

Aus der Zahnklinik 1 - Zahnerhaltung und Parodontologie der  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Direktor: Prof. Dr. A. Petschelt

---

## **In-vitro-Untersuchung dreier Wurzelkanallängenmessgeräte**

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

vorgelegt von  
Stefan Steinmüller  
aus  
Pegnitz



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

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| <b>Dekan:</b>                      | Prof. Dr. J. Schüttler |
| <b>Referent:</b>                   | Prof. Dr. A. Voß       |
| <b>Korreferent:</b>                | Prof. Dr. A. Petschelt |
| <b>Tag der mündlichen Prüfung:</b> | 24.03.21010            |

Meiner Familie gewidmet

# **In-vitro-Untersuchung dreier Wurzelkanallängenmessgeräte**

Stefan Steinmüller

## **INHALTSVERZEICHNIS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. EINLEITUNG .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1.    ALLGEMEINE KRITERIEN ZUR BESTIMMUNG DER WURZELKANALLÄNGE .....            | 3         |
| 2.2.    BESTIMMUNG DER ARBEITSLÄNGE.....  | 4         |
| 2.2.1. <i>Die taktile Methode .....</i>   | 4         |
| 2.2.2. <i>Röntgenologische Bestimmung .....</i>                                   | 5         |
| 2.2.3. <i>Endometrische Bestimmung .....</i>                                      | 6         |
| 2.2.3.1.    Elektrophysikalische Grundlagen.....                                  | 7         |
| 2.2.3.2.    Vor - und Nachteile der endometrischen Längenbestimmung .....         | 10        |
| 2.2.3.3.    Indikationen der endometrischen Längenbestimmung.....                 | 13        |
| <b>3. ZIEL DER UNTERSUCHUNG .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>4. MATERIAL UND METHODE.....</b>   | <b>16</b> |
| 4.1.    BESCHREIBUNG DER MESSGERÄTE.....  | 16        |
| 4.1.1. <i>Root ZX (J. Morita, Japan) .....</i>                                    | 16        |
| 4.1.2. <i>ProPex (Dentsply DeTrey, Konstanz) .....</i>                            | 17        |
| 4.1.3. <i>Raypex 4 (VDW, München).....</i>  | 20        |
| 4.2.    VERSUCHSAUFBAUTEN.....  | 21        |
| 4.2.1. <i>Untersuchungsgut.....</i>   | 21        |
| 4.2.2. <i>Bestimmung der Konstriktion mit Endometrieegeräten.....</i>             | 22        |
| 4.2.3. <i>Bestimmung der apikalen Konstriktion durch Querschnittsprofile.....</i> | 24        |
| <b>5. ERGEBNISSE .....</b>  | <b>29</b> |
| 5.1.    MESSUNGEN IN 0,9% NaCl .....  | 29        |
| 5.2.    MESSUNGEN IN 2,5% NaOCl .....   | 30        |
| 5.3.    MESSUNGEN IN NaCl+NaOCl (VERHÄLTNIS 1:1) .....                            | 31        |
| 5.5.    GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE .....                               | 35        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.6.      | AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE .....  | 44        |
| 5.6.1.    | <i>Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geräten .....</i>                      | <i>44</i> |
| 5.6.2.    | <i>Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Lösungen.....</i>                      | <i>45</i> |
| 5.6.3.    | <i>Vergleich In-vivo-Studie und In-vitro-Studie .....</i>                                    | <i>46</i> |
| 5.6.4.    | <i>Graphische Darstellung der Ergebnisse In-vivo- und In-vitro-Studie im Vergleich .....</i> | <i>47</i> |
| 5.6.5.    | <i>Vergleich des Mittels In-vivo-Studie – In-vitro-Studie.....</i>                           | <i>49</i> |
| <b>6.</b> | <b>DISKUSSION.....</b>   | <b>52</b> |
| 6.1.      | MATERIAL UND METHODE .....   | 52        |
| 6.2.      | ERGEBNISDISKUSSION .....   | 53        |
| 6.2.1.    | <i>Bestimmung des Grenzbereichs .....</i>  | <i>53</i> |
| 6.2.2.    | <i>Einfluss der Spüllösungen im Wurzelkanal.....</i>   | <i>54</i> |
| 6.2.3.    | <i>Vergleich der getesteten Geräte in vitro .....</i>  | <i>56</i> |
| 6.2.4.    | <i>Vergleich In-vitro-Studie – In-vivo-Studie .....</i>                                      | <i>58</i> |
| 6.2.5.    | <i>Das Auftreten von Messfehlern .....</i>   | <i>59</i> |
| 6.3.      | SCHLUSSFOLGERUNG .....   | 60        |
| <b>7.</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>8.</b> | <b>LEBENS LAUF.....</b>  | <b>67</b> |

# 1. Zusammenfassung

## Ziel der Untersuchung

Ziel der vorliegenden Studie war es, drei Endometriegeräte, die nach der Impedanzquotientenmethode arbeiten, in vitro hinsichtlich ihrer Messsicherheit und Reproduzierbarkeit der bestimmten Werte in Abhängigkeit von drei Elektrolytlösungen zu überprüfen. Die erzielten Ergebnisse wurden mit denen einer analog verlaufenden In-vivo-Studie verglichen.

## Material und Methode

An 28 extrahierten menschlichen Zahnwurzeln wurde endometrisch die Arbeitslänge bestimmt. Zum Einsatz kamen Root ZX (J. Morita, Tokyo, Japan), Propex (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) und Raypex4 (VDW, München, Deutschland). Gemessen wurde für jede Skaleneinheit (0 0.5 1.0) des jeweiligen Gerätes. Über einen computergesteuerten Schrittmotor wurde ein Räumer der Größe ISO 08 in die zu untersuchenden Wurzelkanäle eingebracht, die mit unterschiedlichen Spüllösungen (0,9% NaCl, 2,5% NaOCl, sowie eine im Verhältnis 1:1 gemischte Lösung aus 0,9% NaCl+ 2,5% NaOCl) gefüllt waren. Zur Simulation des umgebenden Gewebes wurden die Wurzeln selbst mit Alginat ummantelt und über eine Vorrichtung in ein Gefäß mit Kochsalzlösung (0,9% NaCl) getaucht. Um eine Aussage über die tatsächliche Arbeitlänge zu erhalten, wurde die apikale Konstriktion mittels mikroskopischer Vergrößerung und Flächeninhaltsberechnung bestimmt. Die gewonnenen Daten wurden statistisch mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben analysiert, und die Ergebnisse mit denen der In-vivo-Studie verglichen.

## Ergebnisse

Anhand des t-Tests ergaben sich hinsichtlich der Elektrolytlösungen im Wurzelkanal keine statistisch signifikanten Unterschiede. In vitro zeigten sich auch zwischen den getesteten Geräten keine Signifikanzen. Die Erfolgsrate für die einzelnen Messungen wurde über die Toleranzbereiche (TB) 0,5mm vor bis zur apikalen Konstriktion (TB I) und über das Grenzlevel apikale Konstriktion  $\pm$  0,2mm (TB II) bestimmt. Für TB I weist Root ZX eine Erfolgsrate von 82,1% am Skalenwert 1.0 auf. Bei 6% ergaben sich um 0,52mm zu lange und

bei 13% um 0,29mm zu kurze Messungen. Im gleichen Grenzbereich misst Propex an 1.0 zu 77,4% exakt. Zu 3,6% kam es zur Überinstrumentierung von im Mittel 0,67mm und zu 20% um 0,38mm zu kurz bestimmten Arbeitslängen. Raypex4 liefert zu 80,9% exakte Werte am Skalenwert 0.5. 14,3% der Messungen waren im Mittel um 0,40mm zu lang und 4,8% um 0,2mm zu kurz. Für TB II gibt Root ZX die besten Werte bei 0.0 zu 77,3% an. Eine Überinstrumentierung erfolgte zu 17,9% um 0,25mm. Zu 4,8% kam die Instrumentenspitze um 0,25mm vor TB II zum Stehen. Propex erweist ebenfalls für TB II die exaktesten Werte bei 0.0 zu 67,8%. Im Mittel ergaben sich zu 26,2% um 0,45mm zu lange Arbeitslängen. Eine Unterinstrumentierung erfolgte um 0,26mm bei 6% der Messungen. Auch Raypex erzielte für TB II die besten Ergebnisse mit 76,2% bei 0.0. 19% der Messungen reichten um 0,53mm über TB II hinaus, 4,8% lagen um 0,25mm zu kurz.

Zum Vergleich mit der In-vivo-Studie wurde der Toleranzbereich  $\pm 0,5\text{mm}$  um die apikale Konstriktion festgelegt, der am Bezugspunkt 0.0 des jeweiligen Gerätes bestimmt wurde. Für diesen Grenzbereich ergibt sich in vitro für Root ZX eine Erfolgsrate von 96,4%, Propex folgt mit 95,2% und Raypex4 mit 94,0%. In vivo fallen die Trefferquoten mit 89,1% für Root ZX, 86,2% für Raypex4 und 72,4% für Propex niedriger aus. In vitro lässt sich eine Tendenz für eher zu lang bestimmte Arbeitslängen erkennen.

### Schlussfolgerung

Endometriegeräte nach dem Prinzip der Impedanzquotientenmethode sind in der Lage, unabhängig von der Elektrolytlösung im Wurzelkanal brauchbare Ergebnisse zur Bestimmung der Arbeitslänge zu liefern.

## 2. Einleitung

### **2.1. Allgemeine Kriterien zur Bestimmung der Wurzelkanallänge**

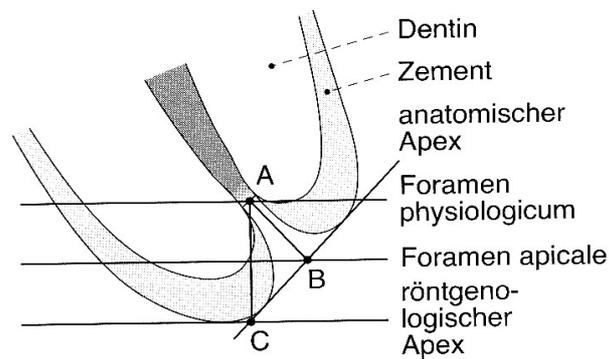
Ist das Markorgan eines Zahnes irreversibel geschädigt oder nekrotisch - ob mit oder ohne klinische und/oder röntgenologische Hinweise auf eine Beteiligung des periradikulären Gewebes, ist die Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung gegeben [21]. Ziel dieser Therapie ist es, die infizierte Pulpa aus der Pulpenkammer und dem Wurzelkanal zu entfernen und nachfolgend mit Füllmaterial zu verschließen, um eine weitere Entzündung zu verhindern. Diese Behandlung zielt darauf ab, die Infektion im Wurzelkanalsystem auszurotten und ein Ausheilen des entzündlichen Prozesses im periapikalen Gewebe zu ermöglichen, um so eine Zahnextraktion zu vermeiden. Damit ein solcher Eingriff auch langfristig zum Erfolg führen kann, ist es wichtig, Kenntnisse über die Länge des Wurzelkanals zu haben. Dies hat vor allem zwei Gründe: Wird die Länge zu kurz bestimmt, verbleiben Bakterien und infiziertes Pulpagewebe im Wurzelkanal, so dass jeder Zeit eine erneute Entzündung auftreten kann. Wird hingegen „überinstrumentiert“, wird das apikale Gewebe beschädigt [30].

Die höchste Erfolgsquote für eine Wurzelkanalfüllung ist dann gegeben, wenn sie 1-2mm vor dem Apex endet [29, 35]. SJÖRGEN ET AL. [46] beschreiben die höchste Erfolgsrate bei Wurzelkanalfüllungen bis zu 2mm vor dem anatomischen Apex. Der Abstand des Foramen physiologicum zum röntgenologischen Apex beträgt im Durchschnitt zwischen 0,5-1,1mm [43]. Deswegen wird heute empfohlen, die Aufbereitungstiefe um den Betrag 0,5-1,0mm vor dem röntgenologischen Apex enden zu lassen [19, 21, 22].

**A:** Physiologisches Foramen  
(Stelle mit der kleinsten  
Kanalquerschnittsfläche,  
Zement - Dentin - Grenze).

**B:** Foramen apikale  
(anatomische Wurzelspitze).

**C:** Röntgenologischer Apex  
(als Wurzelspitze auf dem  
Röntgenbild sichtbar).



|                 |  |
|-----------------|--|
| $\overline{AB}$ | = Distanz<br>For. physiologicum – For. apicale           |
| $\overline{AC}$ | = Distanz<br>For. physiologicum – röntgenologischer Apex |

Abb. 1: Anatomie der Wurzelspitze [21]

## 2.2. Bestimmung der Arbeitslänge

Als „Arbeitslänge“ bezeichnet man die Distanz zwischen einem Kronenreferenzpunkt und dem Foramen physiologicum (=apikale Konstriktion; siehe Abb. 1). Der Kronenreferenzpunkt ist wiederum als Anschlagspunkt des Messgriffes oder Stoppers an der inzisalen Kante (Frontzähne) und Höckerspitze (Seitenzähne) definiert [33]. Für die Wurzelkanalpräparation und spätere Abfüllung ist die Bestimmung dieser Länge einer der wichtigsten Schritte. Deswegen ist es sinnvoll, die Lage der apikalen Konstriktion mit Hilfe von Techniken durchzuführen, die sich als praktikabel und genau herausgestellt haben.

### 2.2.1. Die taktile Methode

In den Anfängen der endodontischen Behandlungen Ende des 19. Jahrhunderts, als die Röntgentechnik noch nicht in der Zahnmedizin Einzug gehalten hatte, wurde versucht die apikale Konstriktion als engste Stelle des Wurzelkanallumens mit einem Aufbereitungsinstrument zu ertasten. Zusätzlich orientierte man sich am Schmerzempfinden des Patienten, welches ein Eindringen des Wurzelkanalinstrumentes in vitales, periapikales

Gewebe anzeigen sollte. Auch bei noch so viel Geschick des Behandlers ist es offensichtlich, dass diese Methode unzählige Fehler mit sich bringt. Handelt es sich um eine periapikale Läsion, kann die Berechnung viel zu lang ausfallen. Auch Zähne mit mehr als einem Kanal in einer Wurzel können sehr leicht falsche Informationen liefern [16]. Diese Methode muss, obwohl lange Zeit als gängig in der Praxis angewandt, heute als absolut obsolet betrachtet werden. Die Taktilität des Behandlers, der Durchmesser des Kanals, Krümmungen und Unebenheiten der Kanalwand variieren viel zu stark, um als Indiz für das Erreichen des Apex herangezogen zu werden [19].

### **2.2.2. Röntgenologische Bestimmung**

Die wohl gebräuchlichste Art der Bestimmung der Wurzelkanallänge ist diejenige mit Hilfe der Röntgenmessaufnahme [43]. Hierbei wird ein Aufbereitungsinstrument bekannter Länge in den Zahn eingebracht und nach Auswerten des Röntgenbildes die Zahnlänge ermittelt [24]. Die Zahnlänge kann jedoch nicht direkt auf dem Röntgenbild gemessen werden, weil die Zähne auf der Aufnahme weder bei Halbwinkeltechnik noch bei Rechtwinkeltechnik unverzerrt bzw. maßstabsgetreu abgebildet werden. Deshalb bedient man sich der radiologischen Annäherungstechnik nach INGLE [33] zur Bestimmung des Wertes. Bei diesem Verfahren werden ausgehend von der Zahnlänge auf der Röntgenaufnahme und von der eingestellten Instrumentenlänge Korrekturen durchgeführt, um die Arbeitslänge festzulegen. Diese Methode hat sich als einfach, schnell und effektiv erwiesen. Auf dem in der Halbwinkeltechnik angefertigten Röntgenbild wird die Relation zwischen Instrumenten- und Wurzelspitze (radiologischer Apex) gezeigt. Da die Instrumentenspitze auf dem Bild erkennbar sein muss, sollten für die Röntgenmessaufnahme grundsätzlich keine kleineren Instrumentengrößen als ISO 15 oder Silberstifte verwendet werden [33]. Die Bestimmung der Kanallänge lässt sich über den Dreisatz errechnen. Dabei ergibt sich folgendes Verhältnis: Die tatsächliche Länge des Zahnes verhält sich zur tatsächlichen Länge des Instrumentes wie die röntgenologische Länge des Zahnes zur röntgenologischen Länge des Instrumentes. Die Arbeitslänge wird entsprechend 1-2mm kürzer der aus diesem Zusammenhang errechneten Zahnlänge gewählt:  $\text{Arbeitslänge} = \text{Zahnlänge} - 1-2\text{mm}$ . Man sollte berücksichtigen, dass es sich bei dieser Art der Längenbestimmung nur um eine arbiträre Annäherung an den

gesuchten Wert handelt, welche allerdings in den überwiegenden Fällen hinreichend genau ist [24]. Trotzdem sollte man nicht vergessen, dass Röntgenbilder in vieler Hinsicht falsch interpretiert werden können, besonders wenn es zu Überlagerungen mit benachbarten Wurzelkanälen oder anderen anatomischen Strukturen kommt. Röntgenaufnahmen bringen auch den Nachteil mit sich, dass sie nur eine zweidimensionale Ansicht eines dreidimensionalen Objektes darstellen, was die exakte Identifikation der Position der apikalen Konstriktion erschwert [37]. Im Hinblick auf diese Faktoren muss nach Studien von OLSON ET AL. [40] und VANDE VOORDE & BJORND AHL [50] mit einer Fehlerquote von 8 bis 20% bei der radiologischen Wurzelkanallängenbestimmung gerechnet werden.

### **2.2.3. Endometrische Bestimmung**

Bereits 1918 berichtete CUSTER [34] von seiner Methode zur elektrischen Bestimmung der Grenze zwischen vitalem und nekrotischem Gewebe. Mit CUSTERS [34] Messtechnik konnte allerdings nur der Übergang zum vitalen Kanalinhalt lokalisiert werden, nicht aber das Foramen selbst [54]. 1942 gelang es SUZUKI [25], mit Gleichspannung in einem In-vivo-Versuch an Hundezähnen zu zeigen, dass der elektrische Widerstand zwischen Mundschleimhaut und Desmodont – unabhängig von Zahnform und Zahnart sowie dem Alter und Zustand des Patienten [22] – konstant 6,5 Kilo-Ohm beträgt [25, 27]. Aus diesem Experiment wurde abgeleitet, dass der Widerstand zwischen Parodontalligament und oraler Mukosa auch dann in einem konstanten Verhältnis stehen muss, wenn eine Messsonde mit dem apikalen Desmodont via Wurzelkanal in Berührung kommt [19]. Aus dieser Erkenntnis heraus entwickelte 1961 SUNADA [25] ein erstes Endometriegerät zur Messung der Wurzelkanallänge. Er verwendete ein einfaches Gleichstrom-Ohmmeter, bei dem das Foramen apikale erreicht war, wenn bei einem Widerstand von 6,5 Kilo-Ohm eine Stromstärke von 40 MikroAmpere erreicht wurde. SUNADAS Modell wurde zur Basis für die meisten nachfolgenden Apexlokalisatoren [2, 25, 27]. Der verwendete Gleichstrom bei dieser ersten Generation von Endometriegeräten führte jedoch zu einer Polarisation der Instrumentenspitze im Wurzelkanal, was eine Messung unmöglich machte [4, 36]. INOUE [26] entwickelte 1972 die Idee SUNADAS weiter, bis sie marktfähig wurde. Er leistete mit seinem Sono-Explorer einen bedeutenden Beitrag in der Entwicklung auf dem Gebiet der Endometrie [27]. Sein Messgerät wird auf den Gewebswiderstand der Mundschleimhaut geeicht. Ist der

Eichwiderstand der Messelektrode im Wurzelkanal erreicht, ist der Apex erreicht, was mit einer Aussendung eines elektrischen Signals angezeigt wird [17]. Seit dieser Zeit wurden verschiedene Apexlokalisatoren für den Markt entwickelt, und die meisten von ihnen auf ihre Messgenauigkeit klinisch untersucht, wobei die Unterschiede in einer exakten Längenangabe je nach Gerät von 15% bis 94% variierten. Fehler zeigten sich vor allem in Abhängigkeit von im Wurzelkanal befindlichen Flüssigkeiten [44]. Diese Problematik ergibt sich daraus, dass die Endometriegeräte der zweiten Generation alle auf der Messung der Impedanz basieren. Im feuchten Wurzelkanal setzt sich die Gesamtimpedanz aus Gewebe- und Elektrodenimpedanz zusammen. Wünschenswert wäre allerdings ausschließlich die Messung der Gewebeimpedanz. Die Elektrodenimpedanzen verfälschen die Messung. Des Weiteren dienen im Wurzelkanal vorhandene Flüssigkeiten als Ionenlieferanten und setzen den Widerstand herab. Dadurch kommt es bei nicht trockenen Wurzelkanälen zu einer zu gering festgelegten Arbeitslänge [27, 32]. USHIYAMA [52] veröffentlichte 1983 ein neues Prinzip zur elektrischen Wurzelkanallängenbestimmung. Diese Methode basiert auf der Messung von Spannungsdifferenzen, die die Elektrodenimpedanzen eliminiert und so der Impedanzgradient im Wurzelkanal bestimmt wird. Das System beruht auf dem Phänomen, dass an der Stelle eines stromdurchflossenen Leiters, welche den kleinsten Querschnitt aufweist, die größte Spannungsänderung pro Längeneinheit auftritt. Das Messsignal ist am größten, wenn die apikale Konstriktion erreicht ist [49,55]. 1990 stellten SAITO und YAMASHITO [43] die dritte Generation von Endometriegeräten vor. Diese arbeiten nicht mehr nur mit einer Messfrequenz. Stattdessen werden mehrere Frequenzen nach dem Impedanzquotientenprinzip miteinander verglichen. Durch diese Technik ist es möglich geworden, auch in Anwesenheit von Elektrolyten, Pus und vitalem Pulpagewebe mit Apexlokalisatoren bei einer Zuverlässigkeit von 80% bis 96% in einem Bereich von  $\pm 0,5\text{mm}$  bezogen auf die apikale Konstriktion zu messen [43].

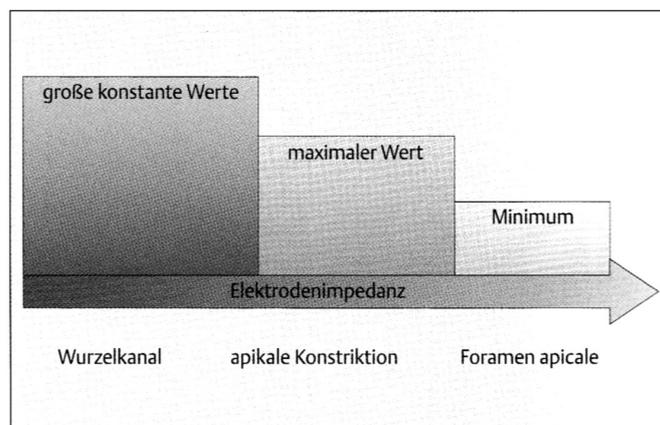
### **2.2.3.1. Elektrophysikalische Grundlagen**

Alle elektronischen Apexlokalisatoren nutzen das menschliche Gewebe als Komponente, um den Stromkreis zu schließen. Eine Elektrode des Endometriegerätes wird mit dem in den Wurzelkanal einzuführenden Instrument verbunden, während die andere über einen

Lippenclip mit der Mundschleimhaut in Kontakt steht. Sowie die Feile in den Wurzelkanal eingebracht wird, wird der Stromkreis geschlossen. Je weiter das Instrument nach apikal bewegt wird, verändern sich die elektrischen Charakteristika, wobei die größte Veränderung auftritt, wenn die Instrumentenspitze das Foramen erreicht (siehe Abb. 2) [51]. Das zugrunde liegende Prinzip ist die Ermittlung elektrischer Widerstände, über welche diese Veränderungen zum Ausdruck kommen. Jede endometrische Messung beruht auf diesem Schema.

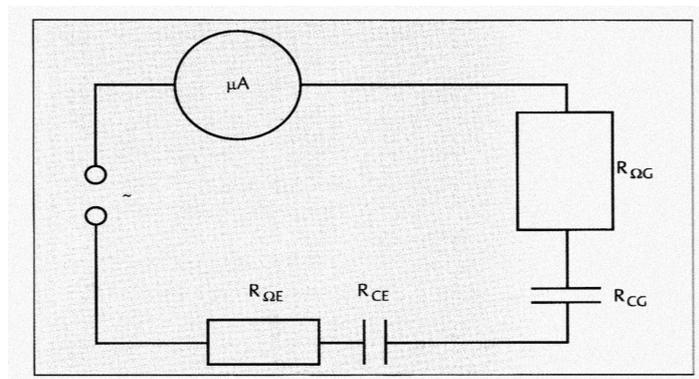
**Abb. 2: Veränderung der Elektrodenimpedanz**

Veränderung der Elektrodenimpedanz im Wurzelkanal: Die Impedanz im Wurzelkanal ist groß und konstant. Sie erreicht an der apikalen Konstriktion ihren maximalen Wert. Mit dem Überschreiten der Engstelle kann der Strom in alle Richtungen fließen. Die aktive Oberfläche des Instruments wird größer, die Elektrodenimpedanz erreicht ein Minimum.[4]



**Abb. 3: Elektrodenimpedanz**

Durch die Elektrodenimpedanz ( $R_{\Omega E} + R_{CE}$ ) wird der Gewebewiderstand ( $R_{\Omega G} + R_{CG}$ ) verfälscht und ist nicht am Messgerät abzulesen. Geräte der 3. Generation schaffen durch Verwendung mehrerer Messfrequenzen Abhilfe. Auf diese Weise kann der Gewebewiderstand ermittelt werden ( $E$ =Elektrode,  $G$ =Gewebe).[4]



Jede Materie setzt bei einer angelegten Spannung ( $U$ ) mit der Stromstärke ( $I$ ) dem fließenden Strom einen elektrischen Widerstand ( $R$ ) entgegen, welcher von der Länge ( $l$ ) und dem Querschnitt ( $A$ ) eines stromdurchflossenen Materials und vom spezifischen elektrischen Widerstand ( $\delta$ ) einer Materialkonstante abhängig ist. Für Stromkreise mit Gleichstrom wird dieser Widerstand als Ohmscher Widerstand bezeichnet. In einem Wechselstromkreis spricht man von einer Impedanz, welche einen komplexen Widerstand darstellt und

frequenzabhängig ist [22]. Der Gesamtwiderstand (Impedanz) setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: einem reellen Widerstand, der dem Ohmschen Widerstand eines Gleichstromkreises entspricht, frequenzunabhängig ist und durch die Gewebeflüssigkeit zwischen Mess- und Gegenelektrode zustande kommt, sowie aus kapazitiven, frequenzabhängigen Widerständen [22, 51]. Das Auftreten der kapazitiven Widerstände beruht vor allem darauf, dass der Zahn als Isolator im leitenden umgebenden Gewebe wie ein zylindrischer Kondensator fungiert. Einen weiteren Beitrag leistet das biologische Gewebe: Zellmembranen, Bindegewebsschichten. Weiterer Berücksichtigung bedarf der Elektrodenwiderstand, welcher als Wechselstromwiderstand zwischen der Instrumentenspitze und der sie umgebenden Flüssigkeit zu verstehen ist. Er stellt den Störfaktor für die eigentliche Messung dar [52]. Wünschenswert wäre allerdings die direkte und ausschließliche Messung des Wechselstromwiderstandes zwischen Mundschleimhaut und Desmodont – also des Gewebewiderstandes – als Referenz zur Ermittlung der apikalen Konstriktion (siehe Abb. 3) [22]. Auch die Gewebeleitfähigkeit ist in einem Wechselstromkreis in Abhängigkeit von der Frequenz verändert. Bei niedrigen Frequenzen bleibt das Zellinnere feldfrei, so dass der Strom nur über Ionen der extrazellulären Flüssigkeit fließen kann. Dies bedeutet, dass das Gewebe hier schlecht leitet. Bei Frequenzwerten von über 10kHz steigt die spezifische Leitfähigkeit, die Zellmembrane werden kapazitiv überbrückt [39]. Die günstigsten Messfrequenzen liegen im Bereich von 1kHz [53]. In einem Gleichstromkreis agiert das Wurzelkanalinstrument entweder als Kathode oder als Anode. Im stets feuchten Milieu des Wurzelkanals finden sich sowohl positiv als auch negativ geladene Teilchen, welche aus der die Messinstrumentenspitze umgebenden Flüssigkeit zur Kathode bzw. Anode wandern. Durch diese Prozesse kommt es zu einer Polarisierung an der Grenzfläche vom metallischen zum elektrolytischen Leiter, was zu einer Änderung des Widerstandes führt [22]. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Geräte der neuesten Generation entwickelt, die mit der Ermittlung des Impedanzquotienten arbeiten. Das Funktionsprinzip beruht darauf, dass gleichzeitig die Wechselstromwiderstände bei zwei unterschiedlichen Frequenzen gemessen werden. Die Elektrolyte im Wurzelkanal beeinflussen die über den Impedanzquotienten errechneten Werte nur noch unwesentlich. Beim Passieren der apikalen Konstriktion verändert sich das Verhältnis der Elektrodenimpedanz schlagartig und gibt dadurch Auskunft über die Lage der Messinstrumentenspitze im Wurzelkanal [22]. Das zugrunde liegende

physikalische Phänomen ergibt sich daraus, dass die aktive Elektrodenoberfläche über die der Strom im Wurzelkanal fließt, aufgrund der Isolation durch die Kanalwand klein und konstant ist. Wird die Instrumentenspitze über den Wurzelkanal hinaus geschoben, vergrößert sich die Oberfläche. Der Strom kann in alle Richtungen fließen, was zur Folge hat, dass die Elektrodenimpedanz im Wurzelkanal groß und konstant ist, aber außerhalb des Kanals mit zunehmendem Vorschub kleiner wird [56]. Frequenzabhängige Lokalisatoren messen immer den Impedanzunterschied bei einer hohen (8kHz) und einer niedrigen Frequenz (400Hz). Je weiter die Elektrode im Wurzelkanal vorgeschoben wird, wächst der Frequenzunterschied und ist an der Konstriktion am größten [16]. Durch ihre Mikroprozessorunterstützung ist bei diesen Geräten keine Kalibrierung im Kanal mehr nötig. Damit können sie auch während der Aufbereitung mit einem rotierenden Instrument eingesetzt werden. Auch der elektrolytische Einfluss auf die endometrische Messung kann nun vernachlässigt werden [22]. Wird eine Elektrolytlösung im Wurzelkanal durch eine andere ersetzt, verändert sich auch die Impedanz  $Z_1$  im gleichen Maße wie  $Z_2$ . Das Verhältnis  $Z_1 : Z_2$  bleibt unverändert. Auf diese Weise stellt das Verhältnis  $Z_1$  zu  $Z_2$  einen definitiven Wert dar, der Aussagen über die Position der Elektrode im Wurzelkanal unabhängig vom Kanalinhalt zulässt [51].

### **2.2.3.2. Vor - und Nachteile der endometrischen Längenbestimmung**

Durch Apexlokalisatoren kann bei entsprechender Indikation (Schwangerschaft, Kinder) auf eine Röntgenmessaufnahme verzichtet werden [43], was eine geringere Strahlenbelastung und eine verkürzte Behandlungszeit bedeutet [31]. Auch wenn Untersuchungen gezeigt haben, dass die Endometrie eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der apikalen Konstriktion darstellt, und die Röntgentechnik im Vergleich teilweise sogar dazu neigt, die Arbeitslänge eher zu kurz anzugeben [45], ist es ein Fehler anzunehmen, „Apex Finder“ könnten die Röntgenaufnahme in der Endodontie überflüssig machen. BRUNTON ET AL. [7] haben in einer Studie gezeigt, dass elektronische Apexlokalisatoren die apikale Konstriktion - wenn sie korrekt angewandt werden - mit so großer Genauigkeit bestimmen, dass eine radiologische Bestimmung der Arbeitslänge nicht mehr notwendig ist. Dennoch ist ein präoperatives Röntgenbild zur Bestätigung des Diagnoseverdachtes und eine postoperative Aufnahme zur Beurteilung der Füllung unumgänglich [7]. Kombiniert man die radiologische und die

endometrische Methode zur Längenbestimmung sinnvoll, so lässt sich die Arbeitslänge mit hoher Genauigkeit bestimmen [23]. Eine wichtige Ergänzung bietet die Endometrie immer dann, wenn es an Hand der Röntgenbilder schwer ist die genaue Arbeitslänge festzulegen. Solche Situationen treten oft an Oberkiefermolaren auf, wenn z.B. der Processus zygomaticus den Apex des Zahnes überlagert, und somit die radiologische Auswertung schwierig macht. Ebenso können Apexlokalisatoren Behandlern, die mehrere Röntgenbilder benötigen, um akzeptable Ergebnisse für die Kalkulation der Arbeitslänge zu erhalten, als Hilfe dienen. In diesem Fall wird das Gerät benutzt, um einen Wert vorhersagen zu können, der durch die Radiologie bestätigt werden kann [16]. Umgekehrt kann natürlich auch die radiologisch bestimmte Länge mit Endometriegeräten überprüft werden. Diese kann nämlich in Abhängigkeit vom Winkel, mit dem die Röntgenstrahlen auf den Zahn treffen unterschiedlich ausfallen [7]. Wie PRATTEN und MCDONALD [45] in einem Versuch gezeigt haben, ist die radiologische Methode dazu geneigt, die Arbeitslänge verkürzt anzugeben. In ihren Untersuchungen wurde die Länge in 63% der Fälle mehr als 0,5mm zu kurz bestimmt. Diese Tendenz der röntgenologischen Auswertung kann mehrere Gründe haben. Zum einen spielt die Erfahrung des Behandlers eine Rolle, die korrekte Abweichung der Aufbereitungslänge zu erkennen. Zum anderen liegt oft die fälschliche Annahme vor, die apikale Konstriktion sei immer 1mm vor dem röntgenologischen Apex [45]. In solchen Fällen stellt die Endometrie eine sinnvolle Ergänzung bei der Wurzelkanalbehandlung dar, die mit einer visuellen Darstellung des Instrumentenvorschubs im gesamten Wurzelkanal einen besonderen Bedienungskomfort bietet. Bei richtiger Anwendung helfen Mehrfrequenzgeräte die apikale Konstriktion und somit den apikalen Endpunkt mit einer Genauigkeit von ca. 90% zu bestimmen [59]. Die frühe Erkennung und sofortige Behandlung einer iatrogenen Wurzelperforation ist sehr wichtig, um gute Prognosen stellen zu können. Radiologisch kann es oft sehr schwer sein Perforationen zu erkennen, vor allem wenn sie bucco-lingual auftreten. KAUFMANN ET AL. [31] untersuchte hinsichtlich der Entdeckung solcher Läsionen die Einsatzmöglichkeit von Endometriegeräten und konnte in vitro an menschlichen Zähnen nachweisen, dass die Anwendung von Apexlokalisatoren in dieser Richtung durchaus sehr effektiv ist. Weiterhin bietet die elektronische Bestimmung der apikalen Konstriktion den Vorteil, dass sie in jedem Stadium der Wurzelkanalaufbereitung zur Kontrolle eingesetzt werden kann [43]. Es sind auch bereits maschinelle Aufbereitungsgeräte auf dem Markt (z.B.

Tri Auto ZX, J. Morita Corp., Japan), die mit einem Apexlokalisator kombiniert sind, so dass der Behandler zu jedem Zeitpunkt der Wurzelkanalaufbereitung darüber informiert, an welcher Stelle sich die Spitze seines Instrumentes gerade im Wurzelkanal befindet [31]. Solche Geräte ermitteln nicht nur ständig die Position der Feile, sie stoppen auch automatisch am Apex oder einem vorher definierten Referenzpunkt die Rotation. Dadurch werden eine Überinstrumentierung und Apexperforation verhindert [18].

Eine erfolgreiche endometrische Längenmessung des Wurzelkanals ist allerdings auch an einige Voraussetzungen gebunden. So kann die Genauigkeit von Apexlokalisatoren durch Kontakt des Messinstrumentes zu metallischen Restaurationen oder Speichel (auch über undichte Restaurationen) beeinflusst werden, da in diesem Fall der Stromkreis kurzgeschlossen ist, und so Messfehler auftreten können. Auch kariöse Läsionen können einen Speichel- oder Spülflüssigkeitszutritt erlauben und somit Messfehler verursachen [43]. In diesen Fällen wird der Stromkreis zu früh geschlossen. Das Gerät könnte in diesem Fall möglicherweise das Erreichen des Apex anzeigen, bevor die Instrumentenspitze den tatsächlichen Apex erreicht hat. Auch parapulpäre Stifte, sehr große Seitenkanäle, Gingivawucherungen in der Kavität oder Perforationen können die Ursache für eine sog. „falsch positive Messung“ sein. Man kann aber versuchen diese Mängel zu umgehen, indem man eine adäquate Aufbaufüllung legt und/oder Kofferdam verwendet [12]. Weiterhin kann eine starke Erweiterung des Wurzelkanals bzw. der apikalen Konstriktion durch Preflaring oder Rekapitulation eine Verfälschung der Messergebnisse hervorrufen, wobei nach Erweiterung der physiologischen Enge eine größere Streuung der Messwerte mit Tendenzen zu verkürzten Messungen auftritt [12]. Probleme können vor allem auch bei Wurzelkanälen nach Revision von Wurzelkanalfüllungen auftreten, da die verwendeten Materialien bei unvollständiger Entfernung als Isolator wirken können. Die apikale Konstriktion kann mit Dentinspänen verlegt sein. Ein ausreichender Stromfluss würde verhindert [43]. Obliterierte Wurzelkanäle führen ebenso dazu, dass der Stromkreis nicht geschlossen werden kann. Somit kann, obwohl sich die Instrumentenspitze bereits am Apex befindet, kein Erreichen am Gerät angezeigt werden. Es liegt eine sog. „falsch negative Messung“ vor, die zur Abklärung eine klassische Röntgenmessaufnahme erforderlich macht [12]. Ein entscheidender Nachteil der Endometrie gegenüber dem Röntgenbild besteht darin, dass die Röntgenaufnahme immer

noch die einzige Möglichkeit für den Arzt bietet, vom zu behandelnden Zahn eine visuelle Darstellung zu erhalten. In der Endodontie ist es sehr wichtig, ein Bild von der Krone und der Wurzelanatomie zu haben, um Auskunft über die Wurzelkanalbreite, Kanalkrümmung, Anzahl der Kanäle oder weiterer anatomischer Strukturen zu bekommen [36]. Nicht zuletzt empfiehlt sich die Anfertigung von Röntgenmess- und Röntgenkontrollaufnahmen nach definitiver Füllung aus forensischen Gründen [24]. Auch bei der endodontischen Behandlung im Milchgebiss bei offenem bzw. weiterem Apex stößt die Endometrie an ihre Grenzen. Der Übergang zwischen Wurzelkanal und Gewebe ist in diesem Fall nicht genügend ausgeformt und daher ist eine präzise Messung nicht möglich [12]. Weitere Fehlerquellen ergeben sich aus zu trockenen bzw. zu feuchten Kanälen. Ist der Wurzelkanal vollständig trocken, ist keine Messung möglich, da die elektrische Leitfähigkeit fehlt. Bei zuviel Flüssigkeit befindet sich diese auch in der Kavität/Krone, was vor allem bei mehrwurzeligen Zähnen zu vermeiden ist, da ansonsten eine Verbindung zwischen den Kanälen stattfindet. Es ist unklar, was in diesem Fall gemessen wird [12, 16]. Der Zahnarzt muss diese Zusammenhänge kennen, damit er die Messergebnisse korrekt interpretieren kann. Und eine Röntgenaufnahme ist aus den bereits genannten Gründen unumgänglich [12]. Forschungen von MARTINEZ-LOZANO ET AL [34] und anderen haben gezeigt, dass weder die konventionelle noch die digitale Röntgentechnik, noch die Endometrie in der Bestimmung der wahren Arbeitslänge signifikante Unterschiede zeigen, so dass es jedem Behandler selbst überlassen ist, welche Methode er bevorzugt.

### **2.2.3.3. Indikationen der endometrischen Längenbestimmung**

#### *1. Vorbereitung der Röntgenmessaufnahme*

Sollte eine anfängliche diagnostische Aufnahme nicht durchgeführt worden sein, oder liegt nur eine Panoramaschichtaufnahme des Patienten vor, können die Instrumentenlängen für die Röntgenmessaufnahme mittels eines Endometrieegerätes eingestellt werden [33]. Die Anfertigung einer zusätzlichen Messaufnahme, die bei zu großer Distanz zwischen Instrumentenspitze und Apex notwendig wird, erübrigt sich [24].

## *2. Kontrolle der Arbeitslänge während der Aufbereitung*

Besteht während der Aufbereitung der Verdacht auf einen Verlust der Aufbereitungstiefe, z.B. durch Verbolzen mit Dentinspänen oder Stufenbildung, so kann ohne erneute Röntgenaufnahme jederzeit mit dem Endometer nachkontrolliert werden. Dies gilt auch für die Aufbereitung gekrümmter Wurzeln, bei denen es durch mehr oder weniger starke Begradigung des Kanalverlaufs zu einer Änderung der Arbeitslänge kommen kann [25].

## *3. Endodontische Versorgung während der Schwangerschaft*

Während der Gravidität ist die alleinige Anwendung der Endometrie als Kompromissmaßnahme gerechtfertigt. Die auf Grundlage dieses Wertes durchgeführte Wurzelkanalfüllung sollte allerdings post partum röntgenologisch nachkontrolliert und bei Bedarf revidiert werden. Wird der Kanal nur temporär, z.B. mit einem CaOH<sub>2</sub>-Präparat, versorgt, kann später eine normale adäquate Behandlung stattfinden [24].

## *4. Endodontische Notfallbehandlung*

Muss ein Zahn notfallmässig trepaniert werden, ist aus Zeitgründen eine Röntgenaufnahme oft nicht möglich. Eine alleinige endometrische Längenbestimmung ist hierbei gerechtfertigt. Die Zahl der Patienten, die nach kurzer Zeit mit persistierenden Beschwerden, aufgrund unvollständiger Ausräumung der Pulpa wieder erscheinen, lässt sich so stark reduzieren [24, 25, 33].

## *5. Röntgenologisch nicht lokalisierbarer Apex*

In einigen Fällen ist es nur mit unvertretbarem Aufwand möglich den Apex radiologisch darzustellen (Überlagerung zweier Wurzeln, Überlagerung durch Knochenstrukturen, Osteosyntheseplatten, usw). Hier muss das endometrische Messergebnis zur Bestimmung der Arbeitslänge herangezogen werden [24].

### 3. Ziel der Untersuchung

Obwohl verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, dass elektronische Längenmessgeräte keine signifikanten Unterschiede in der Genauigkeit der Bestimmung der Arbeitslänge im Vergleich zur Röntgenmessmethode aufweisen [58], greifen viele Behandler aus Unsicherheit auf die bewährte Röntgentechnik zurück. Das entscheidende Problem beim unbedenklichen Einsatz von Endometriegeräten besteht in der seit Jahren herrschenden Unsicherheit darüber, ob und unter welchen Bedingungen diese genau messen. Es stellt sich die Frage, inwieweit die derzeit auf dem Markt angebotenen Geräte den hohen Anforderungen gerecht werden, unabhängig von variierenden äußeren Bedingungen zuverlässige und reproduzierbar korrekte Ergebnisse zu liefern.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, drei Endometriegeräte – Root ZX (J.P. Morita, Japan), ProPex (Dentsply DeTray, Konstanz) und Raypex4 (VDW GmbH, München) – in vitro hinsichtlich ihrer Messsicherheit und Reproduzierbarkeit der bestimmten Werte in Abhängigkeit von drei unterschiedlichen Elektrolytlösungen zu überprüfen. Anhand eines Vergleiches der endometrisch bestimmten apikalen Konstriktion mit den durch Wurzelquerschnitte rekonstruierten anatomisch-topographischen Verhältnissen sollen Aussagen über Genauigkeit und Konstanz der Messungen getroffen werden. Um die Zuverlässigkeit und damit die klinische Einsatzfähigkeit dieser drei Apexlokalisatoren beurteilen zu können, werden die Ergebnisse dieser Studie mit denen einer nach derselben Methodik durchgeführten In-vivo-Untersuchung verglichen [38].

## 4. Material und Methode

### 4.1. Beschreibung der Messgeräte

Für die vorliegende Studie wurden drei handelsübliche Endometriegeräte verwendet. Alle arbeiten nach dem Prinzip der Quotientenmethode, d.h. es werden gleichzeitig die Impedanzen bei zwei Wechselstromfrequenzen (0,4 und 8 kHz) im Wurzelkanal gemessen. Das Messprinzip bildet der Quotient der beiden Impedanzwerte [27]. So werden keine absoluten Impedanzen bestimmt, sondern ein Relativwert errechnet, der laut Herstellerangaben von Elektrolyten im Wurzelkanal und von Polarisierungseffekten an den Grenzflächen unabhängig ist [13].

#### 4.1.1. Root ZX (J. Morita, Japan)



Abb. 4: Root ZX

Als Messelektrode wird ein übliches Handinstrument zur Kanalaufbereitung verwendet, welches über einen Clip am Instrumentenhalter des Gerätes angeschlossen wird. Als Gegenelektrode dient eine hakenförmige Schleimhautelektrode, die in den Mundwinkel des Patienten eingehängt wird. Das Root ZX verfügt über eine Analogskala auf dem LCD-Display, welche das apikale Drittel des Wurzelkanals in folgenden Stufen wiedergibt: Apex 0.5 1 1.5 2 2.5 3 [13; 47]. Die Apex-Anzeige erfolgt optisch oder

wahlweise akustisch über einen Alarmregler, der am Boden des Gerätes zuschaltbar ist. Über die „Set-Schraube“, die sich ebenfalls am Boden des Gerätes befindet, ist das Auslösen der Alarmanzeige auf jeden beliebigen Skalenwert einstellbar. Ab Erreichen der Position 2 auf dem Display wird der Alarmton in langsamen Intervallen hörbar. Die Intervalle werden bei weiterem Instrumentenvorschub immer kürzer. Ist die apikale Konstriktion erreicht, ertönt ein Dauersignal, und die Anzeige beginnt zu blinken. Der eingebaute Mikroprozessor kalibriert das Gerät automatisch unmittelbar nach dem Einschalten. Ein manueller Nullabgleich ist nicht erforderlich. Auch zwischen den Messvorgängen muss das Root ZX nicht jeweils in Null-Stellung gebracht werden. Diese automatische Steuerung ermöglicht laut Herstellerangaben zuverlässige Messergebnisse auch bei Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschieden im Wurzelkanal. Das Root ZX wird mit fünf Trockenbatterien betrieben, die eine Betriebsdauer von bis zu 100 Stunden gewährleisten sollen. Eine Anzeige in der oberen rechten Ecke des Displays informiert über den Ladezustand [13].



*Abb. 5: Darstellung des apikalen Drittels im grünen Bereich 1 - Apex*

#### **4.1.2. ProPex (Dentsply DeTrey, Konstanz)**

Die Technik des ProPex beruht auf dem gleichen Prinzip der Wechselstrom-Widerstandsmessung wie das Root ZX. Auch die Messelektroden sind denen des Root ZX gleich – zum einen der Lippenclip für den Mundwinkel des Patienten und zum anderen der Anschlussshaken, der mit dem Wurzelkanalinstrument verbunden wird. Nach Herstellerangaben ist das Gerät mit allen Arten von Wurzelkanalinstrumenten, sowie unter

allen Kanalbedingungen verwendbar. Und durch die Autokalibrierung sind wie beim Root ZX keine manuellen Voreinstellungen notwendig.



*Abb. 6: Propex*

Das ProPex besitzt ein großes Display, welches drei unterschiedliche Anzeigen ermöglicht. Im mittleren Bereich des Wurzelkanals zeigt das Display die Bewegungen des Instruments durch zwei vertikale Pfeile an. Ein nach apikal gerichteter Pfeil erscheint, wenn das Instrument in den Kanal eingeführt wird. Ein nach koronal gerichteter Pfeil erscheint, wenn das Instrument herausgezogen wird. Etwa 2-3mm vor dem Apex weist ProPex durch zwei Signaltöne darauf hin, dass man sich dem Apex nähert. Zusätzlich erscheinen auf dem LCD-Bildschirm zwei blinkende horizontale Pfeile. Im apikalen Bereich schaltet die Anzeige auf einen Zoom um. Das Display ist nun in eine Zehn-Punkte-Skala unterteilt, die von 0.9-0.0 durchnummeriert ist. Zusätzlich zur digitalen Anzeige nimmt der Signalton bei Annäherung an die apikale Konstriktion zu. Beim Erreichen der apikalen Konstriktion gibt das Gerät einen Dauerton ab. Wird die Konstriktion überschritten, wird dies durch ein rotes Licht und ein akustisches Warnsignal angegeben (siehe Abb. 7).



Abb. 7: ProPex-Regeln [12]

Das ProPex wird mit einem Akku betrieben, der in vollem Ladezustand für ca. 200 Behandlungen reicht. Der Ladezustand wird über ein Symbol am linken oberen Displayrand angezeigt [12, 40].

### 4.1.3. Raypex 4 (VDW, München)

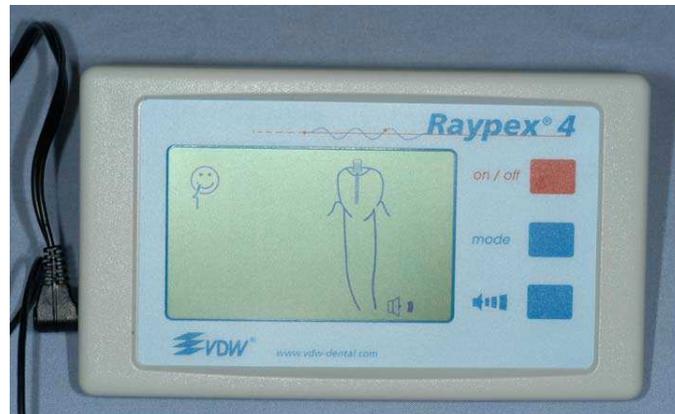


Abb. 8: Messgerät Raypex 4

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. Dies bedeutet, dass sich das Instrument im unteren Drittel des Wurzelkanals befindet. Die Zoom-Anzeige dient der separaten Darstellung des letzten apikalen Abschnitts (siehe Abb. 9) und soll gemäß Herstellerangaben den Instrumentenvorschub bis zur maximalen Konstriktion in Zehnerschritten anzeigen. Die Skalierung stellt laut Hersteller 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 symbolisiert. Das optische Warnsignal wird akustisch unterlegt [14, 42].

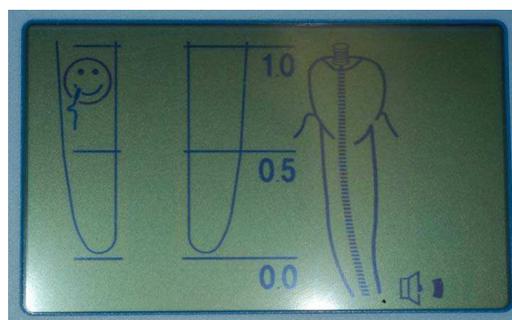


Abb. 9: Zoom-Anzeige mit Darstellung der Skalierung

## 4.2. Versuchsaufbauten

### 4.2.1. Untersuchungsgut

Alle zu untersuchenden, extrahierten Zähne wurden in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert, so dass alle ein inzisales/okklusales Plateau aufwiesen. Die Pulpa wurde extirpiert und die Wurzelkanäle mit 2,5%iger NaOCl-Lösung von Geweberesten gereinigt und anschließend mit einem Räumler ISO 08 auf Gängigkeit überprüft. Die verbleibenden Zahnwurzeln wurden mit Hilfe eines Lichtpolymerisats in eine Plexiglasplatte eingebracht. Sie hatte eine Größe von 45mm x 25mm x 2mm und besaß in der Mitte eine runde Öffnung zur Aufnahme der Versuchswurzel. Als Referenzebene diente das jeweils geschaffene okklusale/inzisale Plateau (siehe Abb. 10). Um die Wurzeln den Messungen zuordnen zu können, wurden sie von 1 bis 36 durchnummeriert. Die so vorbereiteten Zähne wurden in H<sub>2</sub>O gelagert. Für die nachfolgenden Untersuchungen wurden nur die Wurzelkanäle einzeln betrachtet, d.h. es spielte keine Rolle, ob es sich um einen Frontzahn, Prämolaren, Molaren, OK- oder UK-Zahn handelte. Insgesamt lagen 36 zu messende Wurzelkanallängen vor, von denen 8 nicht bestimmt werden konnten, da kein reproduzierbarer Wert ermittelt werden konnte, da der Kanal bereits obliteriert war, oder die Wurzeln zu stark zerstört waren. Diese Kanäle wurden nicht berücksichtigt und tauchen somit in der Statistik nicht auf. Bei den messbaren Wurzelkanälen wurden die Arbeitslängen unter jeder der geschaffenen Bedingungen jeweils dreimal bestimmt und für alle weiteren Auswertungen der daraus errechnete Mittelwert herangezogen.

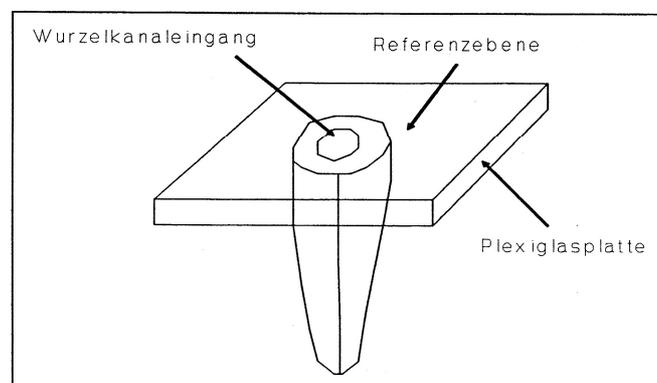


Abb. 10: Probenzahn mit Plexiglassträger

#### **4.2.2. Bestimmung der Konstriktion mit Endometriegeräten**

Eine Plexiglaskammer mit einem Volumen von  $100\text{cm}^3$  war mit 0,9% Kochsalzlösung gefüllt. An der Oberseite befand sich eine runde Öffnung mit einem Durchmesser von 2cm, in der die vorbereiteten Probenzähne über den Plexiglasträger mit zwei Flügelmuttern über einem Dichtungsring fixiert werden konnten. An der einen Seite der Kammer war über eine Stausskanüle eine 10ml-Spritze montiert, über die sich der Kochsalzspiegel in der Kammer regulieren ließ. Damit sich die verschiedenen Spüllösungen im Wurzelkanal nicht mit der Kochsalzlösung in der Plexiglaskammer vermischen konnten, wurden die Versuchszähne vor dem Einspannen in die Messanordnung mit einer ca. 0,5mm dicken Alginatschicht ummantelt. Am Boden der Kammer war eine Flächenelektrode von  $30\text{cm}^2$  aus sandgestrahltem V4A-Blech befestigt, deren elektrischer Anschluss über eine Steckbuchse nach außen zugänglich war. Ein umgebauter Mikroskoptisch trug einen Halter, in den ein Räumler der ISO-Größe 08 eingespannt wurde. Über einen Schrittmotor konnte diese Konstruktion in der Vertikalen im Wurzelkanal des Probenzahnes bewegt werden. Die jeweils zu untersuchenden Endometer wurden über eine Instrumentenklemme mit dem Räumler und über eine Krokodilsklemme mit der Flächenelektrode in der Plexiglaskammer verbunden. Über einen Schrittmotor konnte der Räumler so weit nach apikal bewegt werden, bis die Endometriegeräte die apikale Konstriktion signalisierten. Der Schrittmotor konnte über die Druckerschnittstelle eines Computers mit Hilfe eines eigens dafür in Visual Basic für Windows XP entwickelten Programms angesteuert werden. Der Computer zeigte die Schrittzahl des Motors an, wobei ein Schritt 0,09mm entsprach. Ließ man das Instrument im Wurzelkanal apikalwärts fahren und stoppte, sobald das Endometriegerät beispielsweise anzeigte, dass der Punkt 0 auf der Skala erreicht war, konnte über die am Computer angezeigte Schrittzahl die entsprechende Lage im Wurzelkanal in Millimetern errechnet werden. Als Flüssigkeiten im Wurzelkanal wurden für diesen Versuchsaufbau 0,9%ige Kochsalzlösung, 2,5%iges NaOCl und eine Mischung dieser Lösungen im Verhältnis 1:1 herangezogen. Unter jeder dieser drei Bedingungen wurde jede Wurzel dreimal vermessen und der Mittelwert bestimmt (siehe Abb. 11).

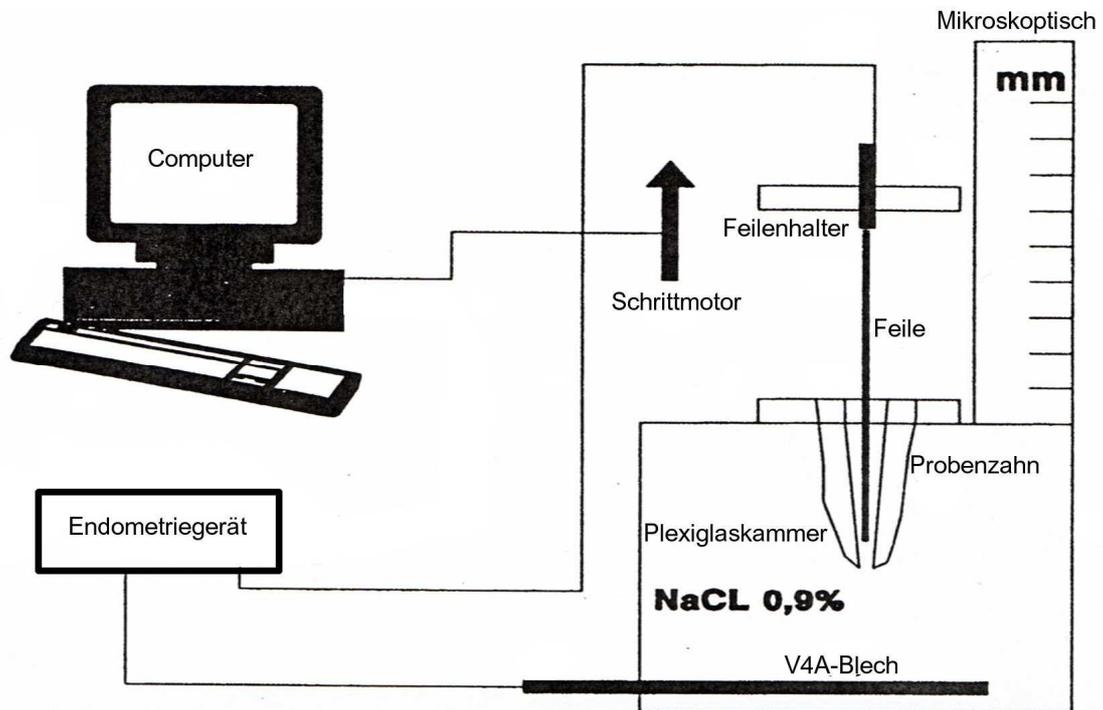
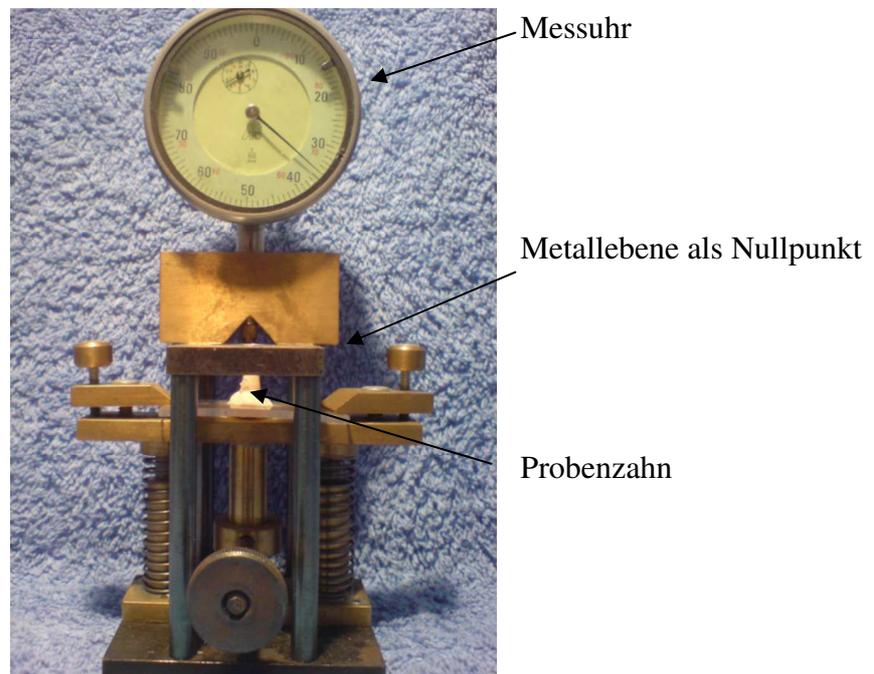


Abb. 11: Schema der Messanordnung (Beschreibung siehe Text)

### **4.2.3. Bestimmung der apikalen Konstriktion durch Querschnittsprofile**

Die Lokalisation der apikalen Konstriktion erfolgte über die Darstellung der Querschnittsflächenprofile. Hierfür wurde zunächst die gesamte Wurzellänge mittels einer digitalen Schiebelehre auf 0,01mm genau bestimmt. Gemessen wurde vom inzisalen/okklusalen Plateau bis zur Wurzelspitze. Anschließend wurden die Zähne in eine eigens dafür konstruierte Schleifmaschine eingespannt (siehe Abb. 12). Mittels der bereits in Abschnitt 4.2.1. beschriebenen Plexiglasplatte konnten die Zähne in der Apparatur über zwei Schrauben so befestigt werden, dass die Wurzelspitze nach oben zeigte. Das so eingebrachte Untersuchungsgut konnte dann über eine Schraube an der Unterseite des Geräts, die mit einem Inbusschlüssel gedreht werden konnte, in der Vertikalen auf und ab gefahren werden. An der Oberseite der Schleifvorrichtung befand sich eine in der Horizontalen angeordnete Metallebene, die in der Mitte eine Bohrung von 2cm Durchmesser aufwies. Über diese Öffnung wurde eine Messuhr gestellt, die auf 0,01mm genau messen konnte. Zur Eichung dieser Uhr diente die Metallebene, die als Nullpunkt angesehen wurde. Ließ man nun die eingespannte Wurzel mit Hilfe der Schraube auf der Unterseite nach oben fahren, so wurde diese mit dem Apex voraus durch die Bohrung in der Metallplatte bewegt. Überschritt nun der Apex die Nullebene, drückte er auf den Stempel der Messuhr. Es wurde so lange gedreht, bis die Uhr anzeigte, dass die Wurzelspitze 0,01mm über der Metallebene liegt. Anschließend wurde die Messuhr abgenommen, und die Wurzel mittels Schleifpapier der Körnung 1000, welches in einen Holzschleifklotz eingespannt wurde, abgeschliffen. Da die Stahlebene sich nicht durch die feine Körnung abtragen ließ, konnte man sicher sein, nur die an der Messuhr angezeigte Länge abzutragen. Der Schleifvorgang war zu Ende, wenn sich der Schleifklotz plan über die Nullebene ziehen ließ. Zur Kontrolle wurde nochmals die Messuhr auf den Apex aufgesetzt, die nun 0 anzeigen musste.



*Abb. 12: Schleifvorrichtung*

Auf diese Weise wurden in 0,01mm-Schritten alle Wurzeln von apikal her abgetragen. Nach jedem Schleifvorgang wurde der Kanalquerschnitt mit einer Spiegelreflex-Digitalkamera vom Typ Nikon D1, die über ein Auflichtmikroskop (Modell Zeiss Stemi SV6) angeschlossen war, unter 25-facher Vergrößerung ab fotografiert (siehe Abb. 13). Die so gewonnenen Bilder wurden direkt an einen Computer übertragen, an dem mit Hilfe des Programms „Image Tool“ die Fläche der einzelnen Wurzelkanalquerschnittsprofile in  $[\mu\text{m}^2]$  bestimmt wurde. Zur Eichung des Computerprogramms 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 Minimum wurde als tatsächliche apikale Konstriktion bestimmt.

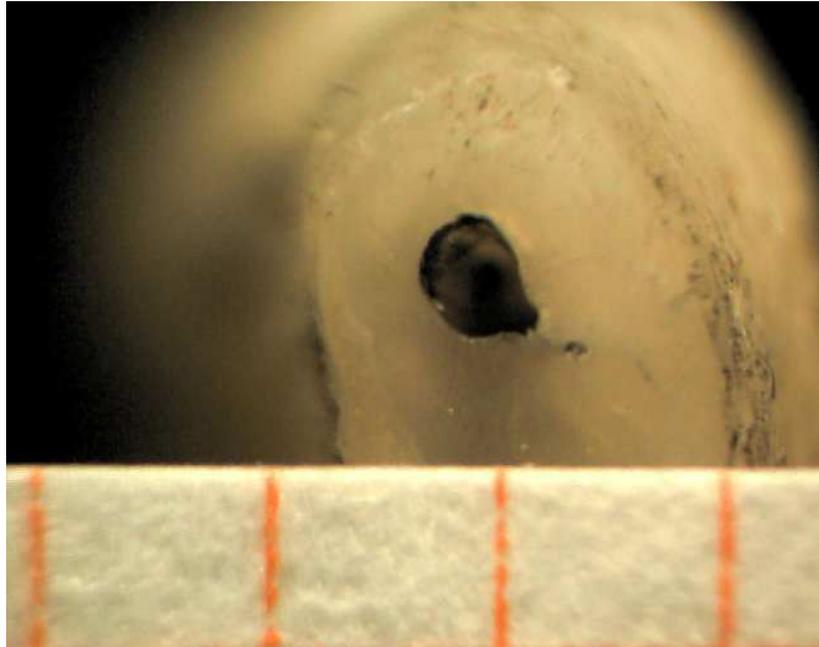


Abb. 13: Ablichtung des Wurzelkanalquerschnitts durch das Mikroskop

In Abbildung 14 ist der Abstand zur Referenzebene (Wurzellänge) gegen die Wurzelkanalquerschnittsfläche für die Wurzel Nr. 8 aufgetragen. Es wird deutlich, dass sich der Wurzelkanal in apikaler Richtung verjüngt, um bei einer Länge von 17,2mm seine minimale Querschnittsfläche zu erreichen, und um im weiteren Verlauf einen apikalen Trichter zu bilden. In diesem Fall wurde die morphologisch bestimmte Konstriktion auf 17,2mm festgelegt.

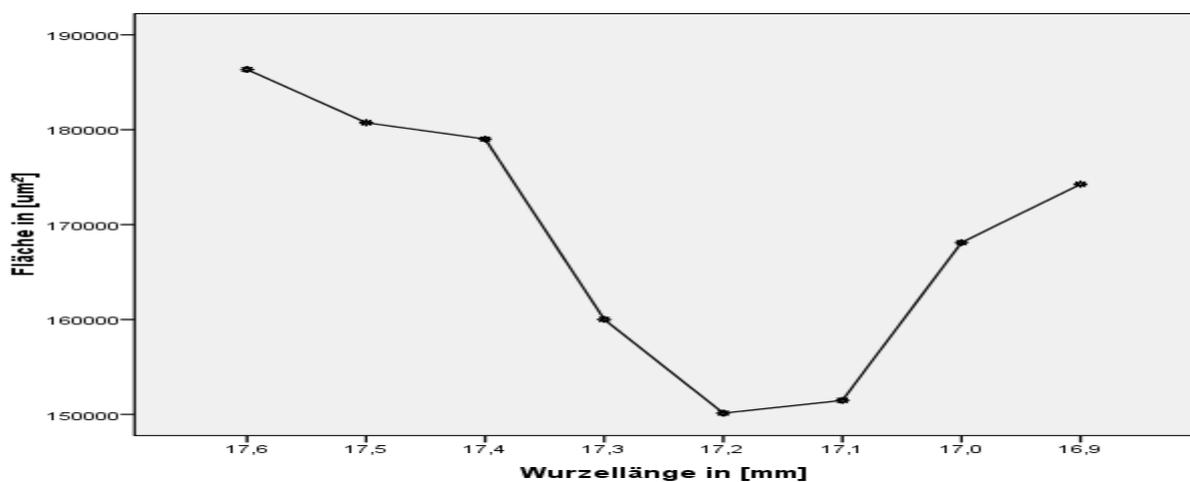


Abb. 14: Wurzelkanalquerschnittsprofil an Hand der Wurzelnummer 8

Um nun die Länge vom inzisalen/okklusalen Plateau bis zum kleinsten Querschnitt zu erhalten, multiplizierte man 0,01mm 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.

### **4.3. Auswertung**

Da in der vorliegenden In-vitro-Studie die Lage der apikalen Konstriktion auf 0,1mm genau bestimmt wurde und dies im Praxisalltag aufgrund verschiedener Faktoren (z.B. eingeschränkte Mundöffnung, Geschick des Behandlers, etc.) in dieser Präzision wohl kaum möglich sein dürfte, sollen im Folgenden die Kriterien, ob ein Gerät gut oder schlecht misst weiter gefasst werden. Zu diesem Zweck wurden zwei Toleranzbereiche (TB I, TB II) festgelegt. TB I meint den Bereich 0,5mm vor der apikalen Konstriktion bis zu dieser. TB II legt den Bereich  $\pm 0,2$ mm um die apikale Konstriktion fest (siehe Kap. 5.4.). Die Kriterien ergeben sich aus den zwei vertretenen Behandlungsphilosophien. Eine dieser Methoden beruht darauf, dass bei jeder endodontischen Behandlung die Gefahr besteht, dass sich der durch die Präparation bildende Schlamm aus Debris apikalwärts an und in die Konstriktion legt und diese verblockt. Ein Teil der vor allem US-amerikanischen Endodontologen möchte aber zum Erzielen einer Wurzelfüllung mit einem kleinen Überschuss an Sealer/Gutterpercha (sog. „Puffs“) durch die Konstriktion und diese natürliche Engstelle während der endodontischen Behandlung gängig halten. Zu diesem Zweck wird immer wieder zwischen den bis an die Konstriktion heranarbeitenden Aufbereitungsinstrumenten mit sog. „patency files“ (ISO # 10 oder # 15 K-Feile) die Konstriktion durchstoßen [48], d.h. es wird über die apikale Konstriktion hinaus gearbeitet. Dies wird gerade als Nachweis einer erfolgreichen Reinigung und Obturation angesehen und beweist in vielen Fällen, v.a. in der Schilder-Technik, dass diese Methode klinisch erfolgreich ist [20]. Die zweite Philosophie postuliert eine Aufbereitung und Obturation bis zur apikalen Konstriktion, um eine Zerstörung des parodontalen Ligaments und ein Überpressen von Füllmaterial zu verhindern und akzessorische Seitenkanäle zu erhalten [4, 6].

Wie bereits unter 3. erwähnt, sollen die aus der hier vorliegenden In-vitro-Studie ermittelten Daten mit denen einer nach derselben Methodik durchgeführten In-vivo-Studie verglichen werden, um die klinische Relevanz beurteilen zu können. Zunächst wurden die Zähne in vivo vermessen, dann extrahiert und unter den bereits beschriebenen In-vitro-Bedingungen untersucht. Aus technischen Gründen arbeitete man bei der In-vivo-Untersuchung nur mit NaOCl-Lösung entsprechend der des In-vitro-Versuchaufbaus. Deshalb bezieht sich der folgende Vergleich auch nur auf die Messdaten unter NaOCl-Bedingungen. Betrachtet wird die statistische Signifikanz auf 5% Niveau mittels t-Test für unabhängige Stichproben zwischen In-vivo- und In-vitro-Verhältnissen für die einzelnen Endometer (siehe Kap 5.6.3.).

## 5. Ergebnisse

Die folgenden Tabellen zeigen für jedes einzelne Gerät die Prozentwerte für die Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Kanallänge. Unterschieden wird zwischen den verschiedenen Lösungen im Kanal, d.h. NaCl, NaOCl und beide miteinander vermischt (NaCl+NaOCl). Des Weiteren wird unterteilt in die Skalenwerte 0.0, 0.5 und 1.0 auf der Anzeige des jeweiligen Endometriegerätes. In allen Tabellen ist in der ersten Spalte 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 der Konstriktion. Positive Werte bezeichnen zu lange Messungen, d.h. die Instrumentenspitze lag bei entsprechender Anzeige apikal der Konstriktion. Grau markiert sind die Werte, an denen exakt die apikale Konstriktion erreicht wurde. Der Stichprobenumfang beträgt für alle aufgeführten Messungen n=28.

### 5.1. Messungen in 0,9% NaCl

| Skaleneinheit | ROOT ZX |       |       | PROPEX |       |       | RAYPEX |       |       |
|---------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|               | 0.0     | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   |
| < - 0,5 mm    | 0,0%    | 10,7% | 10,7% | 0,0%   | 3,6%  | 17,9% | 3,6%   | 3,6%  | 21,4% |
| -0,5 mm       | 3,6%    | 0,0%  | 7,1%  | 3,6%   | 3,6%  | 14,3% | 0,0%   | 7,1%  | 7,1%  |
| -0,4 mm       | 0,0%    | 3,6%  | 21,4% | 0,0%   | 7,1%  | 17,9% | 0,0%   | 10,7% | 25%   |
| -0,3 mm       | 3,6%    | 21,4% | 21,4% | 0,0%   | 25%   | 14,3% | 3,6%   | 10,7% | 10,7% |
| -0,2 mm       | 7,1%    | 17,9% | 14,3% | 10,7%  | 17,9% | 7,1%  | 14,3%  | 14,3% | 10,7% |
| -0,1 mm       | 7,1%    | 17,9% | 7,1%  | 10,7%  | 14,3% | 21,4% | 7,1%   | 17,9% | 14,3% |
| 0,0 mm        | 25%     | 7,1%  | 7,1%  | 17,9%  | 3,6%  | 3,6%  | 25%    | 21,4% | 7,1%  |
| +0,1 mm       | 14,3%   | 10,7% | 3,6%  | 28,6%  | 14,3% | 0,0%  | 14,3%  | 10,7% | 0,0%  |
| +0,2 mm       | 17,9%   | 3,6%  | 0,0%  | 7,1%   | 7,1%  | 0,0%  | 17,9%  | 0,0%  | 0,0%  |
| +0,3 mm       | 10,7%   | 0,0%  | 3,6%  | 10,7%  | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 0,0%  | 0,0%  |
| +0,4 mm       | 3,6%    | 3,6%  | 0,0%  | 3,6%   | 0,0%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 0,0%  |
| +0,5 mm       | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%  | 0,0%  |
| > +0,5 mm     | 7,1%    | 3,6%  | 3,6%  | 3,6%   | 3,6%  | 3,6%  | 3,6%   | 3,6%  | 3,6%  |

*Tabelle1: Prozentzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge (relative Häufigkeit)*

Die Geräte Root ZX und Raypex liegen bei der genauen Apexlokalisierung bei Skaleneinheit 0.0 mit 25% exakter als Propex mit 17,9%. Auffällig ist, dass bei Propex die Mehrzahl der Messungen mit 28,6%, um 0,1mm zu lang ausfielen. Bei exakter Lokalisation der Konstriktion am Skalenwert 0.5 fallen Root ZX und Propex mit 7,1% bzw. 3,6% deutlich hinter Raypex mit 21,4%. Bei Root ZX liegt die Mehrzahl der Messungen mit 21,4% um 0,3mm zu kurz. Propex misst ebenfalls in den meisten Fällen (25%) um 0,3mm zu kurz. Bei exakter Konstriktionsbestimmung am Anzeigewert 1.0 der jeweiligen Endometriegeräte, stehen Root ZX und Raypex mit jeweils 7,1% und Propex mit nur 3,6% sehr schlecht da. Für Root ZX als auch für Raypex fällt auf, dass diese Geräte in 21,4% der Messungen um 0,4mm zu kurz lagen, während Propex in 21,4% der Fälle nur um 0,1mm vor der Konstriktion lag.

## 5.2. Messungen in 2,5% NaOCl

| Skaleneinheit | ROOT ZX |       |       | PROPEX |       |       | RAYPEX |       |       |
|---------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|               | 0.0     | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   |
| < - 0,5 mm    | 0,0%    | 7,1%  | 14,3% | 0,0%   | 14,3% | 21,4% | 0,0%   | 3,6%  | 21,4% |
| -0,5 mm       | 3,6%    | 3,6%  | 7,1%  | 3,6%   | 0,0%  | 17,9% | 3,6%   | 0,0%  | 17,9% |
| -0,4 mm       | 0,0%    | 0,0%  | 21,4% | 7,1%   | 7,1%  | 7,1%  | 0,0%   | 3,6%  | 7,1%  |
| -0,3 mm       | 0,0%    | 17,9% | 10,7% | 0,0%   | 10,7% | 17,9% | 0,0%   | 10,7% | 17,9% |
| -0,2 mm       | 3,6%    | 17,9% | 14,3% | 3,6%   | 17,9% | 14,3% | 3,6%   | 17,9% | 14,3% |
| -0,1 mm       | 17,9%   | 17,9% | 17,9% | 3,6%   | 14,3% | 10,7% | 25%    | 10,7% | 10,7% |
| 0,0 mm        | 14,3%   | 14,3% | 7,1%  | 14,3%  | 14,3% | 7,1%  | 14,3%  | 32,1% | 7,1%  |
| +0,1 mm       | 17,9%   | 10,7% | 3,6%  | 14,3%  | 7,1%  | 0,0%  | 10,7%  | 3,6%  | 0,0%  |
| +0,2 mm       | 14,3%   | 7,1%  | 3,6%  | 21,4%  | 7,1%  | 3,6%  | 14,3%  | 3,6%  | 3,6%  |
| +0,3 mm       | 17,9%   | 3,6%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 0,0%  | 17,9%  | 3,6%  | 0,0%  |
| +0,4 mm       | 3,6%    | 0,0%  | 0,0%  | 14,3%  | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 0,0%  | 0,0%  |
| +0,5 mm       | 3,6%    | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 3,6%  | 0,0%  | 0,0%   | 7,1%  | 0,0%  |
| > +0,5 mm     | 3,6%    | 0,0%  | 0,0%  | 7,1%   | 3,6%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 0,0%  |

*Tabelle 2: Prozentzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge (relative Häufigkeit)*

Die Häufigkeit für die exakte Konstriktionsbestimmung bei 0.0 fällt bei allen 3 Geräten mit 14,3% gleich aus. Propex misst in 21,4% der Fälle um 0,2mm zu lang, während Raypex in 25% aller Messungen um 0,1mm zu kurz lag. Bei Root ZX ist kein eindeutiges Maximum erkennbar. Zu 17,9% liegen die Messungen um 0,1mm zu kurz und ebenso zu 17,9% um 0,1mm bzw. 0,3mm zu lang. Am Skalenwert 0.5 liegt Raypex bei genauer

Konstriktionslokalisierung mit 32,1% deutlich exakter als Root ZX und Propex mit jeweils 14,3%. Root ZX neigt in 17,9% der Fälle um 0,1mm, 0,2mm bzw. 0,3mm zu kurz zu messen, Propex in 17,9% aller Messungen um 0,2mm zu kurz. Root ZX und Propex zeigen mit 7,1% eine sehr geringe Häufigkeit zur exakten Bestimmung bei 1.0. Raypex fand bei dieser Messreihe in keinem der Fälle die Konstriktion. Root ZX misst in 21,4% der untersuchten Kanäle um 0,4mm Propex in 21,4% um mehr als 0,5mm und Raypex in 32,1% um 0,3mm zu kurz.

### 5.3. Messungen in NaCl+NaOCl (Verhältnis 1:1)

| Skaleneinheit | ROOT ZX |       |       | PROPEX |       |       | RAYPEX |       |       |
|---------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|               | 0.0     | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   | 0.0    | 0.5   | 1.0   |
| < - 0,5 mm    | 0,0%    | 7,1%  | 17,9% | 0,0%   | 3,6%  | 21,4% | 0,0%   | 3,6%  | 14,3% |
| -0,5 mm       | 3,6%    | 10,7% | 3,6%  | 3,6%   | 7,1%  | 10,7% | 3,6%   | 3,6%  | 7,1%  |
| -0,4 mm       | 0,0%    | 0,0%  | 7,1%  | 0,0%   | 3,6%  | 14,3% | 0,0%   | 3,6%  | 32,1% |
| -0,3 mm       | 0,0%    | 7,1%  | 28,6% | 0,0%   | 17,9% | 14,3% | 0,0%   | 17,9% | 17,9% |
| -0,2 mm       | 0,0%    | 25,0% | 10,7% | 0,0%   | 10,7% | 21,4% | 3,6%   | 32,0% | 7,1%  |
| -0,1 mm       | 14,3%   | 10,7% | 21,4% | 17,9%  | 17,9% | 14,3% | 10,7%  | 17,9% | 10,7% |
| 0,0 mm        | 17,9%   | 17,9% | 10,7% | 7,1%   | 17,9% | 0,0%  | 31,2%  | 14,3% | 3,6%  |
| +0,1 mm       | 35,7%   | 21,4% | 0,0%  | 25%    | 14,3% | 0,0%  | 21,4%  | 3,6%  | 0,0%  |
| +0,2 mm       | 17,9%   | 0,0%  | 0,0%  | 25%    | 3,6%  | 0,0%  | 10,7%  | 0,0%  | 7,1%  |
| +0,3 mm       | 7,1%    | 0,0%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 3,6%  | 10,7%  | 3,6%  | 0,0%  |
| +0,4 mm       | 3,6%    | 0,0%  | 0,0%  | 7,1%   | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%  | 0,0%  |
| +0,5 mm       | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 0,0%  | 0,0%  |
| > +0,5 mm     | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%  | 3,6%   | 3,6%  | 0,0%  | 3,6%   | 3,6%  | 0,0%  |

*Tabelle 3: Prozentzahlen der Differenzen zwischen endometrisch bestimmter und tatsächlicher Länge (relative Häufigkeit)*

Am Skalenwert 0.0 hebt sich Raypex mit einer Häufigkeit von 31,2% für die exakte Konstriktionsbestimmung deutlich von Root ZX mit 17,9% und Propex mit 7,1% ab. Sowohl bei Root ZX als auch bei Propex fällt die Mehrzahl der Messungen mit 35,7% bzw. 25% um 0,1mm zu lang aus. Die Geräte Root ZX und Propex liegen bei genauer Konstriktionslokalisierung bei 0.5 mit 17,9% etwas exakter als Raypex mit 14,3%. Auffällig ist, dass Root ZX bei 21,4% um 0,1mm zu lang und bei 25% der Messungen um 0,2mm zu kurz gelegen ist. Propex misst in ebenso vielen Fällen (17,9%), wie das Gerät exakt die

Konstriktion trifft, um 0,3mm zu kurz. Raypex zeigt sein Maximum mit 32% bei 0,2mm zu kurz. Bei 1.0 ist Root ZX mit einer Genauigkeit von 10,7% besser als Propex mit 0% und Raypex mit 3,6%. Es muss hervorgehoben werden, dass alle drei Geräte hauptsächlich zu kurz messen – Root ZX in 28,6% der Fälle um 0,3mm zu kurz, Propex in 21,4% der Fälle um 0,2mm bzw. sogar um mehr als 0,5mm zu kurz und Raypex bei 32,1% um 0,4mm zu kurz.

#### 5.4. Ergebnisdarstellung für unterschiedliche Toleranzbereiche

Die nachfolgenden schematischen Apexdarstellungen geben die Häufigkeit für jedes einzelne Gerät in den jeweils unterschiedlichen Lösungen und der verschiedenen Skaleneinteilung an. Hierfür werden sowohl einmal die Bereiche 0,5mm bzw. 0,2mm vor, sowie exakt an der Konstriktion (0) (TB I), als auch die Bereiche exakt an der Konstriktion (0)  $\pm$  0,2mm (TB II) zusammengefasst (siehe Kap. 4.3.). Die Angaben hinter den geschweiften Klammern in den Tabellen geben dabei die gesamte Erfolgsquote in den jeweils oben beschriebenen Bereichen und den jeweiligen Skalenwerten 0.0/0.5/1.0 neben den Tabellen an. Farblich hervorgehoben sind die höchsten Trefferquoten.

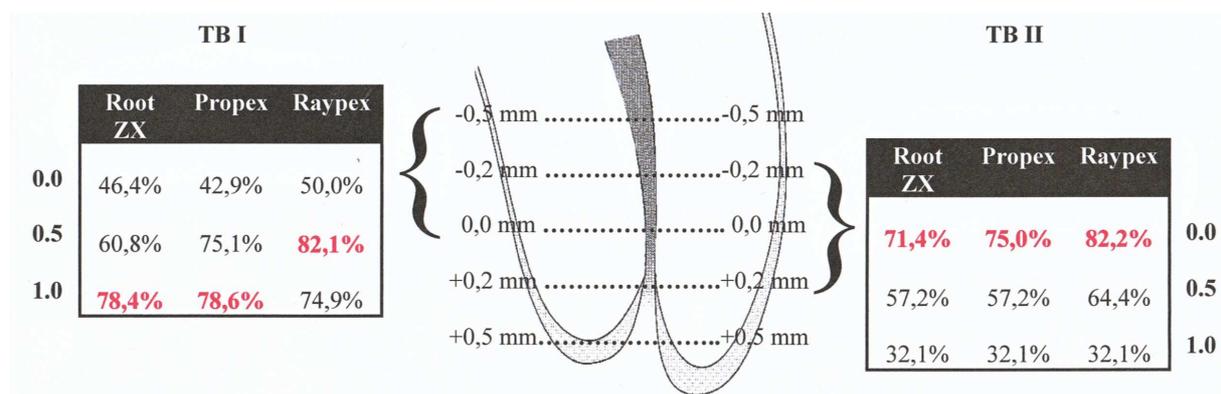


Abb. 15: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion in NaCl

Es zeigt sich, dass das Gerät Root ZX in NaCl im Bereich von 0,5mm vor dem Foramen Physiologicum bis zur Konstriktion am Skalenwert 1.0 mit 78,4% die größte Häufigkeit aufweist. Für TB II liegen die meisten Treffer mit 71,4% bei der Skaleneinheit 0.0. Propex weist in NaCl am Skalenwert 1.0 mit 78,6% im Bereich TB I die höchste Trefferquote auf.

Für TB II ergibt sich die größte Häufigkeit mit 75,0% an der Skaleneinteilung 0.0. Auffällig zeigt sich bei Raypex, dass das Maximum sowohl für TB I als auch für TB II mit 82,1% bzw. 82,2% fast identisch ist. Der Unterschied liegt allerdings darin, dass 82,2% für den Bereich um die Konstriktion an der Skaleneinheit 0.0 und die 82,1% beim Anzeigewert 0.5 erreicht werden (siehe Abb. 15).

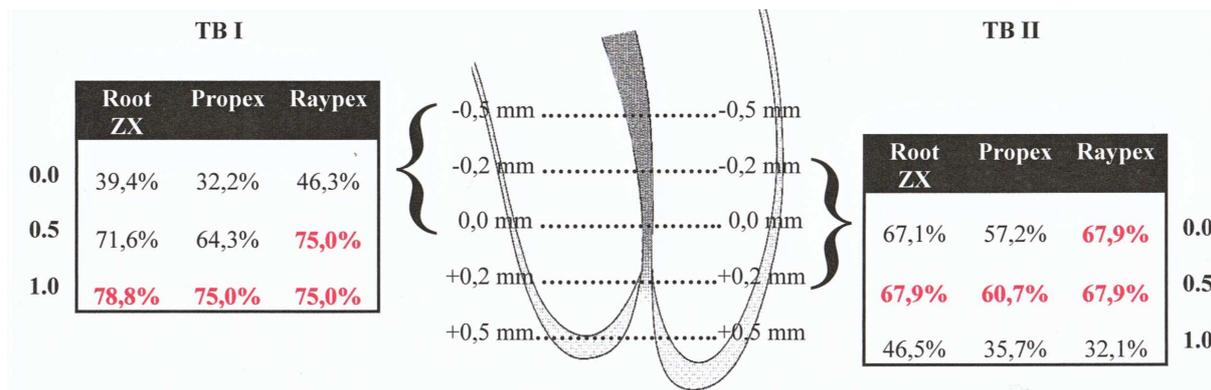


Abb. 16: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion in NaOCl

In NaOCl verhält sich Root ZX ähnlich wie in Kochsalz. Das Maximum liegt auch hier bei TB I mit 78,8% bei Skalenswert 1.0. Auffällig ist jedoch, dass bei Skala 0.5 zu 71,6% deutlich mehr und bei 0.0 zu 39,4% deutlich weniger richtige Messungen erzielt wurden als in NaCl. Für TB II zeigt sich für den Skalenswert 0.0 zu 67,1% und 0.5 zu 67,9% kaum ein Unterschied. Am Anzeigepunkt 1.0 werden mit 46,5% deutlich mehr exakte Messungen erzielt als in Kochsalz. Ebenso wie in NaCl ergibt sich für Propex in NaOCl im Messbereich TB I mit 75,0% wieder ein Maximalwert an der Skaleneinheit 1.0. Im Bereich um den Nullpunkt verhält es sich allerdings diesmal anders, da hier die häufigsten Treffer mit 60,7% am Anzeigewert 0.5 erreicht wurden. In NaOCl verhält es sich für Raypex ebenso: Es ist kein eindeutiger Höchstwert feststellbar. Für TB I ergeben sich für den Skalenswert 0.5 und 1.0 jeweils 75%. In TB II liegt das Maximum mit jeweils 67,9% bei 0.0 bzw. 0.5 Anzeigewert (siehe Abb. 16).

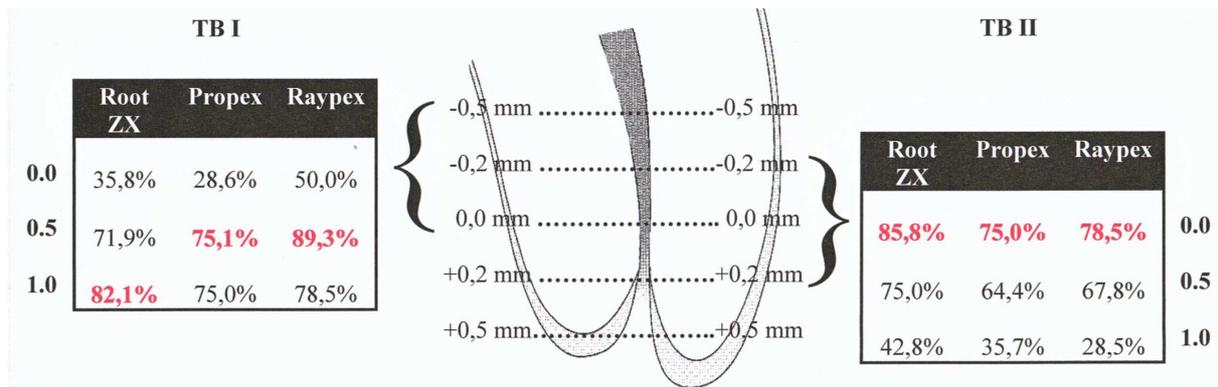


Abb. 17: Prozentuale Verteilung der Messergebnisse zur apikalen Konstriktion in NaCl+NaOCl

Bringt man eine Mischung aus NaCl und NaOCl (Verhältnis 1:1) in den Wurzelkanal ein, ergibt sich wieder für Root ZX für TB I die exakteste Messung am Skalenwert 1.0 mit 82,1%, die damit auch höher liegt als bei den separat eingebrachten Lösungen. Für TB II ergibt sich das Maximum zu 85,8% bei der Skaleneinteilung 0.0. In einer Mischung aus NaCl und NaOCl verhält sich Propex ähnlich gegenüber den einzeln eingebrachten Lösungen. Wobei für TB I kein eindeutiges Maximum erkennbar ist, so wie es in NaCl und NaOCl jeweils am Anzeigenwert 1.0 der Fall ist. Die Höchstwerte für TB I ergeben sich an der Skaleneinheit 0.5 und 1.0 mit 75,1% bzw. 75,0%. Im TB II verhält es sich wie in reiner Kochsalzlösung, die meisten Treffer ergeben sich bei 0.0 mit 75,0%. Für TB I erzielt Raypex bei Skalenwert 0.5 eine Trefferquote von 89,3%. Für TB II zeigt sich ein Maximum bei 0.0 von 78,5% (siehe Abb. 17).

## 5.5. Graphische Darstellung der Ergebnisse

In den folgenden Graphen ist für jedes einzelne Gerät, getrennt nach den drei verschiedenen Lösungen (NaCl, NaOCl, NaCl+NaOCl), der Verlauf der Messungen für alle Wurzelkanäle dargestellt. Jedes Diagramm besteht aus drei Linien, wobei jede Gerade für jeweils einen Skalenwert des jeweiligen Gerätes steht (siehe Legende neben Graph). Auf der X-Achse befindet sich die Entfernung in [mm] von der apikalen Konstriktion. 0 steht für das Foramen Physiologicum. Negative Werte stehen für zu kurze und positive für zu lange Messungen. An der Y-Achse lässt sich der prozentuale Anteil, d.h. wie oft ein Wert aufgetreten ist, ablesen. An Hand dieser Darstellungen soll überprüft werden, ob es im Zusammenhang mit der Skaleneinheit an den einzelnen Endometern eine Links- bzw. Rechtsverschiebung bezüglich der relativen Häufigkeit der Messwerte um/an der apikalen Konstriktion gibt. (zur genaueren Erläuterung siehe 4.3. Statistische Auswertung).

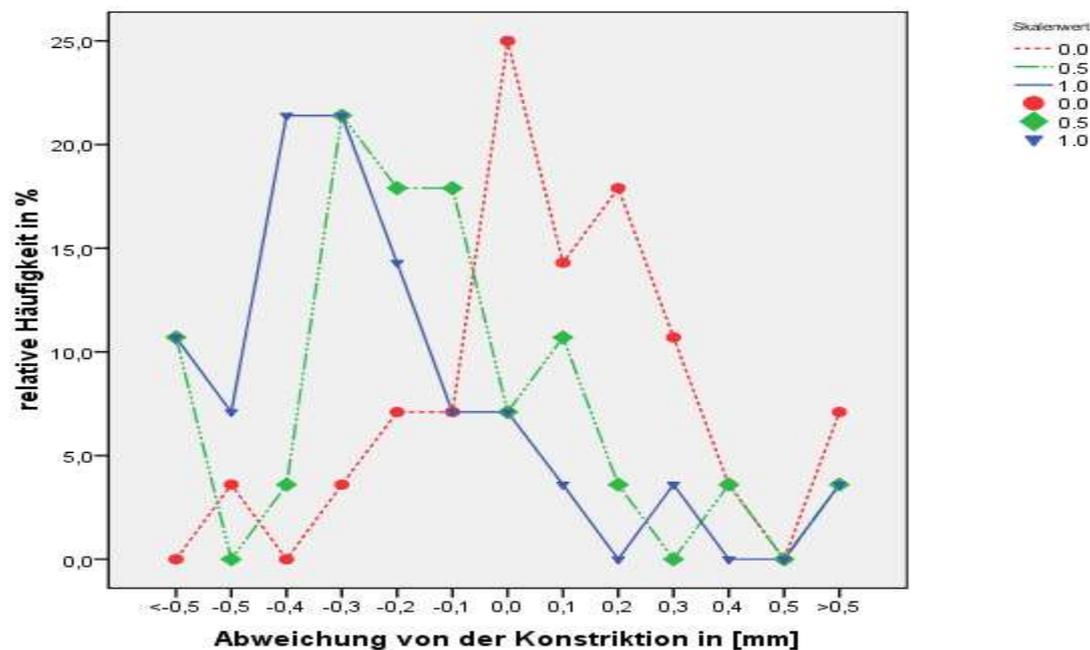


Abb. 18: Darstellung der relativen Häufigkeit für Root ZX in NaCl

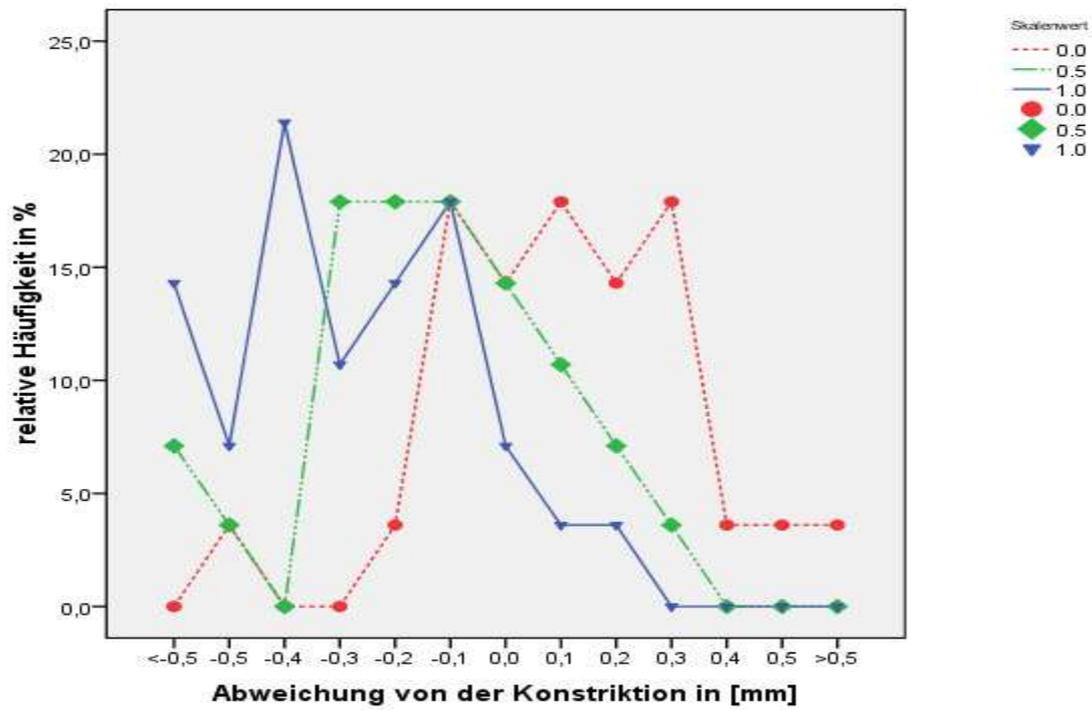


Abb. 19: Darstellung der relativen Häufigkeit für Root ZX in NaOCl

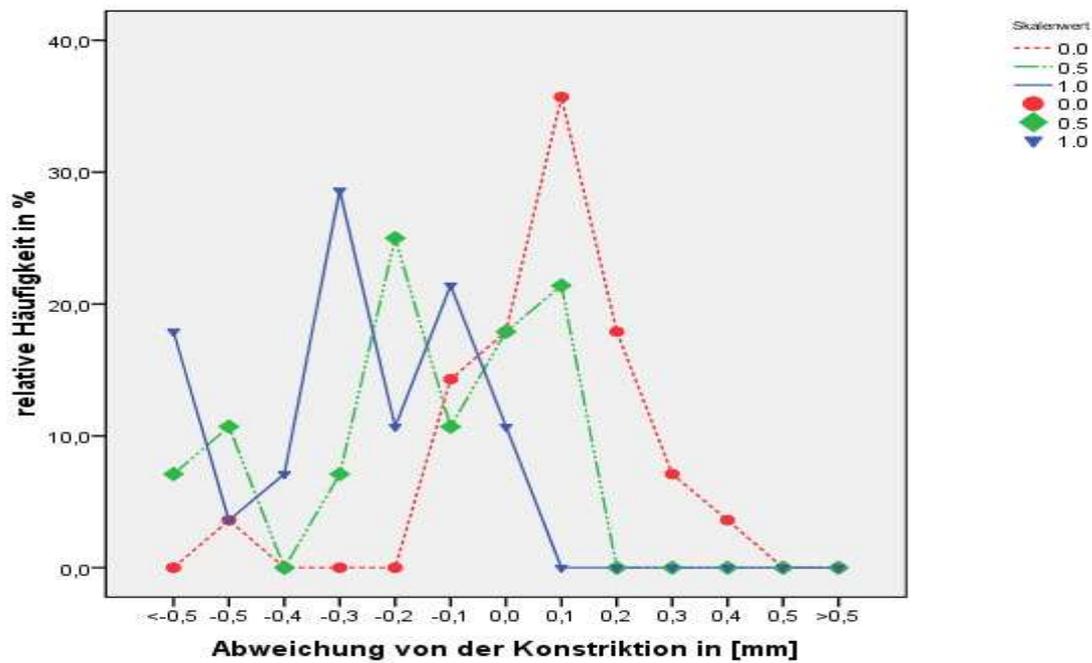


Abb. 20: Darstellung der relativen Häufigkeit für Root ZX in NaCl+NaOCl

Anhand dieser drei Graphen lässt sich zeigen, dass es zu einer Linksverschiebung kommt. Je weiter man von der Skaleneinheit 0.0 zurückgeht, umso kürzer – bezogen auf die apikale Konstriktion – werden die Messungen. Wenn man die blauen Kurven betrachtet, misst Root ZX unabhängig von den hier untersuchten Lösungen tendenziell zu lang.

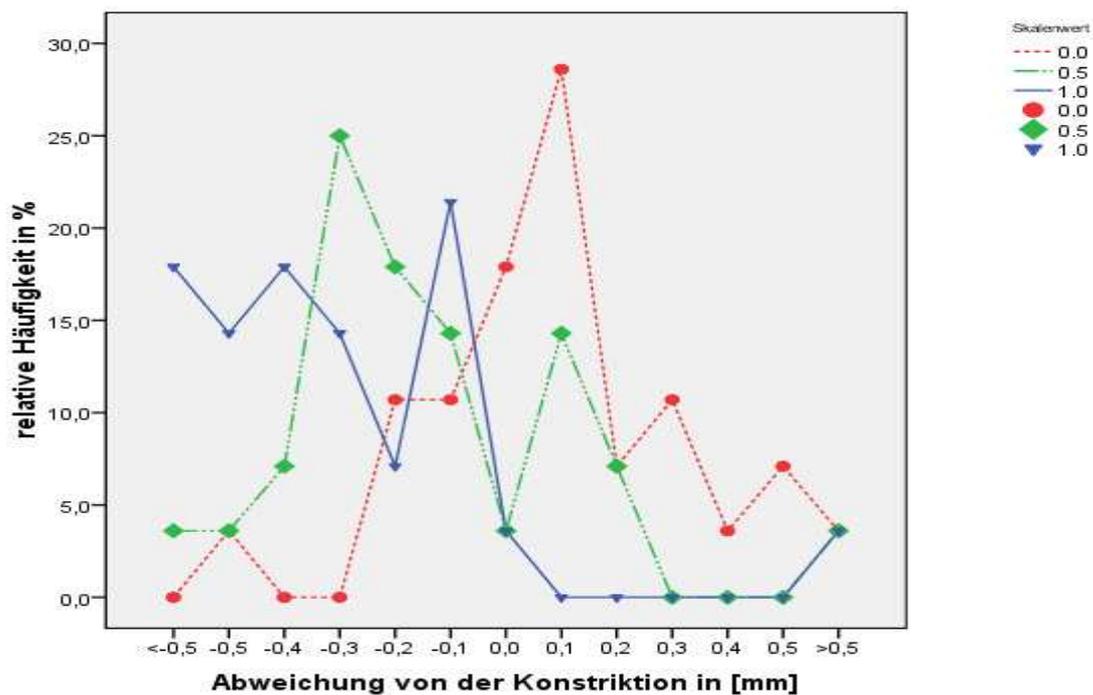


Abb. 21: Darstellung der relativen Häufigkeit für Propex in NaCl

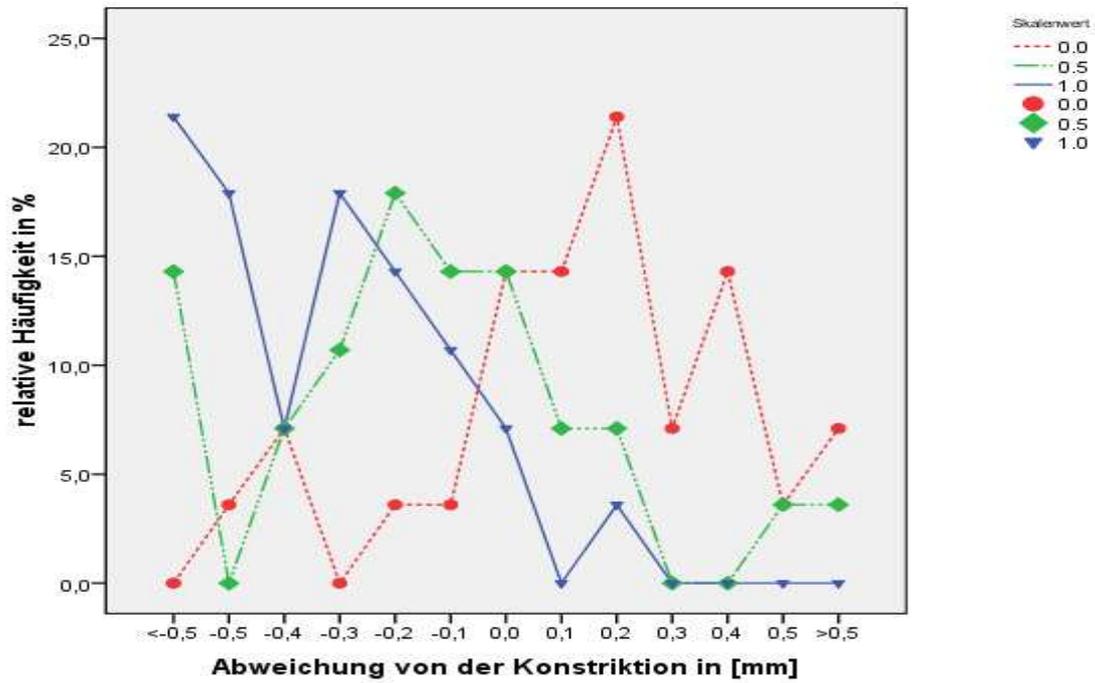


Abb. 22: Darstellung der relativen Häufigkeit für Propex in NaOCl

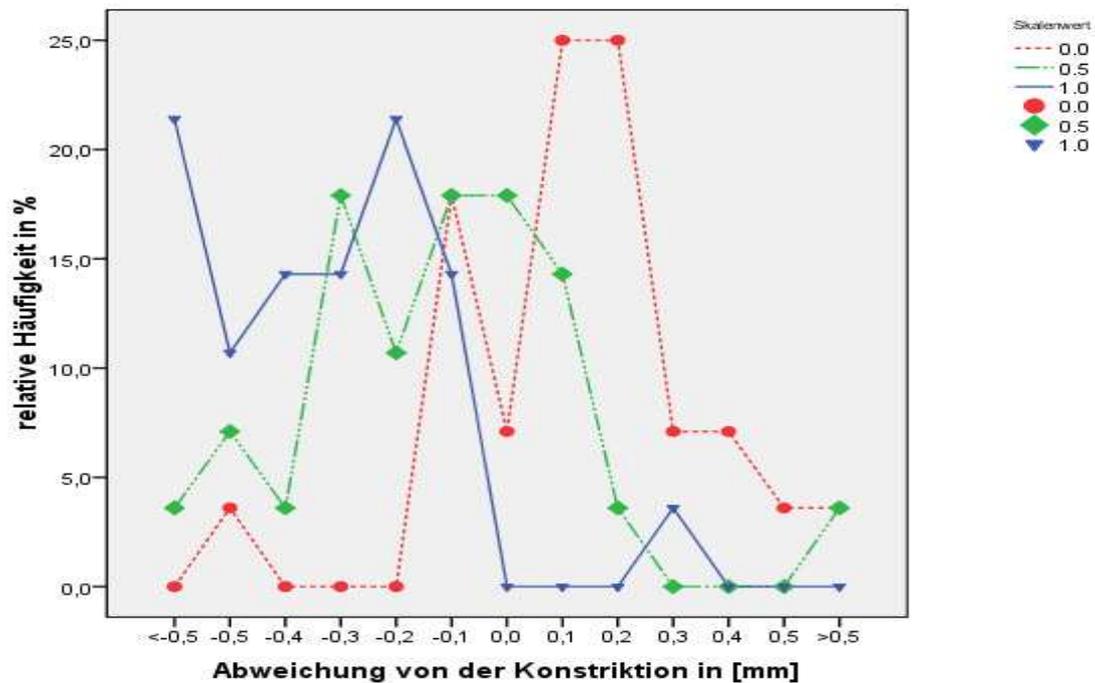


Abb. 23: Darstellung der relativen Häufigkeit für Propex in NaCl+NaOCl

Im Vergleich zum Root ZX lässt sich für das Propex keine solche Regelmäßigkeit erkennen, da mit zunehmender Skaleneinheit die Messungen für Propex nicht immer kürzer werden. Lediglich für die Lösungen NaOCl und NaCl+NaOCl lässt sich für das Propex eine Linksverschiebung feststellen. In reiner Kochsalzlösung liegen für den Skalenswert 1.0 deutlich mehr Werte näher an der Konstriktion als bei Skala 0.5.

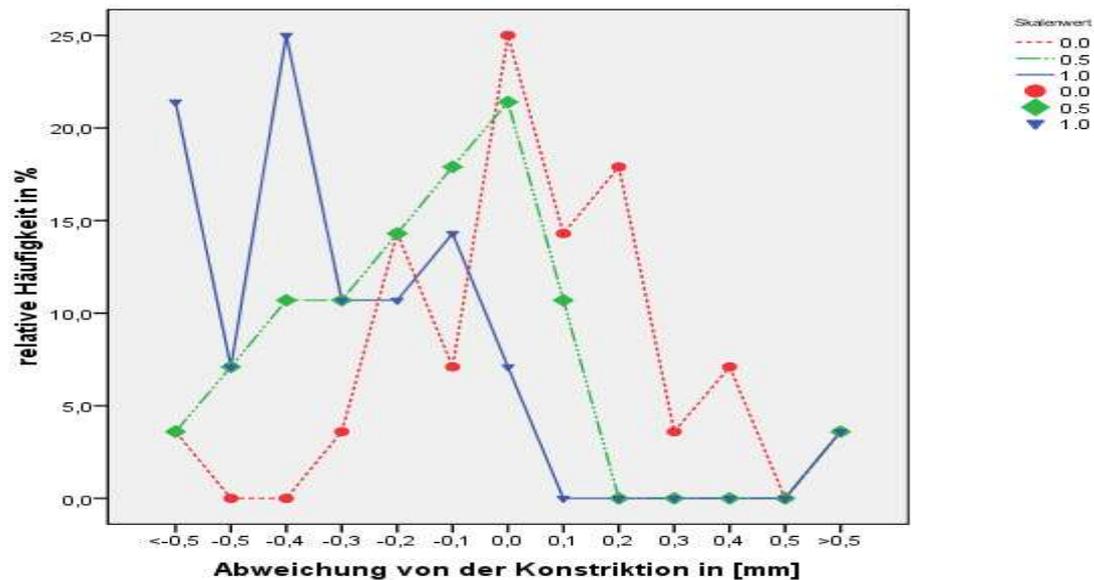


Abb. 24: Darstellung der relativen Häufigkeit für Raypex in NaCl

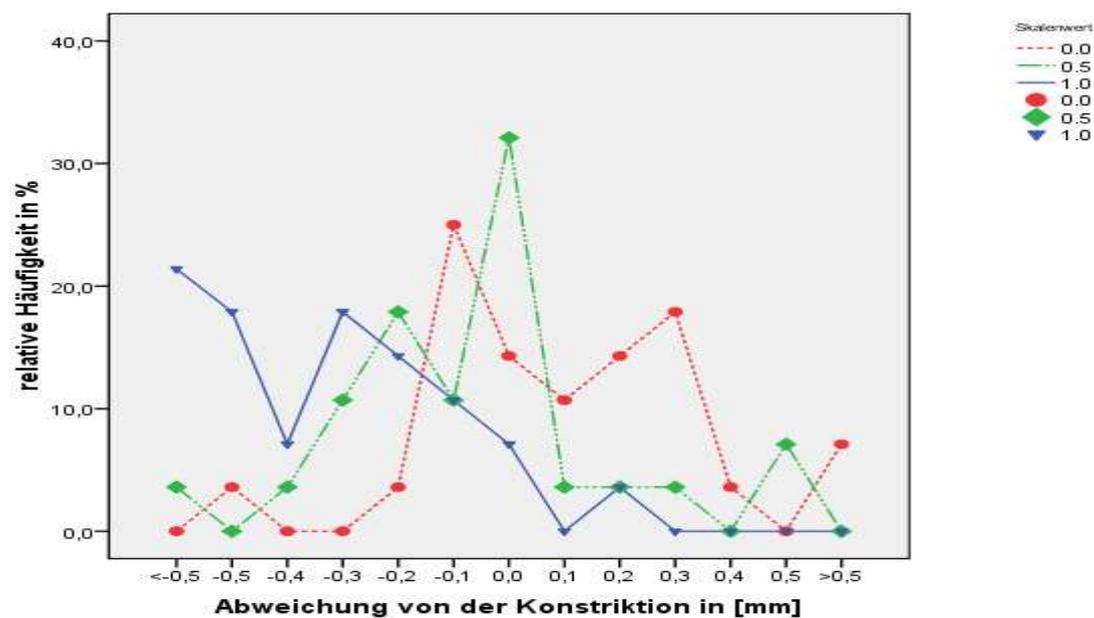


Abb. 25: Darstellung der relativen Häufigkeit für Raypex in NaOCl

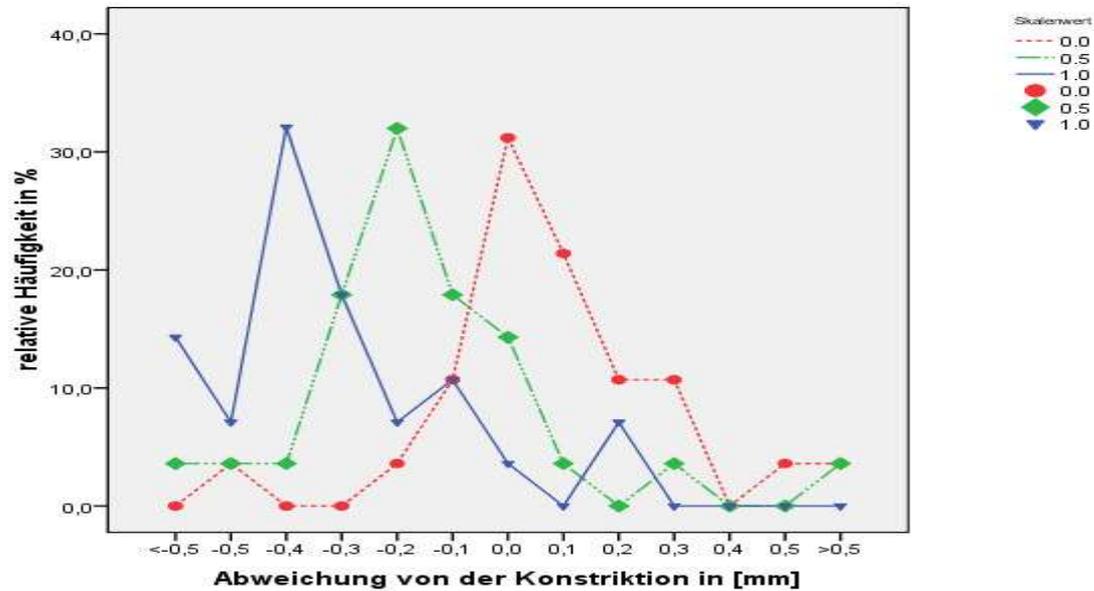


Abb. 26: Darstellung der relativen Häufigkeit für Raypex in NaCl+NaOCl

Für das Raypex lässt sich ebenso wie für das Propex keine eindeutige Linksverschiebung feststellen. Lediglich in NaCl+NaOCl ist eine klare Linksverschiebung zu erkennen. In reiner Kochsalzlösung liegen die Skalenwerte 0.0 und 0.5 sehr eng zusammen. In Natriumhypochlorid liegen die Messwerte für die Anzeige 0.5 deutlich näher an der apikalen Konstriktion als für 0.0.

Im Folgenden sind die Abweichungen von der Konstriktion für die jeweiligen Lösungen – Kochsalzlösung, Natriumhypochlorid und beide gemischt – in Boxplots dargestellt. In jedem Diagramm sind alle drei Geräte mit den jeweiligen Anzeigepunkten (0.0 0.5 1.0) gegenübergestellt. Der Wert 0,0mm auf der y-Achse steht für die apikale Konstriktion, positive für zu lange Messungen und negative Werte für zu kurz bestimmte Längen. Sterne markieren Extremwerte und Kreise Ausreißer, die noch keine Extremwerte darstellen. Die Nummern hinter den Symbolen stehen für die Fallnummer aus der Datenbank.

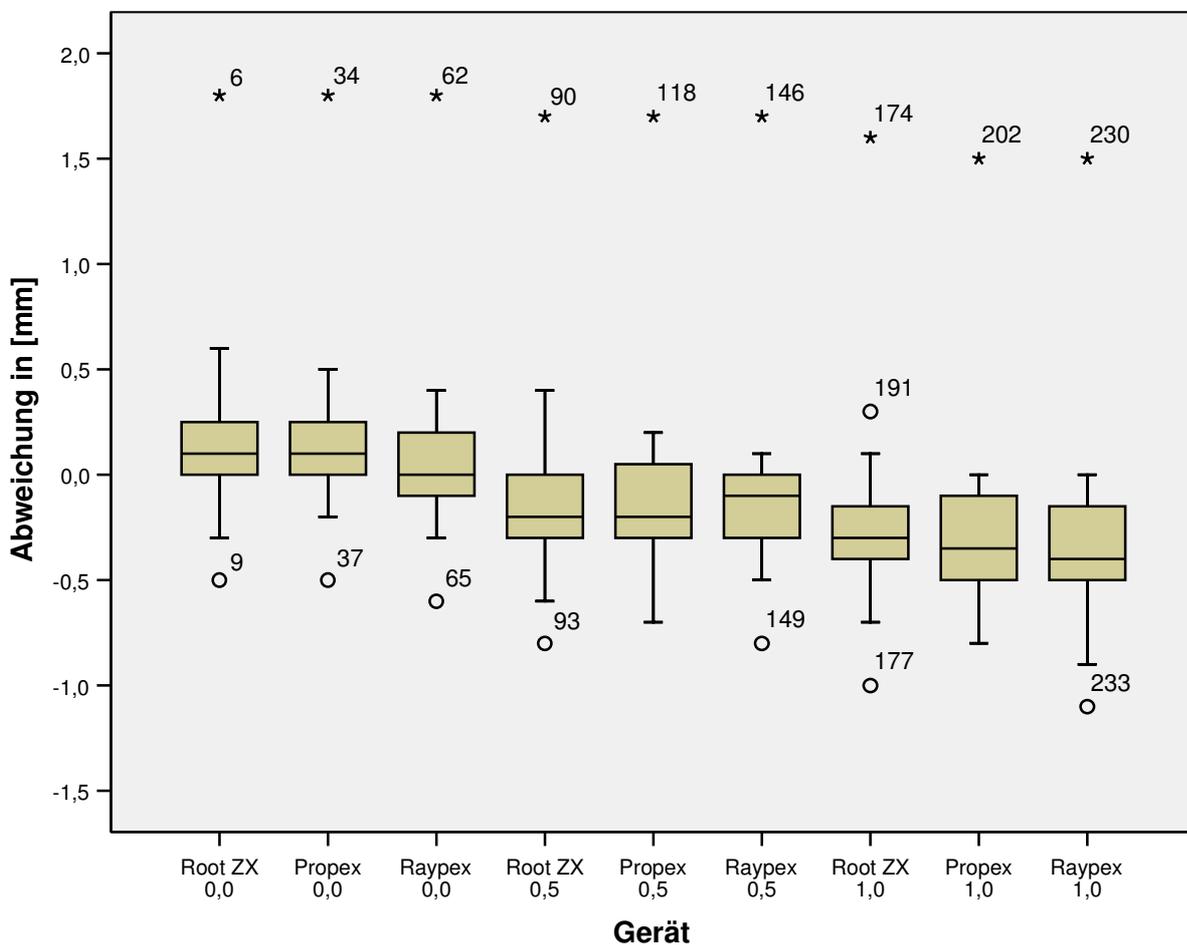


Abb. 27: Abweichung von der Konstriktion in NaCl

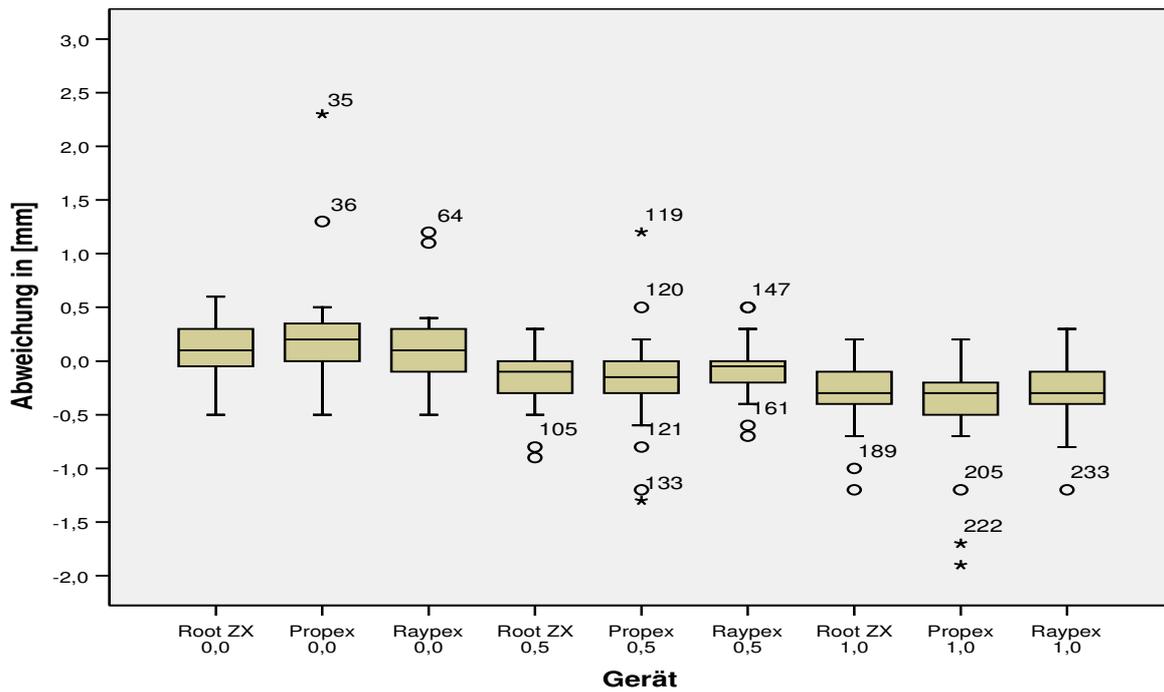


Abb. 28: Abweichung von der Konstriktion in NaOCl

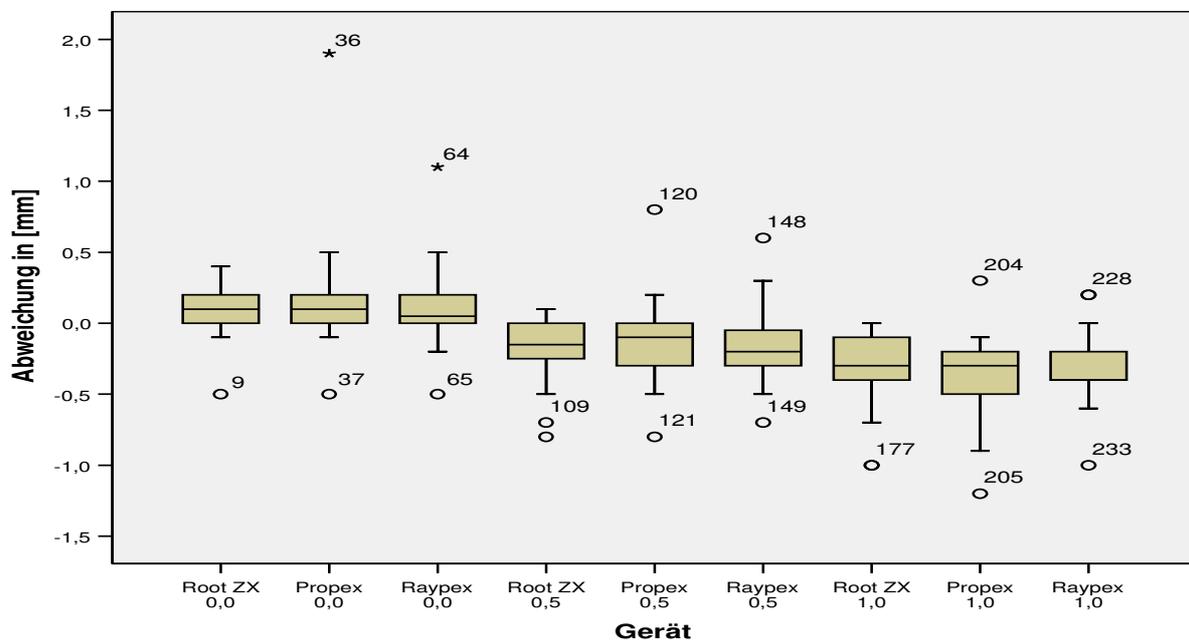


Abb. 29: Abweichung von der Konstriktion in NaCl+NaOCl

Die Boxplotdarstellungen spiegeln ebenso wie die Liniendiagramme die Tendenz einer Linksverschiebung wieder, d.h. mit zunehmender Skaleneinheit am jeweiligem Endometrie-gerät, wächst der Abstand der Instrumentenspitze von der apikalen Konstriktion.

## 5.6. Auswertung der Ergebnisse

### 5.6.1. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geräten

Für die folgenden statistischen Berechnungen wurde jede Wurzelkanallänge mit jedem der drei Endometriegeräte (Root ZX, Propex, Raypex) an den jeweils bereits beschriebenen Skalenwerten 0,0 0,5 1,0 bestimmt. Für jeden der Skalenwerte wurde mittels des t-Tests für unabhängige Stichproben ermittelt, ob sich zwischen den untersuchten Geräten auf dem 5%-Niveau (Irrtumswahrscheinlichkeit) statistisch signifikante Unterschiede ergeben. In der folgenden Tabelle sind die p-Werte zwischen den einzelnen Geräten und den Lösungen für alle Skalenwerte dargestellt.

|               | <b>Root ZX-<br/>Propex</b> | <b>Root ZX-<br/>Raypex</b> | <b>Propex-<br/>Raypex</b> | <b>Skalenwert</b> | <b>Lösung</b>          |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|
| <b>p-Wert</b> | 0,919                      | 0,640                      | 0,219                     | 0,0               | <b>NaCl</b>            |
|               | 0,975                      | 0,970                      | 0,949                     | 0,5               |                        |
|               | 0,616                      | 0,487                      | 0,827                     | 1,0               |                        |
|               | 0,298                      | 0,718                      | 0,467                     | 0,0               | <b>NaOCl</b>           |
|               | 0,862                      | 0,351                      | 0,406                     | 0,5               |                        |
|               | 0,228                      | 0,894                      | 0,187                     | 1,0               |                        |
|               | 0,221                      | 0,723                      | 0,386                     | 0,0               | <b>NaCl+<br/>NaOCl</b> |
|               | 0,519                      | 0,784                      | 0,688                     | 0,5               |                        |
|               | 0,475                      | 0,836                      | 0,588                     | 1,0               |                        |

*Tabelle 4: Signifikanzen zwischen den Geräten*

Auffällig an Tabelle 4 ist, dass die statistische Überprüfung anhand des t-Tests für unabhängige Stichproben bezüglich der Unterschiede zwischen den Geräten keine signifikanten Unterschiede ausweist.

### 5.6.2. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Lösungen

Mittels des t-Tests für unabhängige Stichproben wurden auch die drei verschiedenen Wurzelkanalspüllösungen - Kochsalzlösung, Natriumhypochlorid und die Mischung aus beiden im Verhältnis 1:1 - hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede untersucht.

|               | NaCl-<br>NaOCl | NaCl-<br>NaCl+NaOCl | NaOCl-<br>NaCl+NaOCl | Skalenwert | Gerät          |
|---------------|----------------|---------------------|----------------------|------------|----------------|
| <b>p-Wert</b> | 0,805          | 0,485               | 0,511                | 0,0        | <b>Root ZX</b> |
|               | 0,686          | 0,547               | 0,797                | 0,5        |                |
|               | 0,419          | 0,400               | 1,000                | 1,0        |                |
|               | 0,512          | 0,760               | 0,689                | 0,0        | <b>Propex</b>  |
|               | 0,610          | 0,881               | 0,657                | 0,5        |                |
|               | 0,197          | 0,412               | 0,474                | 1,0        |                |
|               | 0,570          | 0,876               | 0,609                | 0,0        | <b>Raypex</b>  |
|               | 0,732          | 0,695               | 0,324                | 0,5        |                |
|               | 0,915          | 0,882               | 0,730                | 1,0        |                |

*Tabelle 5: Signifikanzen zwischen den Lösungen*

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass die Messungen hinsichtlich der verschiedenen Spüllösungen im Wurzelkanal keine statistisch signifikanten Unterschiede aufweisen.

### 5.6.3. Vergleich In-vivo-Studie und In-vitro-Studie

Betrachtet wird die statistische Signifikanz auf 5% Niveau mittels t-Test für unabhängige Stichproben zwischen In-vivo- und In-vitro-Verhältnissen für die einzelnen Endometrie-geräte.

|               | In vivo – in vitro | Skalenwert |                |
|---------------|--------------------|------------|----------------|
| <b>p-Wert</b> | 0,309              | 0,0        | <b>Root ZX</b> |
|               | 0,175              | 0,5        |                |
|               | 0,034              | 1,0        |                |
|               | 0,085              | 0,0        | <b>Propex</b>  |
|               | 0,477              | 0,5        |                |
|               | 0,037              | 1,0        |                |
|               | 0,036              | 0,0        | <b>Raypex</b>  |
|               | 0,813              | 0,5        |                |
|               | 0,057              | 1,0        |                |

*Tabelle 6: Signifikanz zwischen In-vivo- und In-vitro-Bedingungen*

Für Root ZX ergibt sich bezüglich des Vergleichs in vivo – in vitro mit  $p=0,034$  ein signifikanter Unterschied bei Skalenwert 1.0. Mit  $p = 0,037$  beim Skalenwert 1.0 verhält sich Propex ebenso. Für Raypex zeigt sich eine Signifikanz am Skalenwert 0.0 mit einem p-Wert von 0,036.

### 5.6.4. Graphische Darstellung der Ergebnisse In-vivo- und In-vitro-Studie im Vergleich

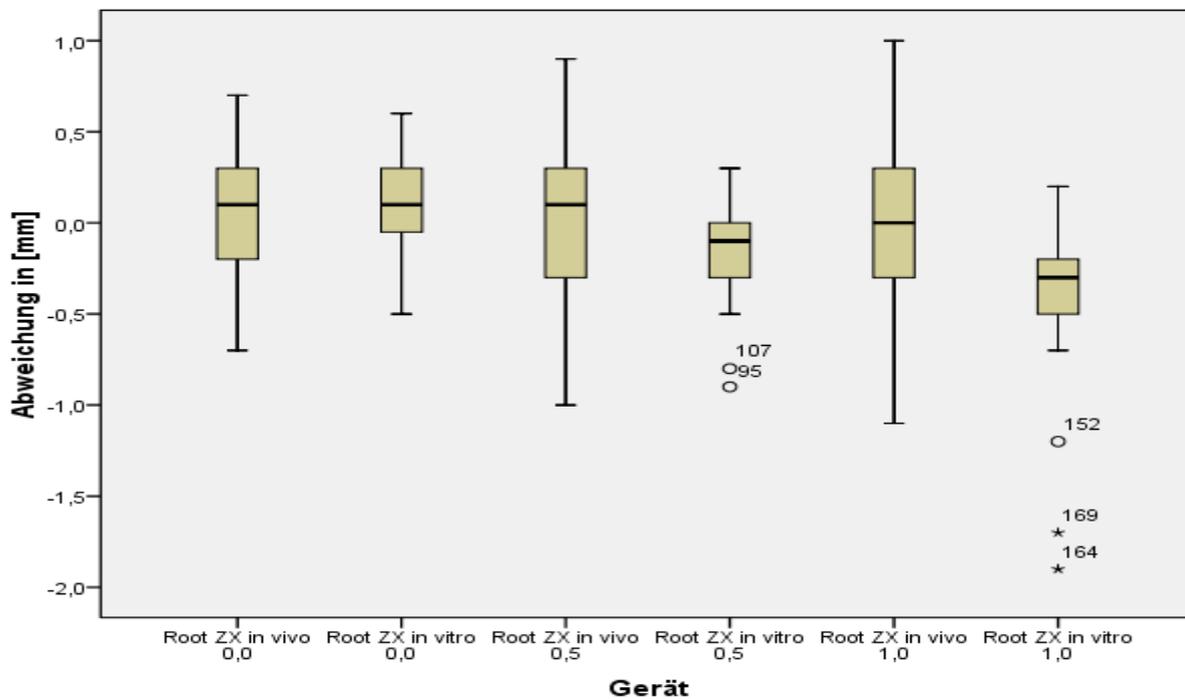


Abb. 30: Abweichung von der Konstriktion im Vergleich in vivo – in vitro für Root ZX

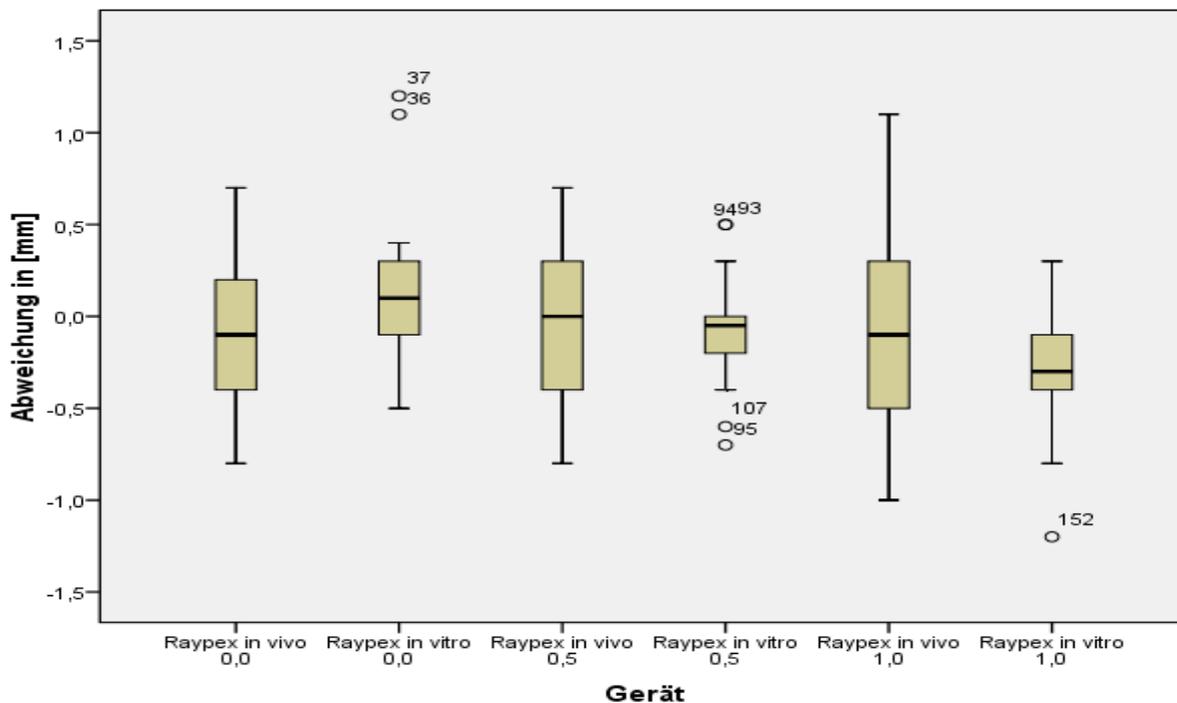


Abb. 31: Abweichung von der Konstriktion im Vergleich in vivo - in vitro für Raypex

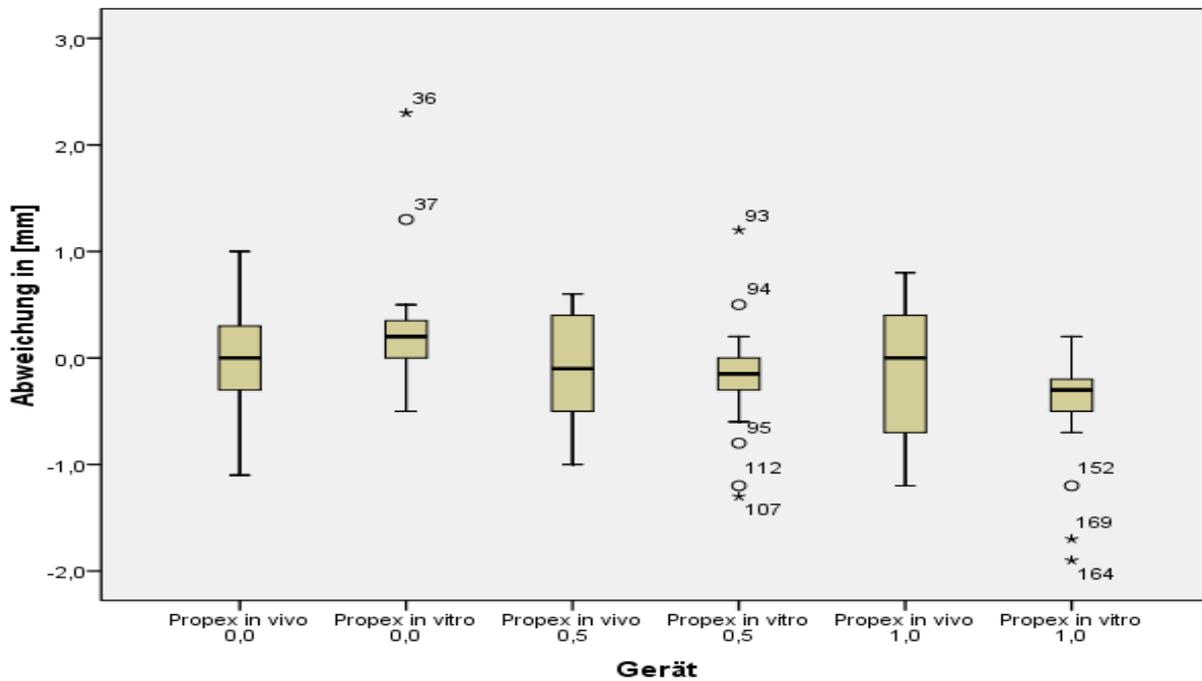


Abb. 32: Abweichung von der Konstriktion im Vergleich in vivo – in vitro für Propex

Bei der graphischen Gegenüberstellung an Hand von Boxplots für In-vivo- / In-vitro-Verhältnisse, zeigt sich eine klare Linksverschiebung für alle drei Geräte unter In-vitro-Bedingungen bezogen auf die jeweiligen Skalenwerte 0.0; 0.5; 1.0. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Entfernung vom Skalenwert 0.0 die Messungen bezogen auf die Skaleneinteilung der jeweiligen Geräte immer kürzer ausfallen. Des Weiteren fällt eine wesentlich geringere Streuung für die Daten der In-vitro-Studie auf. Dies lässt sich für alle Geräte und für jeden Skalenwert beobachten.

### 5.6.5. Vergleich des Mittels In-vivo-Studie – In-vitro-Studie

Im Folgenden soll untersucht werden, ob sich an Hand der Differenz aus den Mittelwerten in vivo – in vitro eine Tendenz eines Gerätes für zu lange bzw. zu kurze Messungen zeigt. Hierbei stehen negative Werte in der Spalte „Differenz des Mittels“ für tendenziell zu lang gemessene Werte unter In-vitro-Bedingungen und umgekehrt.

|                | Skaleneinheit | in vivo                               | in vitro                               | Differenz des Mittels |
|----------------|---------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
|                |               | Mittel±<br>Standardabweichung<br>[mm] | Mittel ±<br>Standardabweichung<br>[mm] | [mm]                  |
| <b>Root ZX</b> | 0,0           |                                       |  | -0,08                 |
|                | <b>0,5</b>    | 0,03 ± 0,37                           | 0,11 ± 0,23                            | <b>+0,13</b>          |
|                | 1,0           | <b>-0,02 ± 0,44</b>                   | <b>-0,15 ± 0,27</b>                    | +0,43                 |
|                |               | -0,01 ± 0,48                          | -0,44 ± 0,47                           |                       |
| <b>Propex</b>  | 0,0           | -0,10 ± 0,48                          | 0,23 ± 0,53                            | -0,33                 |
|                | <b>0,5</b>    | <b>-0,08 ± 0,50</b>                   | <b>-0,17 ± 0,47</b>                    | <b>+0,09</b>          |
|                | 1,0           | -0,12 ± 0,66                          | -0,44 ± 0,47                           | +0,32                 |
| <b>Raypex</b>  | 0,0           | -0,07 ± 0,40                          | 0,14 ± 0,35                            | -0,21                 |
|                | <b>0,5</b>    | <b>-0,06 ± 0,45</b>                   | <b>-0,08 ± 0,27</b>                    | <b>+0,02</b>          |
|                | 1,0           | -0,09 ± 0,51                          | -0,30 ± 0,29                           | +0,21                 |

Tabelle 7: Bestimmung der Differenz des Mittels [mm]

Sowohl Root ZX als auch Propex und Raypex verhalten sich gleich. Alle drei Endometriegeräte neigen dazu, bei den Skaleneinheiten 0.5 und 1.0 unter In-vitro-Bedingungen kürzer als unter In-vivo-Verhältnissen zu messen. Am Skalenwert 0.0 weisen alle drei Geräte die Tendenz auf zu lange Messungen abzugeben. Bezüglich des Vergleichs der Standardabweichungen zeigen sich in vitro kleinere Intervalle als in vivo. Lediglich bei Propex am Skalenwert 0.0 verhält es sich umgekehrt.

### 5.6.6. Vergleich der relativen Häufigkeiten der In-vitro-Studie mit der In-vivo-Studie

In Tabelle 8 u. 9 werden die relativen Häufigkeiten für einen Toleranzbereich  $\pm 0,5$ mm um die apikale Konstriktion unter In-vitro- und In-vivo-Bedingungen am Skalenwert 0.0 ungeachtet der verwendeten Spüllösung gegenüber gestellt.

|   |                | <b>ROOT ZX</b> | <b>PROPEX</b>  | <b>RAYPEX</b>  | Apikale Konstriktion +/- 0,5 mm |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| koronal des Bereichs                    |                | <b>0,0%</b>    | <b>0,0%</b>    | <b>1,2%</b>    |                                 |
| <b>im angegebenen Bereich</b>           | <b>koronal</b> | <b>27,6%</b>   | <b>28,8%</b>   | <b>37,3%</b>   | <b>-0,5 mm</b>                  |
|   |                | <b>96,4%</b>   | <b>95,2%</b>   | <b>94,0%</b>   | <b>0,0 mm</b>                   |
|   | <b>apikal</b>  | <b>72,4%</b>   | <b>71,2%</b>   | <b>62,7%</b>   |                                 |
|   |                |                |                |                | <b>+0,5 mm</b>                  |
| apikal des Bereichs                     |                | <b>3,6%</b>    | <b>4,7%</b>    | <b>4,8%</b>    |                                 |
| Abweichung im Mittel zu kurze Messungen |                | <b>0,00 mm</b> | <b>0,00 mm</b> | <b>0,10 mm</b> |                                 |
| Abweichung im Mittel zu lange Messungen |                | <b>0,50 mm</b> | <b>0,36 mm</b> | <b>0,31 mm</b> |                                 |

Tabelle 8: Relative Häufigkeit unter In-vitro-Bedingungen für den Grenzbereich  $\pm 0,5$  mm

|   |                | <b>ROOT ZX</b> | <b>PROPEX</b> | <b>RAYPEX</b> | Apikale Konstriktion +/- 0,5 mm |
|---|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------------------------|
| koronal des Bereichs                    |                | <b>3,4%</b>    | <b>13,7%</b>  | <b>6,9%</b>   |                                 |
| <b>im angegebenen Bereich</b>           | <b>koronal</b> | <b>45,8%</b>   | <b>55,5%</b>  | <b>65,2%</b>  | <b>-0,5 mm</b>                  |
|   |                | <b>89,1%</b>   | <b>72,1%</b>  | <b>86,2%</b>  | <b>0,0 mm</b>                   |
|   | <b>apikal</b>  | <b>54,2%</b>   | <b>44,5%</b>  | <b>34,8%</b>  |                                 |
|   |                |                |               |               | <b>+0,5 mm</b>                  |
| apikal des Bereichs                     |                | <b>6,9%</b>    | <b>13,7%</b>  | <b>6,9%</b>   |                                 |
| Abweichung im Mittel zu kurze Messungen |                | <b>0,30 mm</b> | <b>0,24mm</b> | <b>0,34mm</b> |                                 |
| Abweichung im Mittel zu lange Messungen |                | <b>0,25mm</b>  | <b>0,33mm</b> | <b>0,32mm</b> |                                 |

*Tabelle 9: Relative Häufigkeit unter In-vivo-Bedingungen für den Grenzbereich  $\pm 0,5$  mm*

Unter In-vitro-Bedingungen liegt Root ZX bei 96,4%, Propex bei 95,2% und Raypex bei 94,0% im angegebenen Toleranzbereich (siehe Tabelle 8). In vivo weist ebenfalls Root ZX bei 89,1% die meisten Treffer auf, gefolgt von Raypex mit 86,2% und Propex mit 72,4% (siehe Tabelle 9). In vitro liegen bei Root ZX mit 72,4%, bei Propex mit 71,2% und bei Raypex mit 62,7% deutlich mehr Messungen innerhalb des Toleranzbereichs apikal der tatsächlichen Konstriktion. Unter In-vivo-Verhältnissen ist die Verteilung, ob die Instrumentenspitze koronal oder apikal der Konstriktion zum Liegen kommt, relativ ausgeglichen.

## 6. Diskussion

### 6.1. *Material und Methode*

Die vorliegende Untersuchung wurde als In-vitro-Studie erhoben. Der Vergleich der Messreihen mit denen aus einer parallel laufenden In-vivo-Studie ermöglicht weitestgehend eine Übertragung der Ergebnisse auf den klinischen Alltag. Drei handelsübliche Endometriegeräte wurden miteinander verglichen. Die Wahl fiel hierbei auf Geräte, welche nach der Impedanzgradientenmethode arbeiten:

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

Raypex (VDW GmbH, München, Deutschland)

Propex (Dentsply De Tray, Konstanz, Deutschland)

Die Auswahl dieser drei Geräte sollte eine Abschätzung zulassen, inwieweit die Messergebnisse dieser Bauart voneinander abweichen. Zum anderen sollte ermittelt werden, ob unterschiedliche Spüllösungen die Ergebnisreihen signifikant beeinflussen können. Die hierfür zu untersuchenden Zähne ergaben sich aus der analog verlaufenden In-vivo-Studie. Durch Analyse der Messergebnisse soll geprüft werden, welches Gerät unter Verwendung welcher Spüllösung, an welchem Skalenwert wie zuverlässig misst. Die Endometriegeräte wurden gemäß den Herstellerangaben eingesetzt, nach denen die Messungen nicht durch elektrolytische Lösungen im Kanal beeinflusst werden dürften. Die Anfertigung der Querschnittsprofile der Wurzelkanäle und die somit mögliche Ermittlung der apikalen Konstriktion erlauben eine sehr präzise Bestimmung der apikalen Konstriktion und den direkten Vergleich mit den endometrisch ermittelten Werten. Die endometrische Längenmessung erfolgte über Vorschub eines Kerr-Räumers im Wurzelkanal mittels eines computergesteuerten Schrittmotors, welcher Intervalle von 0,09mm vorgab. Daher kann hierbei mit einem Messfehler von  $\pm 0,1\text{mm}$  gerechnet werden. Die Bestimmung der Querschnittsflächen erfolgte in 0,1mm-Abständen, was zu einer Festlegung der apikalen

Konstriktion mit  $\pm 0,1\text{mm}$  führt. Weiterhin ist zu beachten, dass die Ebene der Schnitte immer zur Referenzebene, welche durch die Schleifvorrichtung definiert wird, parallel verläuft. Daher kann bei gekrümmten Wurzelkanälen nicht immer achsengerecht angeschnitten werden. Dies verschlechtert die Darstellbarkeit der Konstriktion. Unter klinischen Gesichtspunkten ist eine Messgenauigkeit kleiner als  $0,5\text{mm}$  irrelevant, da Wurzelkanalinstrumente im Zuge der Aufbereitungsschritte nicht genauer als maximal  $0,5\text{mm}$  manipuliert werden können [11]. Daher sind die methodisch bedingten Messgenauigkeiten der Arbeit ausreichend. Die einzelnen Ergebnisse sind aber immer unter den Einschränkungen der genannten Ungenauig- bzw. Genauigkeit zu sehen.

## **6.2. Ergebnisdiskussion**

### **6.2.1. Bestimmung des Grenzbereichs**

In Kapitel 5 dieser Studie werden die Messergebnisse in Tabellen und Graphiken dargestellt. Diese veranschaulichen für alle Geräte die ermittelten Werte in Relation zur apikalen Konstriktion. Es wird die prozentuale Verteilung der Messwerte innerhalb bestimmter Toleranzbereiche (TB I, TB II) gezeigt. Die Bestimmung der Grenzwerte entscheidet über die Erfolgsquote der Geräte. Für Root ZX ergaben sich für TB I die höchsten Trefferzahlen für alle Messungen jeweils bei Skalenwert 1.0. In NaCl kommt man auf eine Quote von 78,4%, in NaOCl auf 78,8% und in der Mischung aus beiden Lösungen auf 82,1%. Für TB II liegen in NaCl-Lösung bei Skalenwert 0.0 71,4% der Messungen im Toleranzbereich. In NaOCl gilt dies bei Skalenwert 0,5 für 67,9% und in NaCl+NaOCl zeigt sich ein Maximum bei Skalenwert 0.0 von 85,5%. Propex weist die exaktesten Werte für TB I in NaCl bei Skaleneinheit 1.0 zu 78,6% auf, in NaOCl ebenfalls bei Skalierung 1.0 zu 75% und in der Mischung der Lösungen bei Skalierung 0.5 zu 75,1%. Für TB II zeigt sich zu 75% eine hohe Trefferzahl bei Skaleneinheit 0.0, zu 60,7% in NaOCl bei 0.5 und in NaCl+NaOCl bei 0.0 zu 75%. Für TB I ergaben sich für Raypex am Skalenwert 0.5 in NaCl 82,1% als korrekt, in NaOCl sowohl an Skalierung 0.5 als auch bei 1.0 75% und in der Mischlösung an Skaleneinheit 0.5 89,3% aller Messungen als richtig. Für den Toleranzbereich apikale

Konstriktion  $\pm 0,2$  mm ergaben sich in NaCl Maximalwerte bei 0.0 von 82,2%, in NaOCl bei Skaleneinheit 0.0 und 0.5 jeweils von 67,9% und in der Mischlösung bei 0.0 von 78,5%.

Zunächst noch ohne Berücksichtigung der Spüllösungen und der Skaleneinteilung des jeweiligen Gerätes, liegen die maximalen Trefferquoten für TB I zwischen 78,6% (Propex) und 89,3% (Raypex). Für den Grenzbereich apikale Konstriktion  $\pm 0,2$ mm liegt der Erfolg zwischen 60,7% (Propex) und 85,5% (Root ZX). Damit sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie vergleichbar mit denen anderer Untersuchungen. So geben beispielsweise FUOAD und KRELL [15] die Genauigkeit von fünf untersuchten Endometern zwischen 55-75% an [15], DUNLAP et al. [10] beschreiben für das Root ZX eine Genauigkeit von 82,3% [10], PAGAVINO [41] setzt die Genauigkeit für selbiges Gerät bei 82,75% an [41]. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass die Parameter in Material und Methodik variieren und somit ein direkter Vergleich der Ergebnisse nicht uneingeschränkt möglich ist. Unter anderem können eine geringe Stichprobenzahl, sowie die Beschränkung auf bestimmte Zahntypen, vitales oder devitales Gewebe im Wurzelkanal zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

### **6.2.2. Einfluss der Spüllösungen im Wurzelkanal**

Ziel der Wurzelkanalspüllung ist es, Pulpagewebe und/oder Mikroorganismen aus dem Kanalsystem und den durch die Aufbereitung entstandenen Smear-Layer/Debris zu entfernen [3]. Um die bakterielle Infektion im Wurzelkanal zu beseitigen, ist eine chemische Aufbereitung im Sinne einer Desinfektion zur erfolgreichen Endodontie unerlässlich. Als eines der hierfür wichtigsten Präparate hat sich Natriumhypochlorid (NaOCl) etabliert. Die empfohlenen Konzentrationen variieren von 0,5% bis 5,25% je nach akademischer Schule und persönlicher Erfahrung. Wasserstoffperoxid, Alkohol, jodhaltige oder physiologische Kochsalzlösung haben als Desinficientia in der Endodontie ausgedient [5]. Da es in der vorliegenden Arbeit nicht um die Nachweisbarkeit einer effizienten antibakteriellen Wirkung einer Lösung geht, sondern um die Messgenauigkeit unter der Anwesenheit verschiedener Elektrolyte, wurde in dieser In-vitro-Untersuchung physiologische Kochsalzlösung (0,9%) verwendet, welche lediglich als Vergleichslösung dient.

Bei den Geräten der ersten Generationen traten Probleme auf, wenn Flüssigkeit im Kanal vorhanden war, weil dann durch bereits auftretende Kurzschlüsse der Stromkreis geschlossen wurde, ehe die Instrumentenspitze den Apex erreichte. Zudem verfälschen Elektrodenimpedanzen (Wechselstromwiderstand zwischen Instrumentenspitze und umgebende Flüssigkeit) die Messung. Erst durch die Verwendung von Wechselströmen unterschiedlicher Frequenzen, wobei die Ohmschen Widerstände im Messstromkreis gleich bleiben (bei Änderung der Frequenz des Wechselstroms) und der daraus resultierenden Änderung der kapazitiven Widerstände, konnte das Problem gelöst werden. Daher kann der Gewebewiderstand trotz vorhandener Flüssigkeit im Wurzelkanal gemessen werden, indem über Mikroprozessoren in den Geräten Relativwerte errechnet werden [4]. Laut Herstellerangaben der verwendeten Geräte sollten daher Elektrolyte oder Spülflüssigkeiten im Wurzelkanal keinen Einfluss auf die endometrische Messung nehmen. Mehrere Studien bestätigen hierbei die Aussagen der Gerätehersteller. WEIGER et al. [57] stellten für das Root ZX keine schlechteren Messergebnisse in Anwesenheit verschiedener Flüssigkeiten fest (1% NaOCl, 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 0,9% NaCl) [57]. JENKINS ET AL. [28] bestätigen ebenfalls für Root ZX, dass die getesteten Flüssigkeiten (2% Lidocain mit Adrenalin 1:100000, 5,25% NaOCl, RC Prep, EDTA, 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Peridex) das Messergebnis nicht beeinflussen [28].

In Kapitel 5.6.2. der vorliegenden Arbeit wurde anhand des t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht, ob die hier verwendeten Flüssigkeiten (0,9% NaCl, 2,0% NaOCl, Mischung NaCl+NaOCl im Verhältnis 1:1) auf die Messung Einfluss nehmen. Aus Tabelle 5 ergeben sich keinerlei statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Spüllösungen im Wurzelkanal bezogen auf die endometrische Längenmessung. Somit werden die Angaben der Hersteller bestätigt. Auch hierbei sollte man allerdings die Zahl der Versuchszähne und die In-vitro-Bedingungen berücksichtigen. Alle Flüssigkeiten wurden bei Raumtemperatur untersucht. Die bakterizide Wirkung von NaOCl beispielsweise wird bei jedem Temperaturanstieg um 5 °C in einem Bereich von 5 °C bis 60 °C mehr als verdoppelt [9]. Dieser Aspekt wurde bei dieser Studie nicht untersucht, so dass keine Aussagen getroffen werden können, ob erwärmte Spülungen im Kanal die endometrische Längenmessung beeinflussen.

### **6.2.3. Vergleich der getesteten Geräte in vitro**

Es lässt sich feststellen, dass alle drei untersuchten Endometriegeräte unabhängig von der verwendeten Flüssigkeit im Wurzelkanal ähnliche Messtendenzen aufweisen. Alle getesteten Geräte neigen dazu, am Skalenwert 0.0 zu lang zu messen. Root ZX lag in der Mischlösung NaCl+NaOCl in 64,3% der Fälle über der apikalen Konstriktion, Propex in der gleichen Lösung sogar zu 71,4%. Lediglich Raypex schneidet etwas besser ab. Es zeigt die häufigsten Überinstrumentierungen in NaOCl mit 53,5%. Bei Skaleneinheit 0.5 verhalten sich Root ZX, Propex und Raypex wieder gleich. Die Geräte tendieren dazu, zu kurze Längen zu bestimmen. Dies gilt unabhängig von der Spüllösung im Wurzelkanal. Root ZX weist hier sein Maximum in NaCl mit 71,5% zu kurz gemessenen Wurzelkanälen auf, ebenfalls Propex in NaCl mit 71,5% und Raypex in NaCl+NaOCl mit 74,9%. Je weiter man von der Display-Einheit 0.0 weggeht, umso häufiger werden zu kurze Messungen erzielt. So liegen die Maximalwerte für Root ZX bei 1.0 in NaCl+NaOCl bei 89,3%, für Propex in gleicher Lösung sogar bei 96,4%, und Raypex weist mit 89,3% für alle getesteten Lösungen die gleiche relative Häufigkeit auf. Die eben genannten Zahlen beziehen sich auf die relativen Häufigkeiten aus den Tabellen 1-3.

Da wie bereits erwähnt, die Flüssigkeiten im Wurzelkanal die Messergebnisse nicht signifikant beeinflussen, können diese bei den folgenden Punkten ausser Acht gelassen werden. Somit beziehen sich die folgenden Prozentangaben und Längenabweichungen auf alle Messungen in Abhängigkeit der Skaleneinteilung aber ungeachtet der Elektrolytlösungen im Wurzelkanal. Laut Herstellerangaben gilt für Propex, dass mit der 0.0 Skaleneinheit die apikale Konstriktion erreicht sei. Bezogen auf den in der vorliegenden Arbeit bestimmten Toleranzbereich von apikaler Konstriktion  $\pm 0,2\text{mm}$  (TB II) treffen diesen Angaben mit 67,8%iger Quote zu. Möchte man eine Überinstrumentierung vermeiden, sollte man sich für die Anzeige 1.0 entscheiden, denn hier liegt die Trefferquote für den Grenzbereich 0,5mm vor bis zur apikalen Konstriktion (TB I) bei 77,4%. Für Apex  $\pm 0,2\text{ mm}$  ergibt sich auch beim Root ZX die exakteste Messung mit 77,3% bei Skala 0.0. Für den hierzu verwendeten zweiten Toleranzbereich zeigt die Skaleneinheit 1.0 mit 82,1% die meisten Treffer. Diese Angaben decken sich nicht mit den Herstellerangaben, nach denen die genauesten Ergebnisse bei 0.5 erzielt werden sollen [13]. Allerdings gilt es hierbei zu beachten, dass die Firma Mortia (Root

ZX) keine Angaben über Toleranzbereiche macht und somit nicht unbedingt ein Vergleich gezogen werden kann. Raypex zeigt mit 80,9 % die besten Werte im TB I bei 0.5 und für Apex  $\pm 0,2$ mm mit 76,2 % bei 0.0.

Generell gilt für die vorliegende Studie, dass Root ZX mit 77,3% bzw. 82,1% die meisten Treffer für die festgelegten Toleranzbereiche aufweist. Raypex liegt mit 76,2% bzw. 80,9% dicht dahinter. Etwas schlechter schneidet Propex mit 67,8% bzw. 77,4% ab. Bezogen auf die Skaleneinheit mit den höchsten Erfolgszahlen für das jeweilige Gerät ergibt sich bezüglich der Über-/Unterinstrumentierung für die Grenzbereiche folgendes Verhältnis. Für TB I weist das Root ZX zu 6% im Mittel um 0,52 mm zu lange und bei 13% um 0,29mm zu kurze Werte auf, Propex liegt bei 3,6% mit 0,67 mm über der Konstriktion und misst in 20% der Fälle im Schnitt 0,38mm zu kurz. Raypex zeigt bei 14,3% eine Überinstrumentierung von 0,40mm an und bei 4,8% um 0,2mm zu kurze Werte. Im Grenzbereich Konstriktion  $\pm 0,2$  mm liegt Root ZX bei 17,9% um 0,25mm zu kurz und bei 4,8% um 0,25mm zu lang. Propex gibt im Mittel bei 26,2% um 0,45mm zu lange Werte vor und bei 6% kommt die Instrumentenspitze um 0,26mm vor dem Toleranzbereich zum Liegen. Bei Raypex kommt es bei 19% zu einer Überinstrumentierung von 0,53mm und bei 4,8% zu um 0,25mm zu kurz bestimmten Arbeitssägen.

Tendenziell verhalten sich alle untersuchten Geräte unabhängig von der Flüssigkeit im Wurzelkanal gleich. Alle neigen bei 0.0 zur Überinstrumentierung. Für TB I misst Root ZX für diesen Skalenwert in 59,5% der Fälle im Mittel um 0,25mm zu lang. Für Propex ergeben sich bei 66,7% Überinstrumentierungen von im Mittel um 0,34mm und für Raypex bei 50% um im Mittel von 0,39 mm. Für TB II liegt die Feilenspitze beim Root ZX bei 17,9% um 0,25mm außerhalb des Grenzbereichs, bei Propex bei 26,2% um 0,45mm und bei Raypex zu 19% um 0,53mm.

#### **6.2.4. Vergleich In-vitro-Studie – In-vivo-Studie**

Die meisten Studien legen sich auf den Referenzpunkt apikale Konstriktion und den Toleranzbereich  $\pm 0,5$  mm fest. Diese Werte sollen auch im Folgenden für den Vergleich mit der analog durchgeführten In-vivo-Studie herangezogen werden. Dieser Bereich wurde deswegen gewählt, da ein Feilenvorschub von nur 1/10mm wie in vorliegender In-vitro-Untersuchung unter klinischen Bedingungen kaum möglich sein sollte. Ein Grenzbereich von  $\pm 0,5$ mm scheint unter In-vivo-Verhältnissen vernünftig. Zum Vergleich der beiden Arbeiten, gilt es den oben beschriebenen Grenzbereich  $\pm 0,5$ mm am Skalenwert 0.0 zu betrachten. Da die Spüllösungen, wie bereits gezeigt, keinen signifikanten Einfluss haben, werden diese hierbei nicht berücksichtigt. Zur besseren Übersicht seien in Tabelle 8 und 9 die relativen Häufigkeiten für den Toleranzbereich  $\pm 0,5$ mm um die apikale Konstriktion unter In-vitro- und In-vivo-Bedingungen am Skalenwert 0.0 ungeachtet der verwendeten Spüllösungen gegenüber gestellt. Auffällig ist, dass die Positionierung des Instruments im gewünschten Bereich unter In-vitro-Bedingungen in deutlich mehr Fällen gelang als unter In-vivo-Verhältnissen. So liegt Root ZX zu 96,4%, Propex zu 95,2% und Raypex zu 94,0% in vitro im angegebenen Toleranzbereich. In vivo weist ebenfalls das Root ZX mit 89,1% die meisten Treffer auf, gefolgt von Raypex mit 86,2% und Propex mit 72,4%. In vitro lässt sich eine deutliche Tendenz für zu lang bestimmte Arbeitslängen erkennen. So liegen für alle drei Geräte selbst innerhalb des Grenzbereichs mehr Messungen apikal der Konstriktion als koronal. Für Root ZX gilt dies in 72,4%, für Propex in 71,2% und Raypex in 62,7% der Fälle. Diese Neigung zeichnet sich bereits auch an Hand der Tabelle 7 aus Kapitel 5.6.5. ab. Der Trend setzt sich auch außerhalb des Toleranzbereichs fort. Root ZX misst im Mittel sogar um 0,5mm in 3,6% der Untersuchungen zu lang, Propex in 4,6% um 0,36mm und Raypex um 0,3mm in 4,8% aller Messungen. Im Gegensatz dazu kommt die Instrumentenspitze weder bei Root ZX noch bei Propex vor dem Grenzbereich zum Liegen. Bei Raypex trifft dies in 4,8% der Fälle mit einer zu kurzen Messung um im Mittel 0,1mm zu. In vivo zeigt sich ein eher ausgewogenes Bild (siehe Tabelle 9). Lediglich Raypex weist mit 65,2% innerhalb des Toleranzbereichs eher eine leichte Tendenz für zu kurze Messungen auf.

Statistische Signifikanz ergab sich für Root ZX und Propex am Skalenwert 1.0. Raypex zeigt eine Signifikanz an 0.0. Die Signifikanz für Root ZX und Propex kann im vorliegenden Fall vernachlässigt werden, da sich der Vergleich nur auf den Bezugspunkt 0.0 der jeweiligen Geräte bezieht. Für Raypex ergibt sich zwar an 0.0 eine Signifikanz, die aber unter Betrachtung der Verteilung der relativen Häufigkeit und der Abweichungen relativiert werden kann, da sich keine gravierenden klinisch relevanten Unterschiede feststellen lassen. Bezüglich dieser Aussage sollte allerdings der Stichprobenumfang berücksichtigt werden.

### **6.2.5. Das Auftreten von Messfehlern**

Sowohl in der In-vitro- als auch in der In-vivo-Studie wurden zur statistischen Auswertung ausschliesslich Wurzelkanäle herangezogen, bei denen sämtliche Messpunkte ohne Probleme messbar waren. Ferner handelte es sich bei allen Wurzelkanälen um Ersttrepanationen, d.h. kein Zahn wies eine bereits eröffnete oder exstirpierte Pulpa auf. Keiner der Wurzelkanäle war bereits aufbereitet gewesen. Solche Fälle könnten das Auftreten von nicht erkennbaren Messfehlern begünstigen, weswegen derartige Zähne von vornherein ausgeschlossen wurden. Weitere Fehlerquellen bilden metallische Restaurationen und ungenügendes Trockenlegen. Beides kann zu Kurzschlüssen führen, die sich aber durch sofortigen Vollausschlag der Endometriegeräte bemerkbar machen. Durch Schaffung eines okklusalen/incisalen Plateaus können Kurzschlüsse bedingt durch Kronen oder Füllungen vollkommen ausgeschlossen werden, ebenso wie fehlerhafte Ergebnisse durch mangelhaftes Trockenlegen, da unter In-vitro-Verhältnissen problemlos eine absolute Trockenlegung möglich ist. Trotz Ausschluss aller dieser Fehlerquellen kam es bei 21% der ausgewählten Zähne zu offensichtlichen Fehlmessungen, die sich immer durch plötzlichen Vollausschlag, absurde Längenergebnisse oder Nichtausschlag äußerten. Diese Wurzelkanäle wurden verworfen und sind auch nicht in der Statistik erfasst. Mögliche Ursachen für Fehlausschläge könnten ein noch weit offenes Foramen apikale, eine hohe Anzahl von apikalen Ramifikationen, laterale Kanäle, interne Resorptionen, Obliterationen, Perforationen oder apikale Entzündungsprozesse sein. Ein Teil dieser Störfaktoren würde man in vivo auf einem diagnostischen Röntgenbild erkennen.

### **6.3. Schlussfolgerung**

Die endometrische Wurzelkanallängenbestimmung mit Hilfe von modernen, nach dem Impedanzquotientenprinzip arbeitenden Geräten ist in der Lage, vernünftige und reproduzierbare Ergebnisse zu liefern. Entscheidend ist jedoch für die Beurteilung der Messergebnisse der in der Auswertung bestimmte Grenzbereich. In gegenwärtiger Studie wurden gleich drei Toleranzbereiche festgesetzt. Auch wenn die Erfolgsquoten nicht in allen drei Grenzbereichen immer gleich hoch ausfielen, bewegen sich die Ergebnisse trotzdem auf einem Niveau, das einen Einsatz dieser Geräte in der Endodontie sinnvoll erscheinen lässt. Die Verwendung der Endometrieeräte ermöglicht eine Strahlenreduktion im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung. Auf das Röntgenbild sollte jedoch zum Visualisieren von anatomischen Gegebenheiten und aus forensischen Gründen nicht verzichtet werden. Durch die Anwendung beider Methoden können die Vorteile beider Verfahren genutzt werden, und es kann mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Annäherung an den idealen apikalen Endpunkt des Wurzelkanals erreicht werden.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] Azabal, M., Garcia-Otero, D., da la Macorra, J.C.: Accuracy of the Justy II Apex locator in determining working length in simulated horizontal and vertical fractures, *Int Endod J* 37, 2004, 174-177.
- [2] Bargholz, C., Hör, D., Zirkel, C.: *Praxisleitfaden – Endodontie*, 1. Auflage, Urban&Fischer, München, 2006, 205-208.
- [3] Baugh, D., Wallace, J.: The role of apical instrumentation in root canal treatment: A review of the literature, *J Endod* 31, 1999, 438-441.
- [4] Baumann, M., Beer, R.: *Farbatlant der Zahnmedizin – Endodontologie*, 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2008, 134-139
- [5] Becker, L.: Welche Richtung schlägt die Endodontie ein ?, *Dentalzeitung* 01, 2007, 12-15.
- [6] Beer, R., Baumann, M., Kielbassa, A.: *Taschenatlas der Endodontie*, 1. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2004, 105.
- [7] Brunton, P., Abdeen, D., Macfarlane, T.: The effect of an apex locator on exposure to radiation during endodontic therapy, *J Endod* 28, 2002, 153.
- [8] Cohen, S., Burns, R.: *Pathway of the Pulp*, 8. Auflage, Mosby, St Louis, 2002, 278.
- [9] David, S.: Von der Trepanation bis zur Desinfektion, *Zahnärztliche Mitteilungen, Fortbildungsteil* 1/08, 2008, 64-69.

- [10] 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.
- [11] Farber, J., Bernstein, M., Kielbassa, A.: The effect of instrumentation on root canal length as measured with an electronic device, *J Endod* 9, 1983, 114.
- [12] Firmenprospekt Dentsply DeTrey GmbH, Pro Pex.
- [13] Firmenprospekt J. Morita Europe GmbH, Root ZX.
- [14] Firmenprospekt VDW GmbH, Raypex4.
- [15] Fouad, A., Krell, K.: An in vitro comparison of five root canal length measuring instruments, *J Endod* 15, 1989, 573-577.
- [16] Franklin, S. Weine: *Endodontic Therapy*, 6. Auflage, Mosby, St. Louis, 2004, 240-248.
- [17] Gordon, M., Chandler, N.: Electronic apex locators, *Int Endod J* 37, 2004, 425-437.
- [18] Grimberg, F., Banegas, G., Chiachio, L., Zmener, O.: In vivo determination of root canal length: Preliminary report using the Tri Auto ZX apex locatine handpiece, *Int Endodont J* 35, 2002, 590-593.
- [19] Guldener, P., Langeland, K.: *Endodontologie*, 3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, 78-80.
- [20] Heidemann, D.: *Endodontie, Praxis der Zahnheilkunde, Studienausgabe*, 1. Auflage, Urban&Fischer, München, 2005, 128.

- [21] Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung, 2. Auflage, Urban&Fischer, München, Jena, 1999, 245-261.
- [22] Hör, D., Attin, T.: Die elektrische Längenbestimmung des Wurzelkanals, Endodontie 1, 2001, 39-56.
- [23] Hör, D., Attin, T.: The accuracy of electronic working length determination, Int Endod J 37, 2004, 125-131.
- [24] Hülsmann, M.: Die endodontische Kanallängenbestimmung in der Endodontie – Indikation, Grenzen, Anwendung, Quintessenz 10/89, 1989, 1809-1822.
- [25] Hülsmann, M.: Die Bestimmung der Arbeitslänge in der Endodontie, ZWR 100, Nr. 2, 1991, 12-21.
- [26] Ingle, J., Bakland, L.: Endodontics, 4. Auflage, Williams&Wilkins, London, 1994, 133-140.
- [27] Ingle, J.: Endodontics, 5. Auflage, BC Decker, Hamilton-London, 2002, 228-235.
- [28] Jenkins, J., Walker, W., Schindler, W., Flores, C.: An in vitro evaluation of the accuracy of Root ZX in presence of various irrigants, J Endod 27, 2001, 209-211.
- [29] Ketterl, W.: Praxis der Zahnheilkunde 3. Zahnerhaltung II, 1. Auflage, Urban&Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1987, 40-52.
- [30] 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, 68-73.
- [31] Kim, E., Lee, S.: Electronic apex locator, Dent Clin N Am, 2004, 35-54.

- [32] Kobayashi, C.: Electronic canal length measurement, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 79, 1995, 226-230.
- [33] Kockapan, C.: Curriculum Endodontie, 1. Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin, 2003, 263-279.
- [34] Martinez-Lozano, M., Former-Navarro, L., Sanchez-Cortes, J. Llena Puy, C.: Methodological considerations in the determination of working length, *Int Endod J* 34, 2001, 371-376.
- [35] Mayer, A., Ketterl, W.: Dauerfolge bei der Pulpitisbehandlung, *Dtsch Zahnärztl Z* 133, 1985, 883.
- [36] McDonald, N.: The electronic determination of working length, *Dent Clin N Am* 36, 1992, 293-307.
- [37] Meredith, N, Gulabivala, K.: Electrical impedance measurements of root canal length, *Endod Dent Traumatol* 13, 1997, 126-131.
- [38] Muhr, C.: In-vivo-Vergleich dreier Endometriegeräte, Zahnmed. Diss., Erlangen, 2009
- [39] Nomura, H., Sakada, S., How, H.: Some observations on electronic conductivity of tooth, *Bull Tokyo Dent Coll* 12, 1971, 15.
- [40] Olson, 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
- [41] 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.

- [42] Paque, F., Rödiger, T.: Praxis Coach Moderne Endodontie – Das Handbuch für effiziente und erfolgreiche Endodontie, Schlütersche Verlags GmbH, Hannover, 2004, 218-225.
- [43] Pommer, O.: Endodontische Wurzelkanallängenbestimmung, Rundschreiben I/01, Literaturumschau, 2001, 6-8.
- [44] Pommer, O., Stamm, O., Attin, T.: Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals, J Endod 28, 2002, 344-347.
- [45] Pratten, Don H., McDonald, N.: Comparison of radiographic and electronic working length, J Endod 22, 1996, 404-407.
- [46] Sjörgen, U., Hägglund, B., Sundqvist, G.: Factors affecting the long term results of endodontic treatment, J Endod 16, 1990, 498-504.
- [47] Strickling, W., Ott, K.: Klinische Untersuchung des Wurzelkanallängen-Messgerätes Root ZX, ZWR 104/03, 1995, 53-56.
- [48] Tinschert, J.: Zahnheilkunde in Checklisten, 2. Auflage Spitta Verlag, Stuttgart, 2002, 1-3.
- [49] Ushiyama, J.: New principal and method for measuring the root canal length, J Endodont 9, 1985, 97-104.
- [50] Van de Voorde, H., Björndahl, A.: Estimating working length with paralleling radiographs, J Oral Surg 27, 1969, 106-109
- [51] Venturi, M., Breschi, L.: A comparison between two electronic apex locators: in vivo investigation, Int Endod J 38, 2005, 36-45.

- [52] Visser, H., Kramer, I., Hülsmann, M., Krüger, W.: Physikalische Charakterisierung von Endometriegeräten, ZWR 100, 1991, 458-562.
- [53] Voß, A.: Die Längenbestimmung des Wurzelkanals unter besonderer Berücksichtigung der elektrischen Verfahren, Habilitationsschrift, Universität Erlangen-Nürnberg, 1988, 65.
- [54] Voß, A.: Die Endometrie – eine fragwürdige Methode der Längenbestimmung des Wurzelkanals, Dtsch Zahnärztl Z 44, 1989, 606-609.
- [55] Voß, A.: Neue elektrische Messverfahren zur Längenbestimmung des Wurzelkanals, Dtsch Zahnärztl Z 45, 1990, 219-222.
- [56] Voß, A., Siebenkees, J.: Experimentelle und klinische Bewertung der Endometriegeräte Apit und Root ZX, Dtsch Zahnärztl. Z 49, 1994, 281-284.
- [57] Weiger, R., John, C., Geigle, H., Lost, C.: An in vitro comparison of two modern apex locators, J Endod 25, 1999, 765-786.
- [58] Yousef Saad, A., Saad Al-Nazhan, F.: Radiation dose reduction during endodontic therapy: A new technique combining an apex locator (Root ZX) and digital imaging system (Radio Visio Graph), J Endod 26, 2000, 223-228.
- [59] Zirkel, C.: Endodontie heute, DG Endo Sonderdruck, Ausgabe 1/04, 2006, 1-4.

## 8. Lebenslauf

### **Stefan Steinmüller**

geboren am 23.07.1978

### **Schulbildung**

06/1998                      Allgemeine Hochschulreife  
Gymnasium mit Schülerheim Pegnitz

### **Studium**

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

12/2005                      Approbation

### **Beruflicher Werdegang**

05/2006 – 05/2008                      Vorbereitungsassistent  
Zahnarztpraxis Dr. W. Zettl  
82194 Gröbenzell

10/2008 – 05/2009                      Angestellter Zahnarzt  
Zahnärztliche Tagesklinik Dr. Eichenseer & Kollegen  
80807 München

seit 01/2010                      Angestellter Zahnarzt  
Praxis Dr. J. Rauch  
80554 Haar