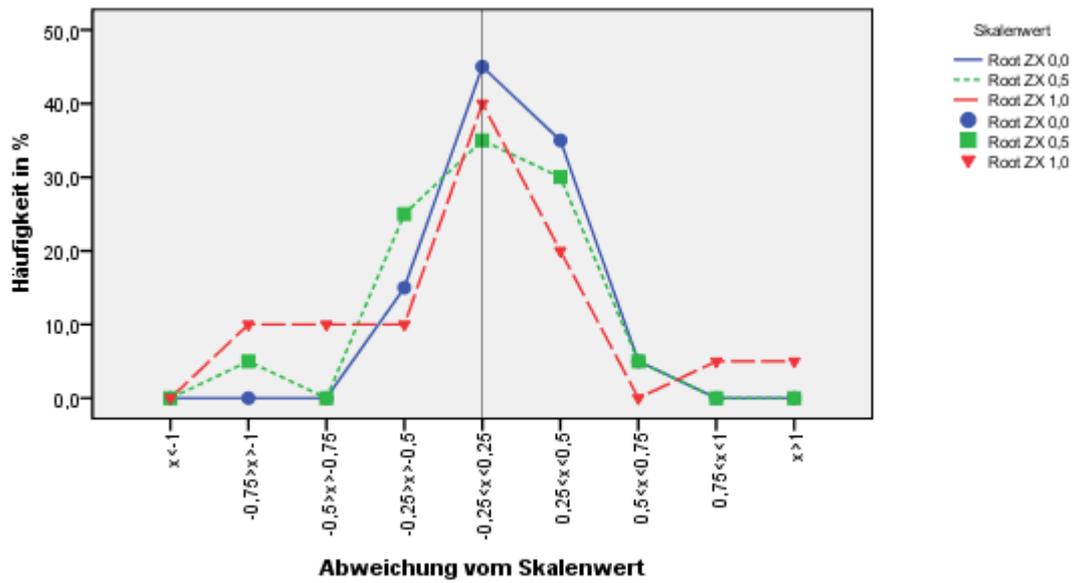
Die y-Achse gibt die relative Häufigkeit an, die sich für verschieden Entfernungen ergibt.

Mit Hilfe dieser Darstellungen soll untersucht werden, ob es im Zusammenhang mit der Skaleneinheit an den einzelnen Endometern eine Links- bzw. Rechtsverschiebung bezüglich der relativen Häufigkeit der Messwerte an beziehungsweise um die apikale Konstriktion gibt. Zudem soll untersucht werden, ob Unterschiede in den jeweiligen Gruppen auftreten.

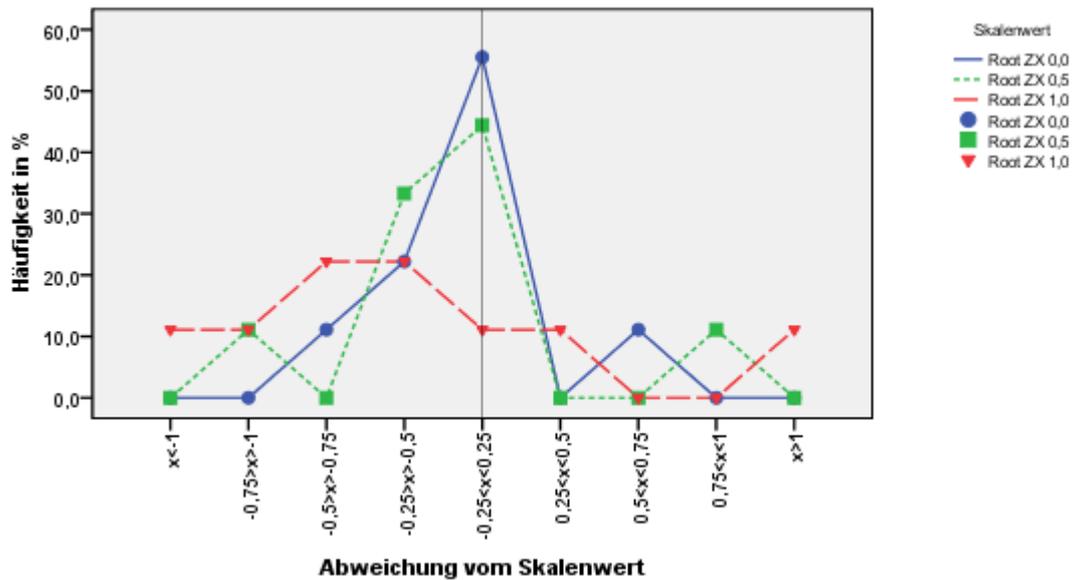


**Graph 1:** Darstellung der relativen Häufigkeiten aller mit Root ZX gemessenen Werte

## Ergebnisse

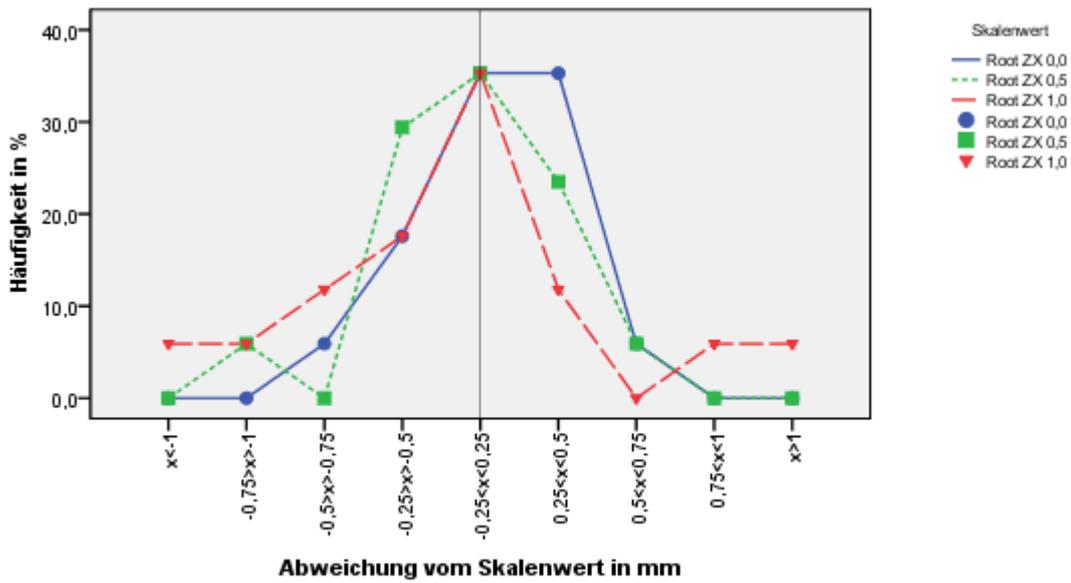


**Graph 2:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Root ZX Messungen an einwurzligen Zähnen

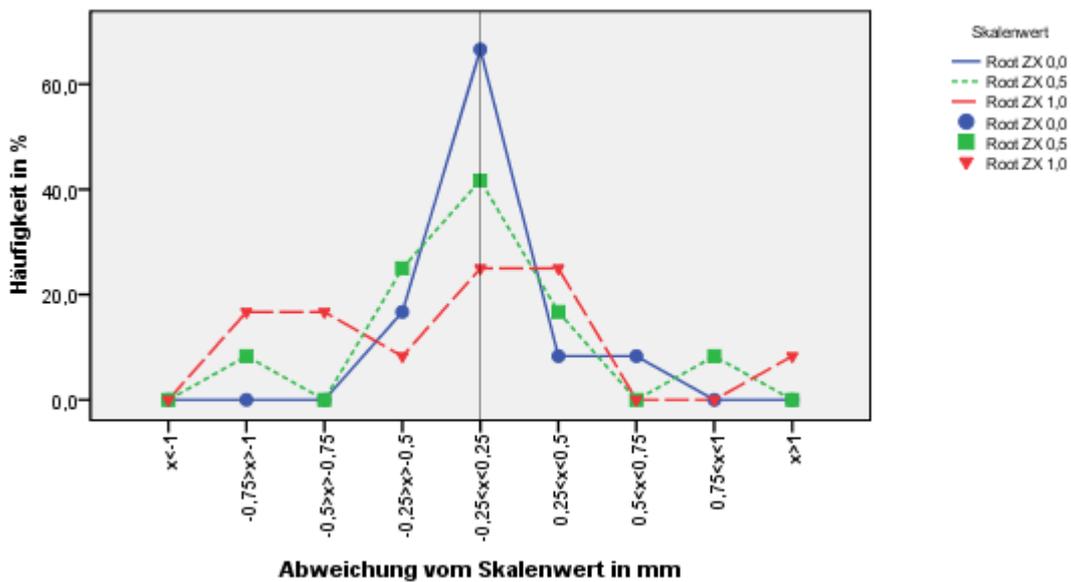


**Graph 3:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Root ZX Messungen an mehrwurzligen Zähnen

## Ergebnisse



**Graph 4:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Root ZX Messungen an vitalen Zähnen

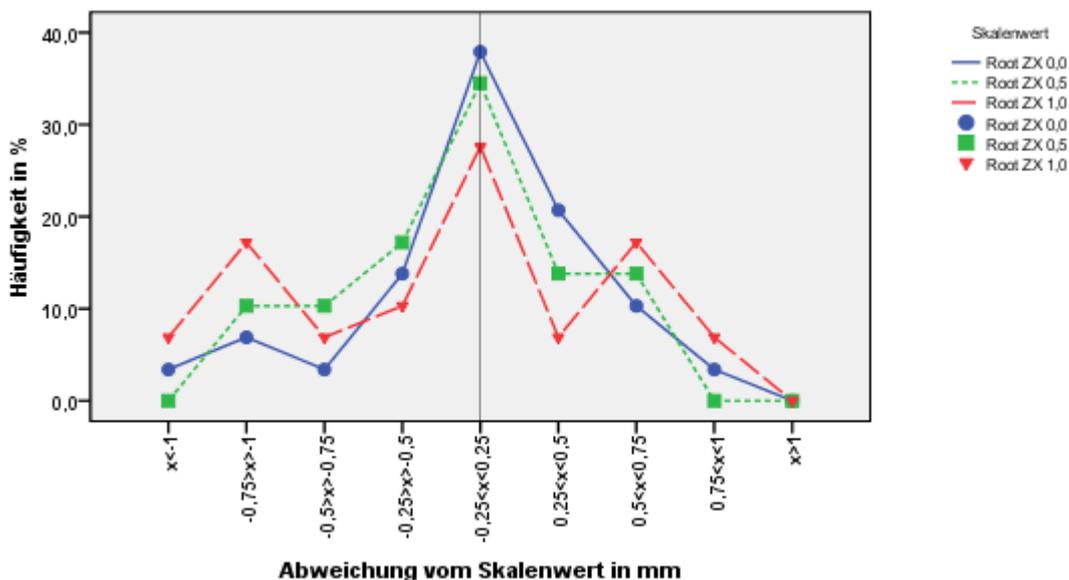


**Graph 5:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Root ZX Messungen an avitalen Zähnen

Insgesamt betrachtet liegen die Untersuchungsergebnisse sehr eng zusammen. Allerdings lässt sich eine Linksverschiebung der Diagramme erkennen. Zwar liegen die Maxima mit Ausnahme von Graph 5 allesamt an der Konstriktion, es kommt aber zu einer Anhäufung der Werte im negativen Bereich, je weiter der Skalenwert vom Nullpunkt entfernt liegt. Tendenziell misst Root ZX umso häufiger zu kurz, je weiter der Anzeigenwert 0 entfernt liegt.

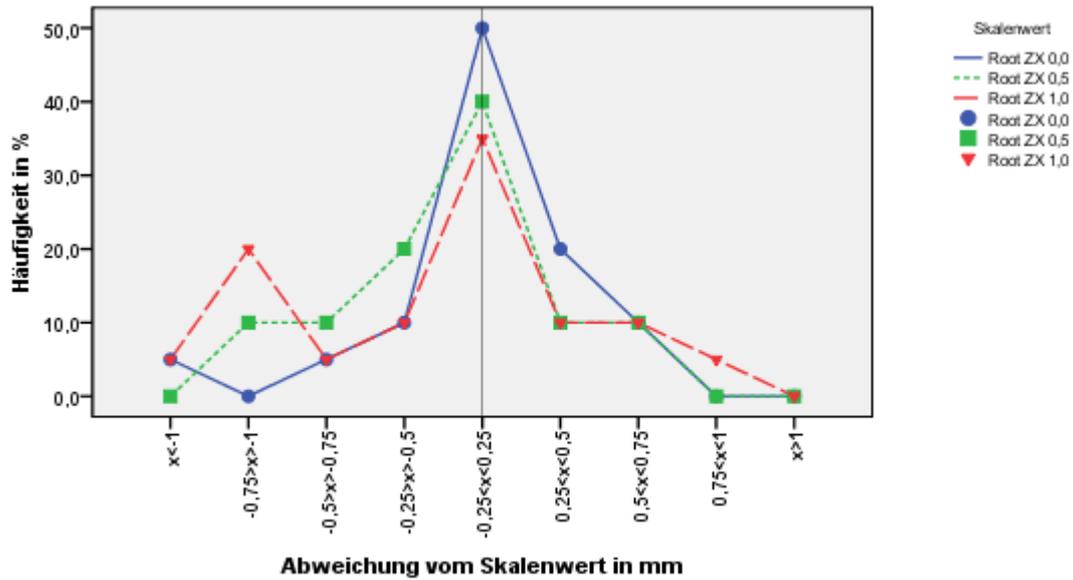
Gleichzeitig lässt sich eine Tendenz zu größeren Abweichungen erkennen, die ebenso mit der Entfernung vom Nullpunkt korreliert. Besonders deutlich wird dieses Ergebnis in Graphik 3. Hier verschieben sich sogar die Maxima in den negativen Bereich. Ansonsten lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen feststellen.

Graph 6 bis 10 zeigen für das Gerät Propex den prozentualen Anteil der Abweichungen vom jeweiligen Skalenwert sowie die Maximalwerte in den verschiedenen Gruppen I-IV.

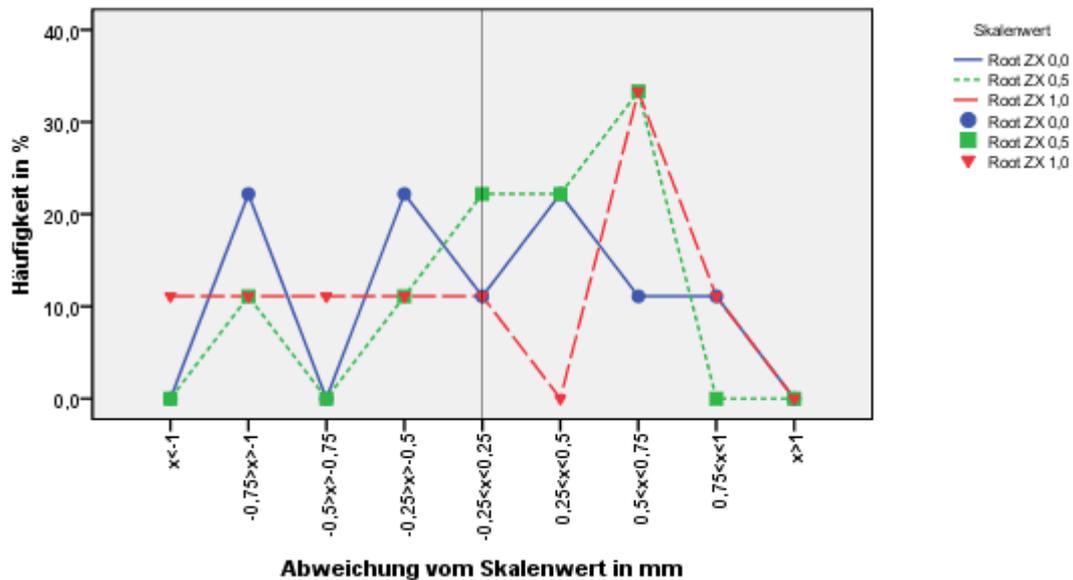


**Graph 6:** Darstellung der relativen Häufigkeiten aller mit Propex gemessenen Werte

## Ergebnisse

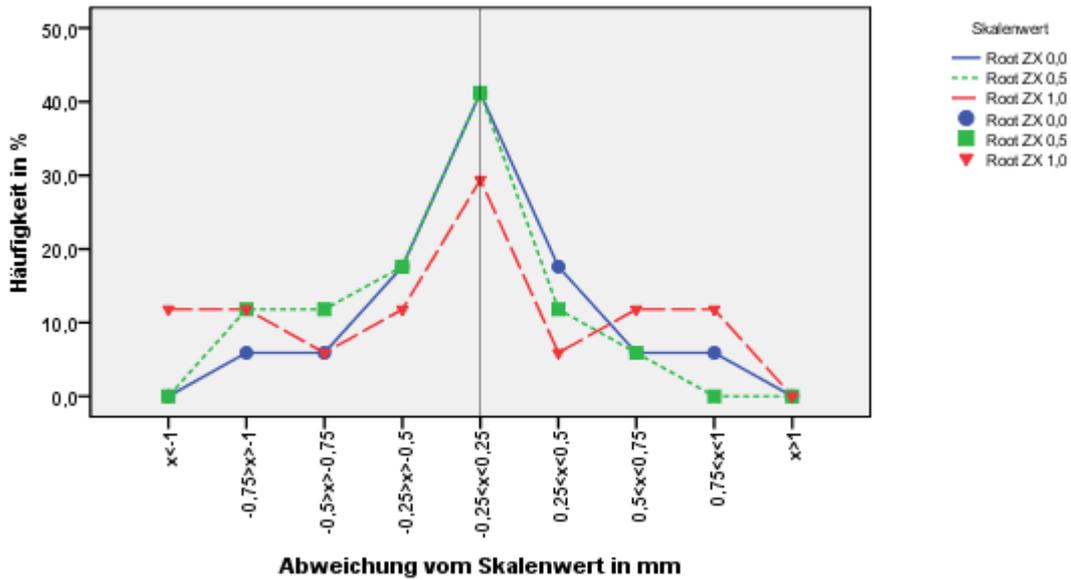


**Graph 7:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Propex Messungen an einwurzligen Zähnen

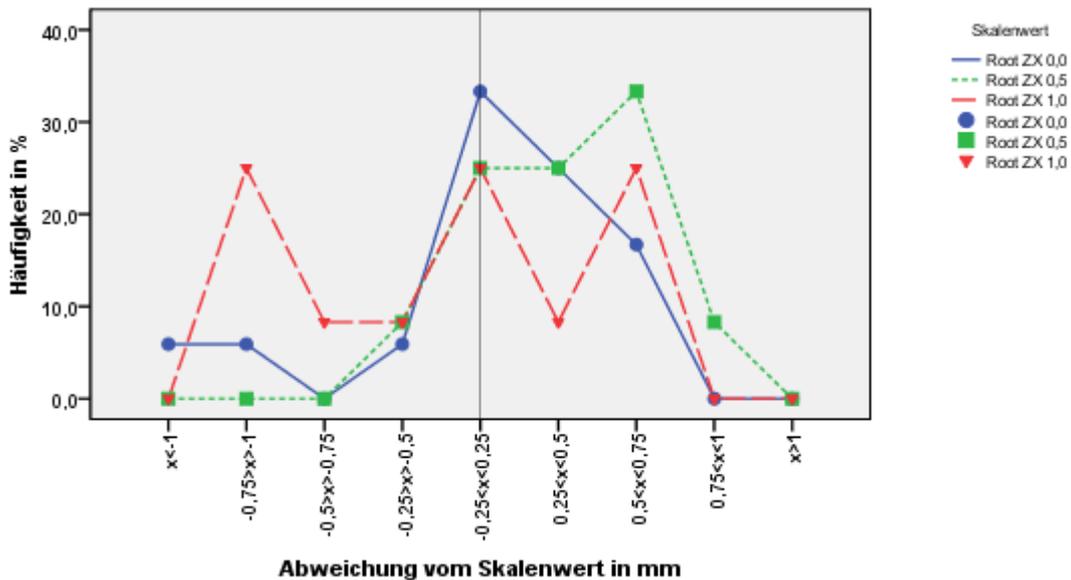


**Graph 8:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Propex Messungen an mehrwurzligen Zähnen

## Ergebnisse



**Graph 9:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Propex Messungen an vitalen Zähnen

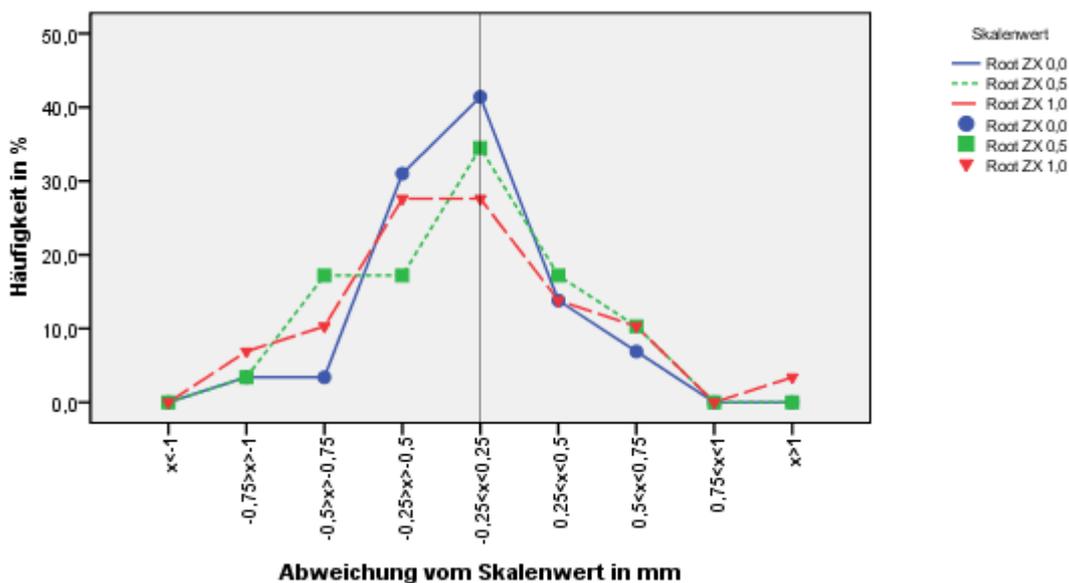


**Graph 10:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Propex Messungen an avitalen Zähnen

Graph 6 zeigt, dass die Häufigkeit von exakten Messungen am Skalenwert 0 am größten ist, allerdings überwiegt auch an den anderen Skalenwerten die exakte Messung. Eine echte Linksverschiebung lässt sich nicht erkennen. Generell lässt sich mit Propex eine Tendenz zu eher zu kurzen Messwerten feststellen, vor allem am Skalenwert 1.

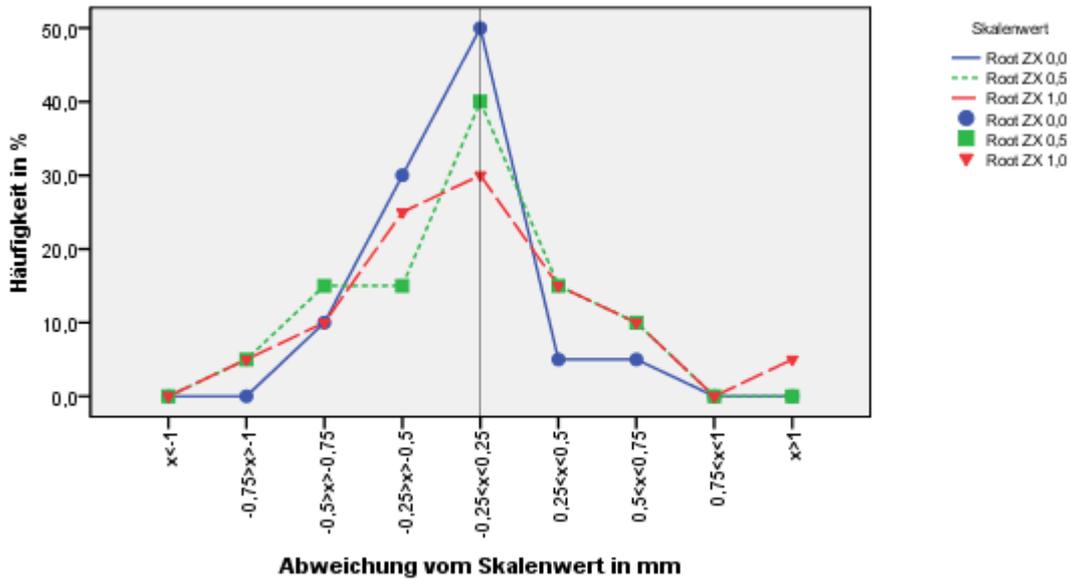
Auffallend ist zudem die in den Gruppen der devitalen sowie der mehrwurzligen Zähne deutliche Zunahme der Schwankungen und auch der überproportionale Anstieg weniger exakter Messungen in diesen Gruppen. So finden sich zum Beispiel in Graphik 8 die Maximalwerte allesamt im positiven Bereich, das heißt bei zu langen Messungen. In Graphik 10 kann am Nullpunkt noch von einem nachvollziehbaren Messverlauf gesprochen werden, während an den beiden anderen Anzeigepunkten keinerlei Tendenzen ersichtlich sind.

Graph 11 bis 15 zeigen den prozentualen Anteil der Abweichungen vom jeweiligen Skalenwert sowie die Maximalwerte in den verschiedenen Untersuchungsgruppen für die Messreihe mit dem Endometriegerät Raypex 4.

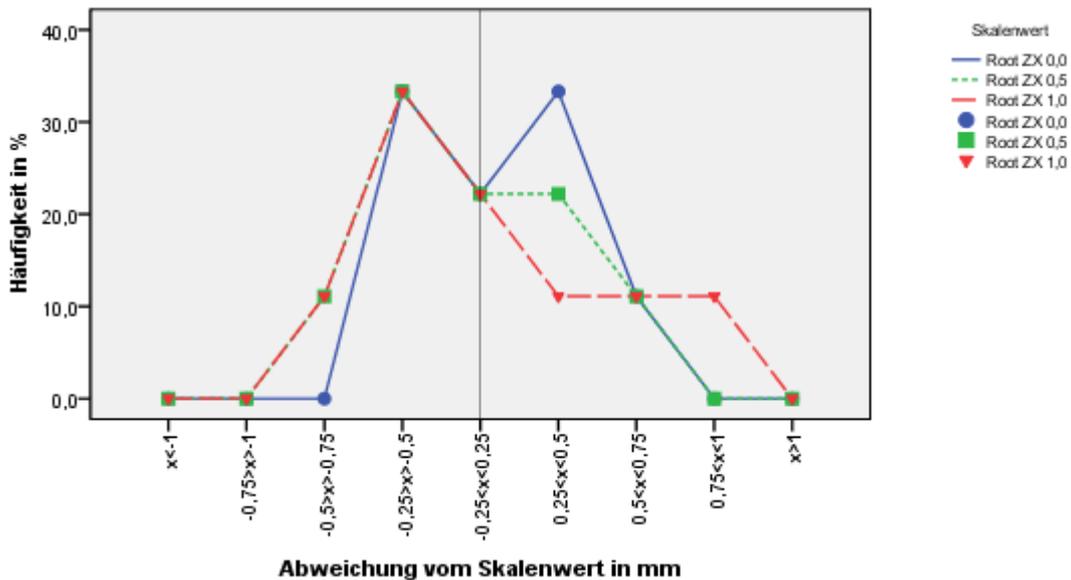


**Graph 11:** Darstellung der relativen Häufigkeiten aller mit Raypex 4 gemessenen Werte

## Ergebnisse

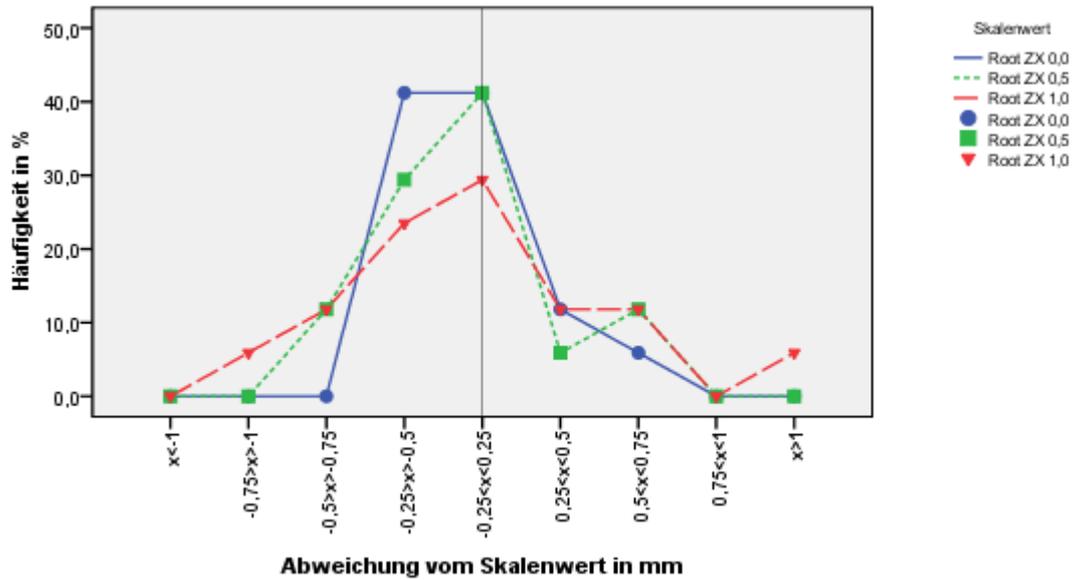


**Graph 12:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Raypex 4 Messungen an einwurzligen Zähnen

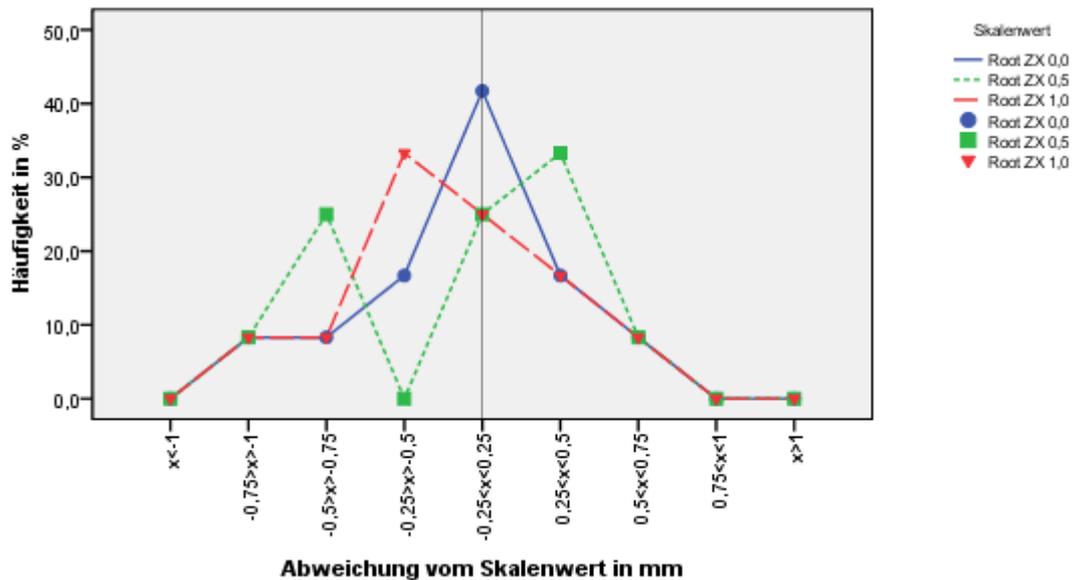


**Graph 13:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Raypex 4 Messungen an mehrwurzligen Zähnen

## Ergebnisse



**Graph 14:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Raypex4 Messungen an vitalen Zähnen



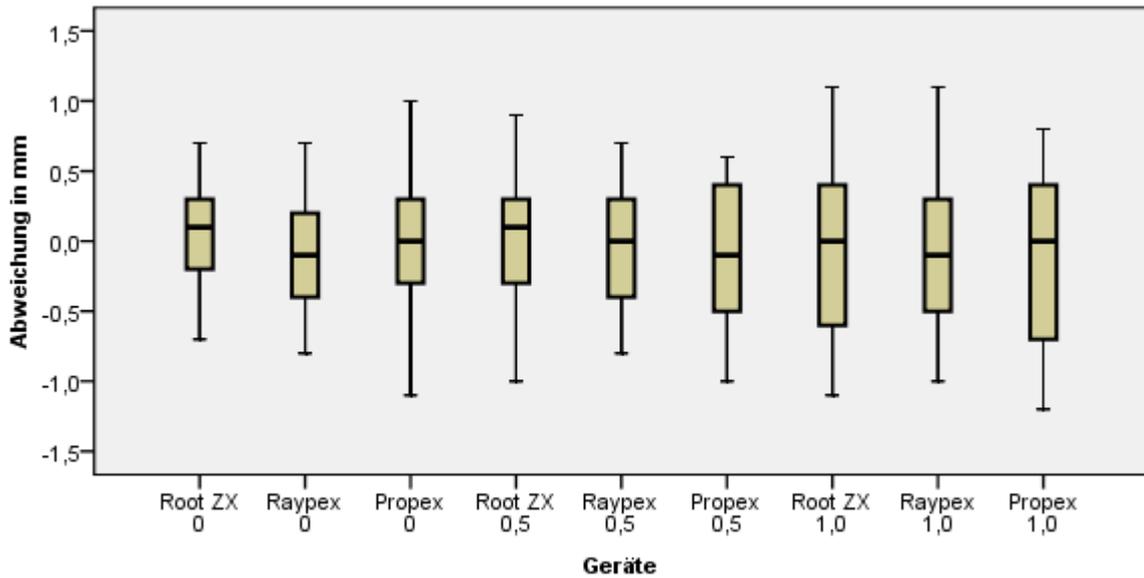
**Graph 15:** Darstellung der relativen Häufigkeiten der Raypex 4 Messungen an vitalen Zähnen

Ein Trend zu einer Links- oder Rechtsverschiebung lässt sich auch bei der Messreihe mit Raypex 4 nur schwer ausmachen. Graphik 11 zeigt eine nahezu symmetrische Verteilung der relativen Häufigkeiten, wobei das Maximum an allen Skalenwerten bei exakter Messung liegt und zu kurze oder zu lange Ergebnisse mit nahezu gleicher Häufigkeit auftreten. Ein ähnliches Bild liefern die Gruppen der Messung an vitalen Zähnen und an einwurzligen Zähnen, wobei zu kurze Messungen häufiger auftreten, je weiter der Skalenwert vom Nullpunkt entfernt ist. Die Messreihe an mehrwurzligen Zähnen weist eine echte Linksverschiebung auf, wobei die Messung am Nullpunkt am häufigsten zu lange ausfällt. In Gruppe V unterliegt die Messung wiederum den größten Schwankungen.

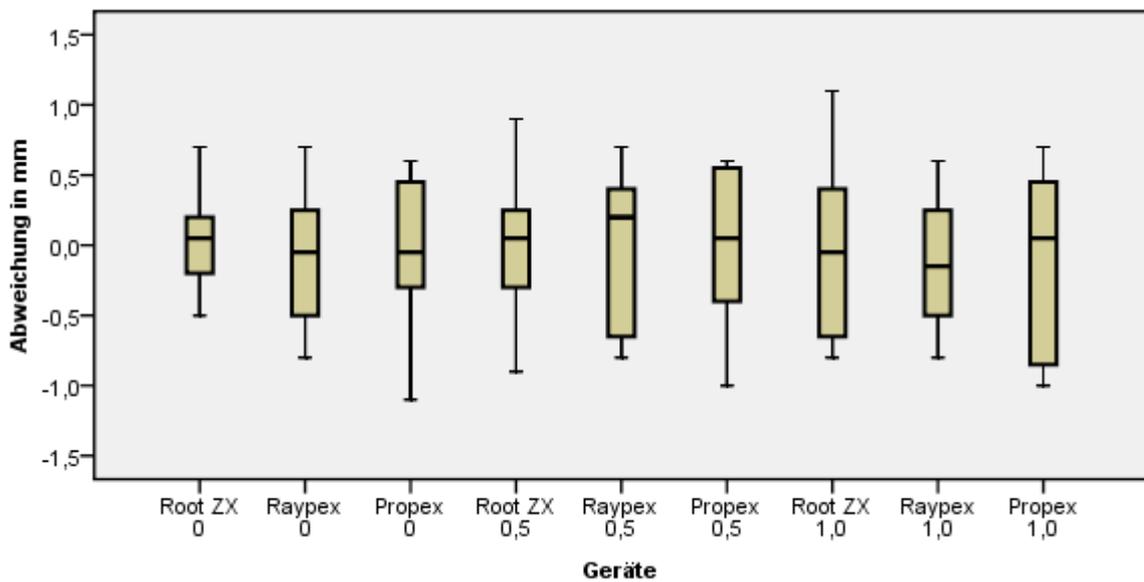
### **6.3. Darstellung der mittleren Abweichung anhand von Boxplots**

Folgende Boxplot Diagramme zeigen die Abweichungen der Messwerte von der apikalen Konstriktion und sollen zudem deren Verteilung graphisch darstellen. An der y-Achse kann die Abweichung in Millimetern abgelesen werden, der Wert 0 steht für die apikale Konstriktion. Negative Werte bezeichnen nach Definition eine Lage des Messpunktes koronal der Konstriktion, positive Werte zeigen eine apikale Lage an, d.h. in diesem Fall wurde überinstrumentiert.

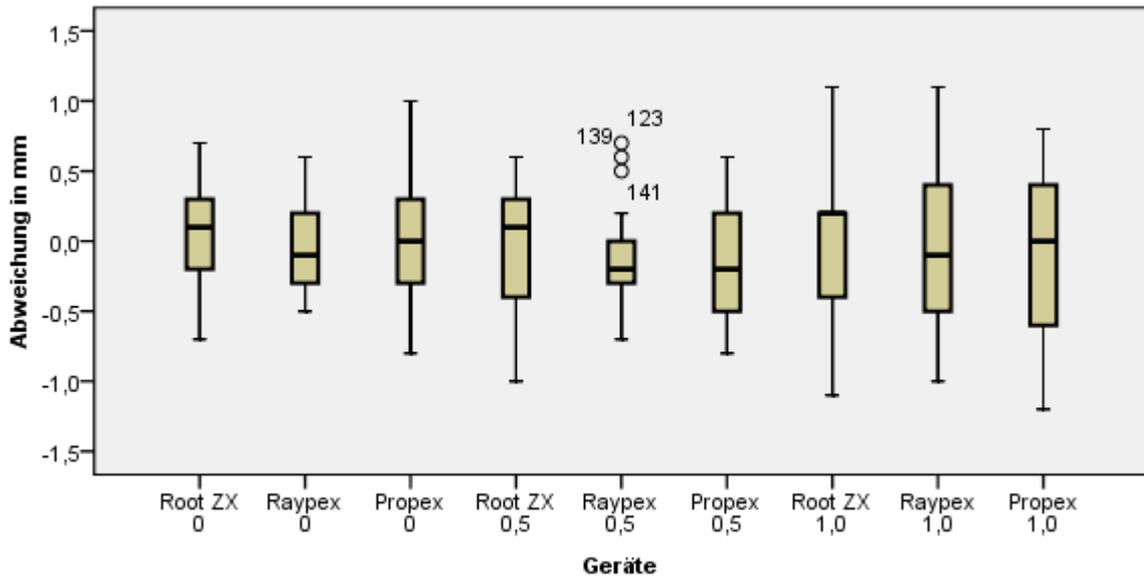
Die Boxplots werden jeweils für die drei Skalenwerte 0, 0,5 und 1 und die drei Testgeräte nebeneinander dargestellt und sollen einen Eindruck darüber vermitteln in welchem Bereich die Daten liegen und wie sich die Daten über diesen Bereich verteilen. Ausreißerwerte, die per definitionem noch keine Extremwerte darstellen, werden mit einem Kreis nebenstehender Fallnummer aus der Datenbank gekennzeichnet.



**Graph 16:** Mittlere Abweichungen von den Skalenwerten (alle gemessenen Werte  $n=29$ )



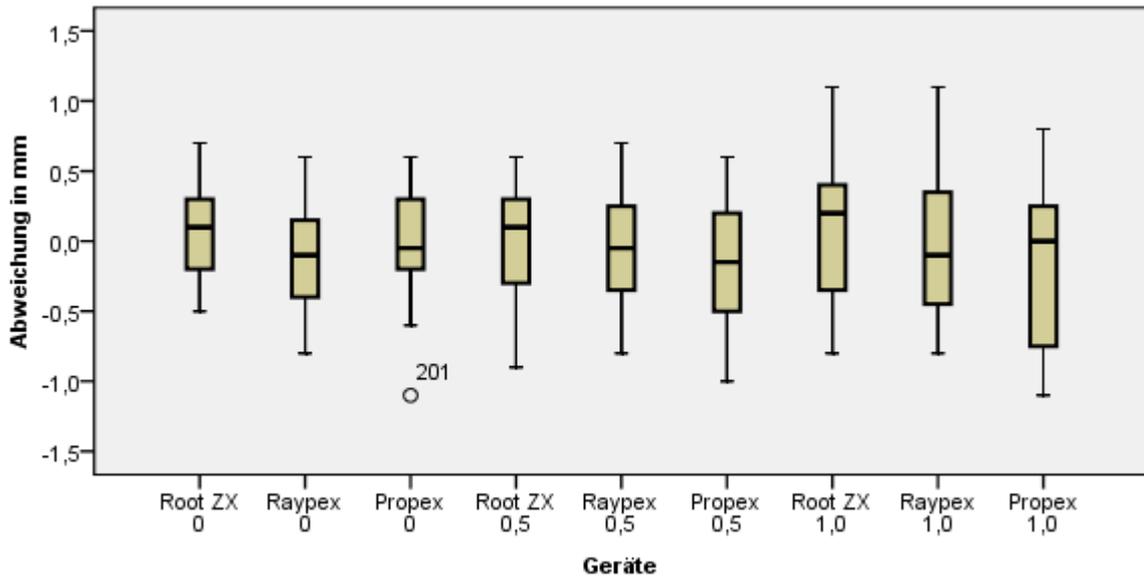
**Graph 17:** Mittlere Abweichungen von den Skalenwerten (avitale Zähne  $n=12$ )



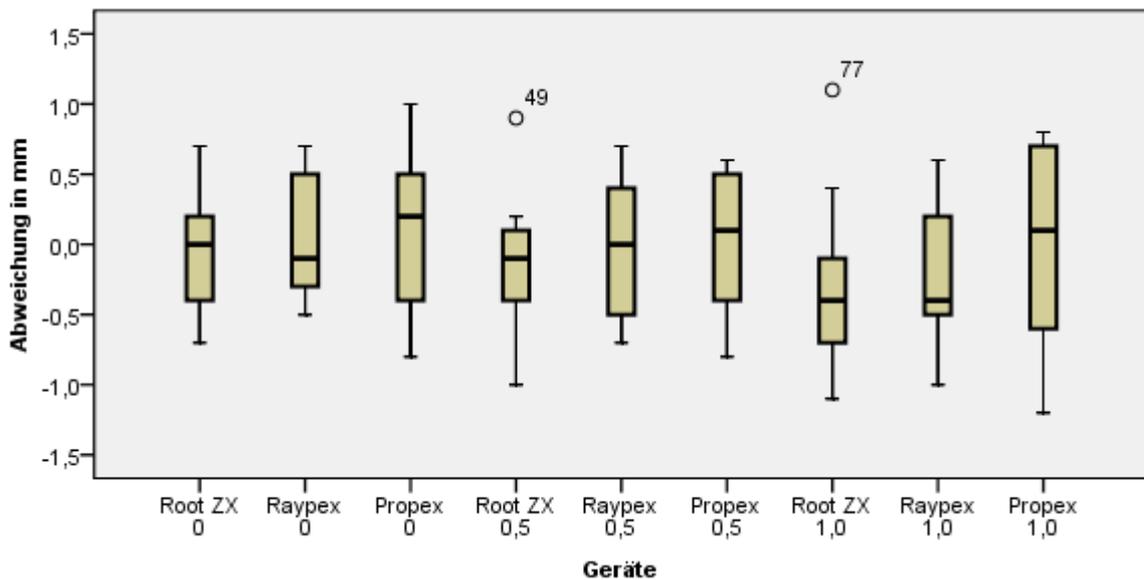
**Graph 18:** Mittlere Abweichungen von den Skalenwerten ( vitale Zähne n=17)

Im Vergleich der Messungen an vitalen und avitalen Zähnen erkennt man, dass die Streuung der Werte in der Gruppe der devitalen Zähne bei allen Geräten und Skalenwerten deutlich höher ist, erkennbar an der zunehmenden Breite der Box. Nur Root ZX am Skalenwert 0 misst in beiden Gruppen fast mit identischer Verteilungsspanne.

## Ergebnisse



**Graph 19:** Mittlere Abweichungen von den Skalenwerten (einwurzlige Zähne n=20)



**Graph 20:** Mittlere Abweichungen von den Skalenwerten (mehrwurzlige Zähne n=9)

Auch beim Vergleich der Messungen der Gruppen der einwurzligen und der mehrwurzigen Zähne, wie in Graph 19 und 20 dargestellt, zeigt sich, dass die

Streubreite bei einwurzligen Zähnen deutlich niedriger ausfällt. Wiederum ist die Diskrepanz aber bei Root ZX am niedrigsten.

## 6.4. Statistische Auswertung

### 6.4.1. Unterschiede zwischen den Endometriegeräten (statistische Signifikanz)

In Folgendem soll ermittelt werden, inwieweit die gemessenen Werte an den verschiedenen Skalenwerten statistisch signifikante Unterschiede aufweisen.

Hierfür wurden zum einen alle gemessenen Werte an den drei Skalenwerten „0“, „0,5“ und „1“ der drei Geräte untereinander verglichen und mithilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben die statistische Signifikanz  $p$  ermittelt (siehe Tabelle 11).

Ebenso wurden die statistischen Signifikanzen zwischen den Endometriegeräten innerhalb der Gruppen I-IV ermittelt. Der folgenden Auswertung wurde 0,05 als Signifikanzniveau festgelegt: In der folgenden Tabelle sind die statistischen Kennwerte der drei Endometriegeräte aus den jeweiligen Messreihen gegenübergestellt.

	Root ZX-Propex	Root ZX-Raypex	Propex-Raypex	Gruppen
<b>p-Wert</b>	0,220	0,726	0,368	alle Zähne
	0,913	0,437	0,447	Gruppe I
	0,097	0,185	0,615	Gruppe II
	0,817	0,987	0,819	Gruppe III
	0,089	0,455	0,191	Gruppe IV

Tab. 11: Statistische Signifikanz  $p$  zwischen den Testgeräten

Tabelle 11 weist keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Geräten auf. Der Wert 0,05 wird nicht erreicht, das heißt in keinem Fall wird die Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% erreicht. Dies gilt für alle gemessenen Werte genauso wie für die einzelnen Gruppen.

#### 6.4.2. Unterschiede zwischen den Gruppen ( statistische Signifikanz)

Mittels des t-Tests für unabhängige Stichproben wurden auch die verschiedenen Gruppen hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede untersucht. Es wurde zum einen untersucht, ob sich hinsichtlich der Endometriegeräte signifikante Unterschiede zwischen den Messungen an einwurzligen und mehrwurzligen Zähnen ergeben, und zum anderen, ob die Vitalität das Messergebnis beeinflusst. In folgendem wurden die statistischen Kennwerte gegenübergestellt.

	Root ZX	Raypex	Propex	
<b>p-Wert</b>	0,619	0,153	0,030	Einwurzig/ Mehrwurzig
	0,246	0,288	0,440	Vital/Avital

*Tab.12: Statistische Signifikanz p zwischen den verschiedenen Gruppen*

Für das Gerät Propex ergab die statistische Überprüfung anhand des t-Tests für unabhängige Stichproben bezüglich der Gruppen einwurzig/mehrwurzig ein signifikantes Ergebnis ( $p=0,030$ ). Für Root ZX und Raypex 4 wies der t-Test keine signifikanten Unterschiede auf.

### 6.4.3. Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichung (Varianzanalyse)

Die weitere statistische Auswertung dieser Untersuchung erfolgte als Varianzanalyse über die drei Testgeräte. Hierfür wurden die Standardparameter, Mittelwert und Standardabweichung bestimmt. Zudem wurden die jeweiligen Minimal – und Maximalwerte aufgeführt. Ziel ist es eine Art Grenzbereich für die verschiedenen Geräte an den verschiedenen Skalenwerten zu ermitteln.

Tabelle 13 zeigt die ermittelten Werte bezogen auf alle Messungen.

	SKALENWERT	MITTELWERT/ STANDARDABWEICHUNG	MINIMUM	MAXIMUM
<b>Root ZX</b>	<b>0,0</b>	<b>0,03 ± 0,37</b>	<b>-0,7</b>	<b>0,7</b>
	0,5	-0,02 ± 0,44	-1,0	0,9
	<b>1,0</b>	<b>-0,01 ± 0,48</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,1</b>
<b>Raypex 4</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,10 ± 0,48</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,7</b>
	0,5	-0,08 ± 0,50	-0,8	0,7
	<b>1,0</b>	<b>-0,12 ± 0,66</b>	<b>-1,0</b>	<b>1,1</b>
<b>Propex</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,07 ± 0,40</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,0</b>
	0,5	-0,06 ± 0,45	-1,0	0,6
	<b>1,0</b>	<b>-0,09 ± 0,51</b>	<b>-1,2</b>	<b>0,8</b>

*Tabelle 13: Mittelwert und Standardabweichung aller Messungen mit Minima und Maxima*

Die Endometriegeräte Raypex 4 und Root ZX unterscheiden sich in ihren Messergebnissen sehr wenig. Das Endometriegerät Propex zeigt, bezogen auf die Minimal- und Maximalwerte, am Skalenwert „0“ größere Abweichungen. Die kürzesten Messungen ergaben einen Wert von 1,1mm vor der Konstriktion. Die

maximale Abweichung betrug 1,0mm. Demgegenüber bewegte sich Root ZX in einem Bereich von - 0,7mm bis 0,7mm und Raypex 4 zwischen -0,8 und 0,7. Hinsichtlich der Standardabweichung ergeben sich keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Testgeräten.

In folgenden Tabellen sind die Parameter Mittelwert und Standardabweichung (Tabelle ...), sowie deren Minimal - und Maximalwerte (Tabelle...) der verschiedenen Gruppen gegenübergestellt.

	SKALENWERT	STANDARDABWEICHUNG MINIMUM/MAXIMUM			
		Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
RootZX	0	<b>0,04 ± 0,40</b>	<b>0,02 ± 0,33</b>	<b>0,07 ± 0,34</b>	<b>-0,06 ± 0,43</b>
	0,5	-0,04 ± 0,44	0,08 ± 0,46	0,04 ± 0,40	-0,13 ± 0,53
	1	<b>-0,02 ± 0,60</b>	<b>-0,08 ± 0,60</b>	<b>0,06 ± 0,53</b>	<b>-0,28 ± 0,67</b>
Raypex 4	0	<b>-0,07 ± 0,35</b>	<b>-0,08 ± 0,46</b>	<b>-0,13 ± 0,36</b>	<b>0,04 ± 0,46</b>
	0,5	-0,09 ± 0,40	-0,01 ± 0,53	-0,07 ± 0,45	-0,04 ± 0,50
	1	<b>-0,08 ± 0,55</b>	-0,11 ± 0,47	<b>-0,40 ± 0,50</b>	<b>-0,20 ± 0,54</b>
Propex	0	<b>0,01 ± 0,45</b>	<b>-0,03 ± 0,55</b>	<b>-0,04 ± 0,41</b>	<b>0,04 ± 0,64</b>
	0,5	-0,15 ± 0,46	-0,03 ± 0,56	-0,13 ± 0,48	0,03 ± 0,55
	1	<b>-0,12 ± 0,67</b>	<b>-0,13 ± 0,66</b>	<b>-0,16 ± 0,60</b>	<b>-0,04 ± 0,79</b>

Tabelle 14: Mittelwert und Standardabweichung innerhalb der verschiedenen Gruppen

	SKALENWERT	MINIMUM/MAXIMUM							
		Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III		Gruppe IV	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
RootZX	<b>0</b>	<b>-0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>0,7</b>
	0,5	-1,0	0,6	-0,9	0,9	-0,9	0,6	-1,0	0,9
	<b>1</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,1</b>
Raypex 4	<b>0</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>
	0,5	-0,7	0,7	-0,8	0,7	-0,8	0,6	-0,7	0,7
	<b>1</b>	<b>-1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,6</b>
Propex	<b>0</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>-1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>-1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,0</b>
	0,5	-0,8	0,6	-1,0	0,6	-1,0	0,6	-0,8	0,6
	<b>1</b>	<b>-1,2</b>	<b>0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>-1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>-1,2</b>	<b>0,8</b>

Tabelle 15: Minimal- und Maximalwerte innerhalb der verschiedenen Gruppen

Bezogen auf die Mittelwerte und die Standardabweichung können keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Geräten festgestellt werden. Auch innerhalb der Gruppen ergeben sich vergleichbare Ergebnisse. Hinsichtlich der Minimal- und Maximalabweichung zeigt sich bei Messungen mit Propex die größte Streuung. Diese reicht zum Beispiel bei Messungen an vitalen Zähnen von -0,8 bis 1,0, bei Raypex 4 von -0,5 bis 0,6 und bei Root ZX von -0,7 bis 0,7. Ähnliches lässt sich in den Gruppen II, III und IV beobachten.

#### 6.4.4. Verteilung der Messwerte im Grenzbereich $\pm 0,5$ mm

Vergleicht man die Studien in der Literatur, so werden meist die Werte  $\pm 0,5$  mm um die apikale Konstriktion als Grenzwerte für eine klinisch akzeptable Messgenauigkeit

## Ergebnisse

gefordert. In Folgendem soll die Messgenauigkeit der verwendeten Endometriegeräte für diesen Bereich gezeigt werden. Die Tabellen geben die relative Verteilung der Messergebnisse der verschiedenen Geräte für diesen Bereich wieder. Zudem zeigen die Tabellen die Verteilung der Ergebnisse einerseits apikal und koronal der Konstriktion innerhalb dieses Bereichs und andererseits außerhalb des Grenzbereichs, um einen Überblick über die Verteilung der Messwerte zu gewinnen. Zusätzlich wurde auch die mittlere Abweichung in apikaler und koronaler Richtung aufgeführt.

Root ZX	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in %	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe I	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe II	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe III	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe IV
im angegebenen Bereich	89,1%	88,2%	91,7%	95%	77,7%
davon koronal	45,8%	42,9%	50%	44,4%	50%
davon apikal	54,2%	57,1%	50%	55,6%	50%
koronal des Bereichs	3,4%	5,9%	8,3%	0%	11,1%
apikal des Bereichs	6,9%	5,9%	0%	5%	11,1%
Abweichung im Mittel zu kurze Messungen	0,3mm	0,32mm	0,2mm	0,29mm	0,33mm
Abweichung im Mittel zu lange Messungen	0,25mm	0,31mm	0,18mm	0,29mm	0,17mm

*Tabelle 16: Statistische Ergebnisse für den Grenzbereich +/-0,5 in den verschiedenen Untersuchungsgruppen für Root ZX*

## Ergebnisse

Im Toleranzbereich  $\pm 0,5$  mm beträgt der Prozentsatz für die korrekte Konstriktionsbestimmung mit dem Endometriegerät Root ZX 89,1%. Von diesem weichen die Werte der Messungen an vitalen und avitalen Zähnen mit einer erzielten Genauigkeit von 88,2% in Gruppe I und 91,7% in Gruppe II nur unwesentlich ab. An mehrwurzligen Zähnen sinkt die Genauigkeit auf 77,7%, an einwurzligen Zähnen wurde die Konstriktion zu 95% genau bestimmt. Hinsichtlich der Verteilung der zu langen oder zu kurzen Messungen innerhalb des Toleranzbereichs lässt sich kein Trend ablesen, die Werte sind annähernd gleich verteilt. Gleiches gilt für die mittlere Abweichung im positiven und im negativen Bereich, die ebenfalls keine Auffälligkeiten aufweist.

Raypex 4	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in %	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe I	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe II	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe III	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe IV
im angegebenen Bereich	86,2%	94,1%	75,0%	85,0%	88,9%
davon koronal	65,2%	73,3%	50%	66,7%	62,5%
davon apikal	34,8%	26,7%	50%	33,3%	37,5%
koronal des Bereichs	6,9%	0%	16,7%	10%	0%
apikal des Bereichs	6,9%	5,8%	8,3%	5%	11,1%
Abweichung im Mittel zu kurze Messungen	0,34mm	0,29mm	0,33mm	0,35mm	0,32mm
Abweichung im Mittel zu lange Messungen	0,32mm	0,45mm	0,28mm	0,36mm	0,43mm

*Tabelle 17: Statistische Ergebnisse für den Grenzbereich +/-0,5 in den verschiedenen Untersuchungsgruppen für Raypex 4*

## Ergebnisse

Alle Messungen mit dem Endometriegerät Raypex 4 ergeben im Toleranzbereich  $\pm 0,5$  mm eine Genauigkeit von 86,2 %. Hinsichtlich der Messungen an einwurzigen und mehrwurzigen Zähnen ergibt sich eine Genauigkeit der richtigen Konstriktionsbestimmung von 85% beziehungsweise 88,9%. Auffällig erscheinen der deutlich geringere Wert von 75% bei der Messreihe mit avitalen Zähnen und der erhöhte Wert von 94,1% an vitalen Zähnen. Zudem fällt auf, dass mit Ausnahme von Gruppe II deutlich mehr Messungen zu kurz ausfallen, das heißt der gemessene Wert kam koronal der Konstriktion zu liegen.

Propex	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in %	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe I	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe II	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe III	apikale Konstriktion -/+ 0,5mm Anzahl der Proben in % Gruppe IV
im angegebenen Bereich	72,4%	76,5%	66,7%	80,0%	55,6%
davon koronal	55,5%	54,5%	57,1%	61,5%	40%
davon apikal	44,5%	45,5%	42,9%	38,5%	60%
koronal des Bereichs	13,7%	11,8%	16,7%	10%	22,2%
apikal des Bereichs	13,7%	11,8%	16,7%	10%	22,2%
Abweichung im Mittel zu kurze Messungen	0,24mm	0,25mm	0,22mm	0,21mm	0,36mm
Abweichung im Mittel zu lange Messungen	0,33mm	0,26mm	0,4mm	0,42mm	0,37mm

*Tabelle 18: Statistische Ergebnisse für den Grenzbereich +/-0,5 in den verschiedenen Untersuchungsgruppen für Propex*

In 72,4% der Fälle wurde mit dem Endometriegerät Propex in diesem Versuchsmodell die Konstriktion exakt bestimmt. Vor allem an devitalen Zähnen und an mehrwurzligen Zähnen werden deutlich kleinere Erfolgsraten erreicht. So wird mit Propex im Grenzbereich  $\pm 0,5$  mm die Konstriktion an mehrwurzligen Zähnen mit nur 55,6% korrekt bestimmt, an einwurzligen Zähnen zu 80%. Messungen an devitalen Zähnen ergeben eine exakte Bestimmung der Konstriktion in 66,7% der Fälle. Messungen an vitalen Zähnen waren zu 76,5% korrekt. Es fällt weiterhin auf, dass bei den Messungen an mehrwurzligen Zähnen in 60% der Fälle die Messung apikal der Konstriktion zu liegen kam, während in den anderen Gruppen der Messwert tendenziell koronal der Konstriktion zu finden war.

## 7. Diskussion

### 7.1. Diskussion des Studienablaufs

#### 7.1.1. Material und Methode

Die vorliegende Untersuchung stellt eine In-vivo-Studie dar. Exakterweise kann die Untersuchung auch als Ex-vivo-Studie bezeichnet werden, d.h. die Längenbestimmung des Wurzelkanals fand am Patienten statt, die weitere Auswertung erfolgte dann nach Extraktion des Zahnes. Die Durchführung der Messreihe am Patienten ermöglicht die Schaffung authentischer Bedingungen zum entsprechenden Behandlungsablauf. Die so gewonnenen Erkenntnisse können weitestgehend auf den klinischen Alltag übertragen werden. Der Vergleich mit den Ergebnissen einer parallel durchgeführten In-vitro-Untersuchung am gleichen Untersuchungsgut sollte darüber hinaus untersuchen, ob signifikante Unterschiede zwischen den Messungen unter standardisierten Bedingungen und den Messungen unter klinischen Bedingungen zu beobachten sind. Als Testgeräte wurden drei handelsübliche und im klinischen Alltag weit verbreitete Endometriegeräte ausgewählt. Alle drei Geräte arbeiten nach dem gleichen Grundprinzip der Impedanzquotientenmethode, die sich weitgehend als Standard durchgesetzt hat:

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

**Raypex** (VDW GmbH, München, Deutschland)

**Propex** (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland)

Während das RootZX schon Gegenstand zahlreicher Studien war, liegen für das Geräte Raypex 4 und vor allem für Propex sehr wenige klinische Studien vor.

Gegenstand dieser Untersuchung war es zu ermitteln, ob hinsichtlich der Messergebnisse innerhalb dieser nach der Impedanzquotientenmethode

arbeitenden Gerätegruppe Unterschiede bestehen bzw. inwieweit signifikante Unterschiede festgestellt werden können.

Durch die Analyse sollten zudem beeinflussende Parameter wie Vitalität bzw. Devitalität sowie Ein- bzw. Mehrwurzligkeit der Zähne untersucht werden.

Die Zusammensetzung des Patientengutes erfolgte zufällig. Hinsichtlich der Zähne und ihres Ausgangsbefundes wurde keine Selektion vorgenommen, da ein praxisnahes Bild von der klinischen Einsetzbarkeit der Geräte ermittelt werden sollte. Nach der Extraktion konnte mithilfe von Querschnittsprofilmessung die apikale Konstriktion sehr präzise bestimmt werden. Damit war ein Vergleich mit den endometrisch ermittelten Ergebnissen möglich.

### **7.1.2. Wahl des Referenzpunktes**

In der vorliegenden Studie wurde die apikale Konstriktion als Referenzpunkt für alle Messungen festgelegt. Wie schon beschrieben geht dort das pulpale in das parodontale Gewebe über, weshalb die Konstriktion als Zielpunkt einer idealen Wurzelkanalaufbereitung gilt [17]. In vielen anderen Studien werden Endometriegeräte bezüglich ihrer Messgenauigkeit beurteilt, indem der Abstand der Instrumentenspitze zum röntgenologischen Apex gemessen wird. Im Röntgenbild lässt sich aber die apikale Konstriktion gar nicht und das Foramen apicale nicht immer zweifelsfrei bestimmen. Aussagen über die Messgenauigkeit von Endometriegeräten lassen sich mit dieser Methode nur bedingt treffen, da nach DUMMER ET AL. [9] und KUTTLER [31] eine sehr große Varianz bezüglich der Entfernung der Konstriktion zum röntgenologischen Apex besteht. So legten z.B. WELK ET AL. [63] im Rahmen einer Studie dar, dass in 82% der Fälle eine Übereinstimmung von endometrisch und radiologisch bestimmter Länge vorlag. Allerdings wurde in 18% der Fälle bei radiologisch korrekter Lage der Feilenspitze der Kanal überinstrumentiert. Im klinischen Alltag sollte diese vermieden werden, da sie nach Ansicht vieler Autoren zu einer schlechten Prognose für die Heilung von

periapikalen Läsionen führt [33, 46]. Aufgrund der begrenzten Aussagekraft durch röntgenologische Bestimmung der Arbeitslänge wurde in dieser Studie auf das Anfertigen von Röntgenbildern verzichtet. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Zähne nach Messung und folgender Extraktion im apikalen Teil abgeschliffen und der Abstand der Feilenspitze zur Konstriktion mit Hilfe eines Mikroskops bestimmt. Ein ähnliches Versuchsmodell liegt Studien von TINAZ ET AL. [51], WELK ET AL. [63] und HAFFNER ET AL. [19] zugrunde. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass hier die echte Lage der Konstriktion als Referenz verwendet wird. Schwierigkeiten bei der Auswertung ergeben sich aus der Tatsache, dass die Engstelle des Kanals auch mit dieser Methode nicht immer einwandfrei bestimmbar ist.

### **7.1.3. Wahl der Toleranzgrenzen**

Wie oben beschrieben, wird in dieser Studie die apikale Konstriktion als Referenzpunkt verwendet, da die Bestimmung dieses Punktes ausschlaggebend für den endodontischen Erfolg ist. Als sinnvoller Toleranzbereich kann der Abstand von +/- 0,5 mm um diesen Punkt bezeichnet werden. Dieses Kriterium liegt vielen Studien zugrunde und wird von vielen Autoren unterstützt. Ein ungenauerer Grenzbereich z.B. von +/-1 erscheint nicht sinnvoll, da in vielen Studien gezeigt wurde, dass das Foramen zwischen 0,5 und 1mm von der Konstriktion entfernt liegt und somit die Gefahr der Überinstrumentierung gegeben ist. Diese soll aber unbedingt vermieden werden [49]. Ein genauerer Toleranzbereich erscheint ebenfalls nicht sinnvoll, da er im klinischen Alltag nur schwer umzusetzen ist.

## **7.2. Diskussion der Ergebnisse**

### **7.2.1. Vergleich der getesteten Geräte**

In dieser Studie ergab sich für den Toleranzbereich +/- 0,5mm Abstand der Feilenspitze von der Konstriktion eine Erfolgswahrscheinlichkeit im Sinne einer korrekten Lokalisation von 89,1% für das Gerät Root ZX, 86,2% für das Gerät Raypex 4 und 72,4% bei Anwendung des Gerätes Propex. Im Mittel ergaben sich in vorliegender Studie Abweichungen von 0,25mm zu lang und 0,3mm zu kurz mit Root ZX, 0,32mm zu lang und 0,34mm zu kurz mit Raypex 4 und Abweichungen von durchschnittlich 0,33mm zu lang und 0,24mm zu kurz mit Propex. Diese Ergebnisse sind mit den Resultaten ähnlicher Studien der letzten Jahre vergleichbar. So geben beispielsweise PAGAVINO ET AL. [39] für das Gerät Root ZX eine Genauigkeit von 82,75% an, SHABAHANG ET AL. [47] setzen die Genauigkeit für dieses Gerät sogar mit 95,2% etwas höher an. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Parameter in Material und Methodik variieren und somit ein direkter Vergleich der Resultate nicht uneingeschränkt möglich ist. So kann beispielsweise eine Beschränkung auf bestimmte Zahntypen oder die Anwendung von verschiedenen Spüllösungen oder ähnlichem zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Auch im Praxisalltag werden sich diese hohen Erfolgsraten nicht immer erzielen lassen. Dies liegt neben patientenspezifischen Schwierigkeiten wie eingeschränkter Zugänglichkeit, hohem Speichelfluss oder ähnlichem auch daran, dass in dieser Studie im Untersuchungsgut keine Zähne mit obliterierten Kanälen, mit Frakturen und keine Zähne mit kariösen Läsionen bis unter der Schmelz-Zement Grenze gemessen wurden. Innerhalb dieser Studie wurde weiterhin untersucht, inwiefern eine Tendenz zu fehlerhaften zu langen oder zu kurzen Messungen herauszuarbeiten ist. Wie schon angeführt, erreichte Root ZX eine exakte Lokalisation der Konstriktion in 89,1% der Fälle. Innerhalb des Toleranzbereiches ergeben sich 45,8% zu kurze Messungen und 54,2% zu lange. Eine eindeutige Tendenz lässt sich hier nicht erkennen. Außerhalb des Grenzbereichs ergeben sich für Root ZX 6,9% zu lange Messungen und 3,4% zu kurze. Auch hier ist keine allgemein gültige Aussage

möglich. Die Genauigkeit von Raypex 4 wurde hier mit 86,2% angegeben. Im Vergleich von zu kurzen und zu langen Messungen ergibt sich innerhalb des Grenzbereichs, dass 65,2 % der Messungen koronal der Konstriktion zu liegen kamen und 34,8 % apikal davon. Hier ist eine Tendenz zu eher zu kurzen Messungen sichtbar. Außerhalb des Grenzbereichs ergeben sich sowohl für zu lange als auch für zu kurze Messungen 6,9%. Bei gleicher Auswertung der Werte des Propex Gerätes zeigen sich 44,5 % der Messungen apikal der Konstriktion und 55,5 % koronal von dieser. Außerhalb des Grenzbereiches ergeben sich 13,8% sowohl für zu kurze als auch für zu lange Messungen. Somit lässt sich für Propex keine eindeutige Aussage bezüglich Messtendenzen treffen. Generell gilt für die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass mit allen drei Endometriegeräten akkurate und reproduzierbare Messergebnisse erzielt werden können. Es bleibt festzustellen, dass Propex im direkten Vergleich mit den beiden anderen Testgeräten bezüglich der Häufigkeit genauer Lokalisation abfällt. Auch bezüglich der Streuung der einzelnen Messergebnisse jenseits der festgelegten Toleranzgrenzen ist festzustellen, dass die Messungen mit Propex im Vergleich zu den Endometriegeräten Root ZX und Raypex 4 weniger verlässlich sind. Bei Betrachtung der Messergebnisse lässt sich ganz allgemein feststellen, dass der Bereich zwischen der Anzeige „0“ und „1,0“ der jeweiligen Geräte einen sehr engen Bereich um die apikale Konstriktion umfasst und in keinem Fall mit Millimetreinteilung korreliert. Um Überinstrumentierung zu vermeiden, empfiehlt es sich den Anzeigenpunkt „0,5“ als Bezugspunkt zu wählen, da beim Anzeigenpunkt „0“ eine minimale Überinstrumentierung nicht ausgeschlossen werden kann. Dies geht aus den Tabellen 16-18 hervor, in denen die Verteilung der Messwerte innerhalb des Toleranzbereichs in apikaler und koronaler Richtung aufgeführt ist.

### **7.2.2. Einfluss der Ausgangsparameter auf das Messergebnis**

Verschiedene Faktoren können die Genauigkeit des Messergebnisses beeinflussen.

Einer dieser Faktoren kann die Vitalität bzw. die Avitalität des untersuchten Zahnes sein. So können Wurzelkanäle mit nekrotischem Inhalt und zunehmender Zerstörung des parodontalen Ligaments bzw. des dem Apex umgebenden Knochens andere Impedanzwerte aufweisen als Kanäle mit vitalem Inhalt. Eine Studie von ARORA und GULABIVALA von 1996 belegt diese Problematik [1]. In dieser Studie wurde mit zwei Endometriegeräten an avitalen Zähnen gemessen und nach apikal streuende Ergebnisse festgestellt [1]. Auch CHANAN unterstützt diese These. In einer von ihm durchgeführten Studie ergaben sich zu kurze Werte für Kanäle mit nekrotischem Inhalt [6]. Er vermutete, dass dieses Phänomen auf das Eindringen von apikalem Exsudat und damit leitendem Elektrolyt zurückzuführen sei. Auf die Beeinflussung der Genauigkeit der Messergebnisse durch apikale Entzündungsprozesse wird auch in den Bedienungsanleitungen der untersuchten Geräte explizit hingewiesen. In vorliegender Studie ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen an vitalen und avitalen Zähnen. Dennoch lässt sich feststellen, dass die Messgenauigkeit an vitalen Zähnen höher ausfiel. Besonders deutlich wird dies bei Verwendung des Gerätes Raypex 4. Während bei vitalen Zähnen eine erfolgreiche Lokalisation zu 94,1 % erfolgte, sank diese an avitalen Zähnen auf 75 %. Mit Propex wurde die Konstriktion zu 66,7 % an avitalen Zähnen bestimmt gegenüber 76,5% an vitalen Zähnen. Die Messgenauigkeit des Root ZX hingegen wird von der Vitalität bzw. Avitalität des Zahnes in dieser Studie kaum beeinflusst. Hier lag die Erfolgsquote an avitalen Zähnen mit 91,7 % sogar ein wenig höher als an vitalen Zähnen, bei denen mit 88,2% die Engstelle des Kanals richtig bestimmt wurde. Auffälligkeiten, wie Tendenzen zu Überinstrumentierung oder zu zu kurzen Ergebnissen ergaben sich bei Propex und Root ZX nicht. Nur bei Verwendung von Raypex konnte festgestellt werden, dass Unterschiede zwischen den Gruppen vorlagen. So zeigt sich dass bei Messungen an vitalen Zähnen in keinem Fall zu kurz gemessen wurde, während an avitalen Zähnen immerhin 16,7% der Messungen eine zu kurze Arbeitslänge anzeigten. Mit Propex steigt bei nekrotischen Zähnen zwar der Anteil an Messungen, die außerhalb des Grenzbereiches liegen an, ohne jedoch eine eindeutige Tendenz aufzuweisen.

Weiterhin wurde im Rahmen dieser Studie der Einfluss der Anzahl der Wurzeln des Untersuchungsgutes auf das Messergebnis untersucht. Am wenigsten beeinflusst von diesem Faktor wurde die Genauigkeit des Gerätes Raypex 4. Diese lag bei 85 % an einwurzligen Zähnen und bei 88,9 % an mehrwurzligen Zähnen. Auch der Vergleich der mittleren Abweichungen ergab keinerlei Auffälligkeiten. Die Messgenauigkeit des Root ZX lag zwar bei mehrwurzligen Zähnen mit 77,7 % deutlich unter der Treffergenauigkeit von 95 % gegenüber einwurzligen Zähnen. Eine statistische Signifikanz ergab sich allerdings nicht. Eine aktuelle Studie von VIEYRA ET AL. [57] kommt zu dem gleichen Ergebnis. In dieser ergab sich an einwurzligen Zähnen eine exakte Lokalisation der Konstriktion von 68%, an mehrwurzligen Zähnen hingegen wurden 58% Treffergenauigkeit mit dem Endometriegerät RootZX erreicht [57]. Bei Verwendung des Gerätes Propex ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Abhängigkeit der Messgenauigkeit von der Anzahl der Wurzeln. Während an einwurzligen Zähnen in 80 % der Fälle die Konstriktion korrekt angezeigt wurde, fällt dieser Wert bei Verwendung an mehrwurzligen auf 55,6 %. Die Gefahr von Überinstrumentierung erhöht sich von 10 % auf 22,2%.

### **7.3. Konklusion**

Die Endometrie wird in der nahen Zukunft einen noch größeren Stellenwert in den Praxen einnehmen. Während die Endometriegeräte der ersten Generationen die hohen Anforderungen an Präzision und Reproduzierbarkeit nicht erfüllen konnten, erfüllen die Endometer der neuesten Generation diese Kriterien. Als entscheidend für die Beurteilung der Messergebnisse muss der Abstand zur apikalen Konstriktion gelten und zwar, wie in dieser Auswertung nachgewiesenen in einem möglichst engen Grenzbereich. Dieser wurde im Falle des Root ZX zu 89,1 % und im Falle des Raypex zu 86,2 % erreicht und somit gezeigt, dass eine exakte und verlässliche Arbeitslängenbestimmung mit diesen Geräten möglich ist. Die vom Gerät Propex erreichten 72,4 % erscheinen im Praxisalltag nicht ausreichend, so dass nur bedingt

eine Empfehlung zum klinischen Einsatz gegeben werden kann. Eine sehr wichtige Erkenntnis ergibt sich in vorliegender Studie bei Betrachtung der Messergebnisse an den verschiedenen Anzeigepunkten „0“, „0,5“ und „1“. In der Theorie sollte man davon ausgehen, dass mit aufsteigendem Anzeigenwert eine verkürzte Arbeitslänge resultiert, d.h. dass der Abstand zur Konstriktion größer wird. Aus dieser Untersuchung ergibt sich aber, dass selbst am Anzeigepunkt „1“ bei allen Testgeräten die Konstriktion oft schon erreicht ist. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Endometriegeräte im Bereich von einem Millimeter vor der Konstriktion höchst sensibel reagieren. Untersuchungen von VERSIANI ET AL. [56] kommen zu einem ähnlichen Ergebnis. In der Untersuchung wurde die Messgenauigkeit des Endometriegeräts Root ZX an verschiedenen Anzeigepunkten untersucht. Es ergaben sich 90,5% Trefferwahrscheinlichkeit am Wert „0,5“ und 83,78% am Wert „1“ [55]. Auch die Untersuchungen von PASCON ET AL. [40] zeigen eine hohe Sensibilität der Messgeräte im Bereich um die Konstriktion. Für den klinischen Alltag zeigt sich somit, dass die Endometrie eine einfache, schnelle und, wie gezeigt, auch exakte Technik der Arbeitslängenbestimmung darstellt. Sie birgt zudem noch den Vorteil einer Reduktion der Strahlenbelastung. Ein kompletter Verzicht auf Röntgenaufnahmen kann aber nicht empfohlen werden. Dies wird auch durch die Ergebnisse einer Untersuchung von KIM ET AL. [28] belegt. In dieser Studie wurde im Rahmen einer in-vivo-Untersuchung die Genauigkeit der Konstriktionsbestimmung bei alleiniger Anwendung von Root ZX mit der Genauigkeit der Kombination Root ZX-Messung und Röntgenmessaufnahme verglichen. Es wurde festgestellt, dass sich die Genauigkeit von 86% (Root ZX) auf 94% (Kombination Root ZX/ Röntgenmessaufnahme) erhöhte [28].

Eine Kombination aus Röntgentechnik und Endometrie erscheint sinnvoll, da eine vorab angefertigte Röntgenaufnahme eine Fülle an Informationen über Anzahl und Krümmungsgrad der Wurzeln wie auch über den Zustand der umgebenden Knochenstruktur geben kann. Die Arbeitslängenbestimmung mittels Endometrie bietet Vorteile hinsichtlich des Strahlenschutzes, der Zeitersparnis und der Möglichkeit, die Konstriktion und nicht den röntgenologischen Apex als Referenz zu

verwenden. Die abschließende Röntgenkontrolle ermöglicht die Beurteilung nach abgeschlossener Behandlung und ist auch aus forensischer Sicht unabdingbar. Im Hinblick auf die Wichtigkeit der Bestimmung der richtigen Arbeitslänge liefert die Kombination aus klassischen und neueren Verfahren größtmögliche Chancen für eine erfolgreiche endodontische Behandlung.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] Arora, R., Gulabivala, K: An in vivo evaluation of the ENDEX and RCM Mark II electronic apex locators in root canals with different contents, *Int Endod J* 27, 1994, 190-196.
- [2] Azabal, M., Garcia-Otero, D., da la Macorra, JC.: Accuracy of the Justy II Apex locator in determining working length in simulated horizontal and vertical fractures *Int Endod J* 37, 2004, 174-177.
- [3] Bargholz, C., Hör, D., Zirkel, C.: *Praxisleitfaden Endodontie*, 1. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, 2006, 178.
- [4] Baumann, M., A., Beer, R.: *Farbatlanten der Zahnmedizin*, 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2008.
- [5] Brunton, P., Abdeen, D., McFarlane T.: The effect of an appex locator on exposure to radation during endodontic therapy, *J Endod* 28, 2002, 135.
- [6] Chanan, R., Chanan-Qayoom, Y.: Bewertung der Meßgenauigkeit des Dentometers in verschiedenen klinischen Situationen, *Endodonzie* 4, 1992, 301-308.
- [7] Cox, V., Brown, C., Bricker, S., Newton, C.: Radiographic interpretation of endodontic file length, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 72, 1991, 340-344.
- [8] Dummer, P., McGinn, J., Rees, D.: The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen, *Int Endod J* 17, 1984, 192-198.

- [9] Dunlap, C., Remalis, N., BeGole, E., Rauschenberger, C.: An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals, J Endod 24, 1998, 48-50.
- [10] Firmenprospekt Dentsply DeTrey GmbH, Pro Pex.
- [11] Firmenprospekt J. Morita Europe GmbH, Root ZX.
- [12] Firmenprospekt VDW GmbH, Raypex 4.
- [13] Fouad, E., Krell, K., McKendry, D., Koorbusch, C., Olson, R.: Clinical evaluation of five electronic root canal length measuring instruments, J Endod 16, 1990, 446-449.
- [14] Fouad, A., Rivera, E., Krell, K.: Accuracy of the Endex with variations in canal irrigants and foramen size, J Endod 19, 1993, 63-67.
- [15] Franklin, S. Weine: Endodontic Therapy, 6. Auflage, Mosby, St. Louis, 2004, 240-248.
- [16] Greene, D.: Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth, Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 13, 1960, 728-733.
- [17] Grove, C.: An accurate new technique for filling root canals to the Dentino-cemental Junction with impermeable materials, J Am Dent Assoc 16, 1929, 1594 ff.
- [18] Guldener, P., Langeland, K.: Endodontologie, 3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, 78-80

- [19] Haffner, C., Folwaczny, M., Galler, K., Hickel, R.: Accuracy of electronic apex locators in comparison to actual length – an in vivo study, *J Dent* 33, 2005, 619-625.
- [20] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung, 3. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, 2003, 281.
- [21] Herrera, M., Abalos, C., Planas, A., J., Llamas, R.: Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision, *J Endod* 33, 2007, 995-998.
- [22] Hör, D., Attin, T.: Die elektrische Bestimmung des Wurzelkanals, *Endodontie* 1, 2001, 39-56.
- [23] Hülsmann, M.: Die Bestimmung der Arbeitslänge in der Endodontie, *ZWR* 100, Nr. 2, 1991, 12-21.
- [24] Kaufman, A., Fuss, Z., Keila, S., Waxenberg, S.: Reliability of different electronic apex locators to detect root perforations in vitro, *Int Endod J* 30, 1997, 403-407.
- [25] Kerekes, K., Tronstad, L.: Long term results of endodontic treatment performed with a standardized technique, *J Endod* 5, 1979, 83-90.
- [26] Kersten, H., Wesselink, P., Thoden van Welzen S.: The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling, *Int Endod J* 20, 1987, 20-24.
- [27] Ki Chang Nam, Soo Chan Kim, Seung Jong Lee, Young Joo Kim, Nam Gyun Kim, Deok Won Kim: Root canal length measurement in teeth with electrolyte compensation, *Medical & Biological Engineering & Computing* 40, 2002, 78-73.

- [28] Kim, E., Marmo, M., Lee, C., Oh, N., Kim, I.: An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105, 2008, 79-83.
- [29] Kobayashi, C.: Electronic canal length measurement, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 79, 1995, 226-230.
- [30] Kockapan, C.: *Curriculum Endodontie*, 1. Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin, 2003, 263-279
- [31] Kuttler, Y.: Microscopic investigation of root apexes, *J Am Dent Assoc.* 50, 1955, 552-554.
- [32] Martinez-Lozano, M., Former-Navarro, L., Sanchez-Cortes, J., Llana Puy, C.: Methodological considerations in the determination of working length, *Int Endod J* 34, 2001, 371-376.
- [33] Mayer, A.: Treatment of pulpitis, *Dtsch Zahnarzt Z* 10, 1955, 767-772.
- [34] McDonald, N., Hovland, E.: An evaluation of the Apex Locator Endocater, *J Endod* 16, 1990, 5-8.
- [35] McDonald, N.: The electronic determination of the working length, *Dent Clin N Am* 36, 1992, 293-307.
- [36] Meredith, N. Gulabivala, K.: Electrical impedance measurements of root canal length, *Endod Dent Traumatol.* 13, 1997, 126-131
- [37] Nomura, H. Sakada, S., How, H.: Some observations on electronic conductivity of tooth, *Bull Tokyo Dent Coll* 12, 1971, 15.

- [38] Olsen, A., Goerig, A., Cavataio, R., Luciano, J.: The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen, *Int Endod j* 24, 1991, 28-35.
- [39] Pagavino, G., Pace, R., Baccetti, T.: A SEM study of an in vivo accuracy of Root-ZX electronic apex locator, *J Endod* 24, 1998, 438-441.
- [40] Pascon, E., Marrelli, M., Congi, O., Ciancio, R., Miceli, F., Versiani, M., A.: An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 2009, 147-151.
- [41] Pommer, O., Stamm, O., Attin, T.: Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of the root canals, *J Endod* 28, 2002, 344-347.
- [42] Pratten, Don H., McDonald, N.: Comparison of radiographic and electronic working length, *J Endod* 22, 1996, 404-407.
- [43] Rivera, M., Seraji, M.: Effect of recapitulation on accuracy of electronically determined canal length, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 76, 1993, 225-230.
- [44] Schelter, W.: Elektrische Eigenschaften biologischer Gewebe im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 kHz, *Nat. Diss., Universität Erlangen-Nürnberg*, 1985.
- [45] Seidberg, B., Alibrandi, B., Fine, H., Logue, B.: Clinical investigation of measuring working length of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense, *J Am Dent Assoc.* 90, 1975, 379-387.

- [46] Seltzer, S., Soltanoff, W., Smith, J.: Biologic aspects of endodontics. V. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation beyond the apex and root canal fillings short of and beyond the apex, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 36, 1973, 725-737.
- [47] Shabahang, S., Goon, W., Gluskin, A.: An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator, *Japan J Cons Dentistry* 34, 1992, 61-63.
- [48] Shinoda, K., Watanabe, K., Nakashima, M., Sekine, L., Mukaiyama, K.: Experimental and clinical evaluation of the Root ZX, an electric root measuring device, *Japan J Cons Dentistry* 34, 1992, 61-63.
- [49] Sjörgen, U., Hägglund, B., Sundqvist, G.: Factors effecting the long term results of endodontic treatment, *J Endod* 16, 1990, 498-504.
- [50] Strickling, W., Ott, K.: Klinische Untersuchung des Wurzelkanallängenmessgerätes Root ZX, *ZWR* 104/03, 1995, 53-56.
- [51] Tinaz, A., Maden, M., Aydin, C., Türköz, E.: The accuracy of three different electronic root canal measuring devices: an in vitro evaluation, *J Oral Sci* 44, 2002, 91-95.
- [52] Topuz, O., Uzun, O., Tinaz, A., C., Bodrumlu, E., Görgül, G.: Accuracy of two apex-locating handpieces in detecting simulated vertical and horizontal root fractures, *J Endod* 34, 2008, 310-313.
- [53] Ushiyama, J.: New principle and method for measuring the root canal length, *J Endod* 9, 1983, 97-104.
- [54] Van de Voorde, H., Bjorndahl, A.: Estimating working length with paralleling radiographs, *J Oral Surg* 27, 1969, 106-109.

- [55] Venturi, M., Breschi, L.: A comparison between two electric apex locators: in vivo investigation, *Int Endod J* 38, 2005, 36-45.
- [56] Versiani, M., A., Santana, B., P., Caram, C., M., Pascon, E., A., de Souza, C., J., Biffi, J., C.: Ex vivo comparison of the accuracy of Root ZX II in detecting apical constriction using different meter's reading, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 2009, 41-45.
- [57] Vieyra, J., P., Acosta, J., Mondaca, J., M.: Comparison of working length determination with radiographs and two electronic apex locators, *Int Endod J* 43, 2010, 16-20.
- [58] Visser, H., Kramer, I., Hülsmann, M., Krüger, W.: Physikalische Charakterisierung von Endometriegeräten, *ZWR* 100, 1991, 458-562.
- [59] Voß, A.: Die Endometrie – eine fragwürdige Methode der Längenbestimmung des Wurzelkanals, *Dtsch Zahnärztl Z* 44, 1989, 606-609.
- [60] Voß, A.: Die Längenbestimmung des Wurzelkanals unter besonderer Berücksichtigung der elektrischen Verfahren, Habilitationsschrift, Universität Erlangen-Nürnberg, 1988, 65.
- [61] Voß, A., Siebenkees, J.: Experimentelle und klinische Bewertung der Endometriegeräte Apit und Root ZX, *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 1994, 281-284.
- [62] Weber, T.. *Memorix Zahnmedizin*, 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2003, 293.
- [63] Welk, A., Baumgartner, J., Marshall, J.: An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators, *J Endod* 29, 2003, 497-500.

## 9. Lebenslauf

### Muhr Christian

#### Persönliche Angaben:

Name: Muhr Christian  
Anschrift: Diepenbrockstrasse 12  
93055 Regensburg  
Geburtstag: 18.02.1978  
Geburtsort: München  
Eltern: Alfons Muhr  
Ingeborg Muhr, geb. Wieser  
Geschwister: Matthias Muhr  
Alexander Muhr

#### Schulbildung:

06/1997 Allgemeine Hochschulreife  
Dominicus-von-Linprun-Gymnasium Viechtach

#### Studium

09/1999-12/2005 Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
12/2005 Approbation

#### Berufliche Tätigkeit

03/2006-06/2007 Vorbereitungsassistent  
Zahnarztpraxis Dres Diermeier, 94369 Rain  
07/2007-02/2008 Vorbereitungsassistent  
Zahnärztliche Tagesklinik Dr Eichenseer, Regensburg  
03/2008-11/2009 Angestellter Zahnarzt  
Zahnärztliche Tagesklinik Dr Eichenseer, Regensburg  
seit 04/2010 Eintritt in die Gemeinschaftspraxis Muhr/ Kujat

### **Danksagung**

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Professor Voss für die Überlassung des Themas sowie die Unterstützung bei der Durchführung der Studie.

Ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die in jeglicher Hinsicht den Grundstein für meinen Weg gelegt haben und mich bei der Fertigstellung der vorliegenden Dissertation außerordentlich unterstützt haben.