

# **Masterstudiengang Endodontologie**

## **Masterthesis**

### **Entfernung frakturierter Instrumente: Bewertung unterschiedlicher Techniken und analyserrelevanter evidenzbasierter Daten**

#### **Eine Literaturübersicht**

Dr. Martin Eggert

Düsseldorf

2012

Betreuer: PD Dr. Christian Gernhardt

Masterthesis eingereicht bei der  
Düsseldorf Dental Academy  
an der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
zur Erlangung des Titels  
Master of Science/ Endodontology  
Wissenschaftliche Leitung:  
PD Dr. David Sonntag

Meiner Ehefrau Marie-Luise gewidmet

**Hinweis:**

Die im Text genannten Gebrauchsnamen, Handelsnamen und Warenbezeichnungen sind zum Teil patent- und urheberrechtlich geschützt. Aus dem Fehlen eines besonderen Hinweises bzw. des Zeichens ® darf nicht geschlossen werden, dass kein Schutz besteht.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	5
<b>1.1. Wurzelkanalbehandlung</b>	5
<b>1.2. Wurzelkanalinstrumente</b>	5
<b>1.3. Risiken der Wurzelkanalbehandlung</b>	6
<b>1.4. Instrumentenfrakturen</b>	6
<b>2. Ziel der Arbeit</b>	7
<b>3. Material und Methoden</b>	7
<b>4. Ergebnisse</b>	8
<b>4.1 Instrumentenfrakturen</b>	8
4.1.1 Epidemiologie	8
4.1.2 Ätiologie	14
4.1.3 Historie der Entfernungsmethoden	16
4.1.4. Erfahrungen mit der Entfernung von Fragmenten	16
4.1.5. Digitale Volumetomographie und Entfernungen von Fragmenten	17
<b>4.2 Wurzellängsfrakturen</b>	18
4.2.1 Epidemiologie von WLF nach endodontischen Behandlungen	19
4.2.2 Ätiologie	20
4.2.3. Digitale Volumetomographie bei der Diagnostik von Wurzellängsfrakturen	21
<b>4.3 Prognose nach Instrumentenfraktur / Resultate</b>	22
4.3.1 Prognose der Endodontologie allgemein	22
4.3.2 Prognose von Revisionen	23
4.3.3 Prognose mit Instrumentenfragment	23
<b>5. Diskussion</b>	24
<b>5.1. Diskussion der Instrumentenfrakturen</b>	24
<b>5.2. Diskussion der Wurzellängsfrakturen</b>	25
<b>5.3. Diskussion der Prognosen und Therapien</b>	27
<b>5.4 Verbesserung der Diagnostik durch DVT?</b>	29
<b>6. Schlussfolgerungen</b>	31
<b>7. Literaturangaben</b>	32
<b>8. Eidesstattliche Erklärung</b>	38
<b>9. Danksagung</b>	38

# 1. Einleitung

## 1.1. Wurzelkanalbehandlung

Nach einer irreversiblen Erkrankung der Pulpa ist die Wurzelkanalbehandlung die einzige Möglichkeit, den betroffenen Zahn zu erhalten mit dem Ziel, eine mikrobielle Infektion des Zahninneren und des periapikalen Gewebes zu verhüten oder ggf. zu beseitigen.<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Die endodontische Behandlung beginnt mit der Trepanation und Präparation der primären und sekundären Zugangskavitäten zu den Kanaleingängen.<sup>7</sup> Die Aufbereitung umfasst die Erweiterung, Reinigung, konische Formgebung und Glättung der Wände des Wurzelkanalsystems, wie Peters und Peters<sup>8</sup> (2011) umfassend darstellen.

Die Aufbereitung kann nur einen Teil der eingedrungenen Mikroorganismen entfernen, da mindestens 35% der Kanalwandoberflächen nicht von der mechanischen Aufbereitung erreicht werden, wie Peters et al.<sup>9</sup> (2001) mit Mikro-CTs sehr anschaulich machten. Eine wichtige Rolle bei der Elimination der eingedrungenen Mikroorganismen nimmt die Wurzelkanalspülung mit einem abgestimmten Konzept ein. Haapasalo et al.<sup>10</sup> (2010) und Zehnder<sup>11</sup> (2006) und verschaffen einen sehr guten Überblick über den Wirkmechanismus der Spüllösungen. Nach Van der Sluis et al.<sup>12</sup> (2007) sowie Violich und Chandler<sup>13</sup> (2010) verstärkt eine Aktivierung durch Ultraschall diese Wirkungen wesentlich. Die Wurzelfüllung soll nach Johnson und Kulid<sup>14</sup> (2011) das Kanalsystem dauerhaft dicht versiegeln, Mikroorganismen den Lebensraum vollständig entziehen, eine Reinfektion verhindern und die Grundlage einer dauerhaft erfolgreichen Restauration des Zahnes bilden. Schon Studenten können nach Peters et al.<sup>15</sup> (2010) eine der lateralen Kondensation überlegene warme vertikale Fülltechnik leicht erlernen.

## 1.2. Wurzelkanalinstrumente

Wurzelkanalinstrumente dienen der Aufbereitung des Kanalsystems<sup>8</sup>. Einteilungen sind nach vielfältigen Kriterien wie z.B. Material, Herstellungsmodus, Oberflächenbearbeitung, Querschnitt und Design, Schneidengeometrie, Bewegungsmuster bei der Aufbereitung, Art des Antriebes und nach der Einbindung in verschiedene Aufbereitungskonzepte wie etwa die Crown-Down-Technik oder die Single-Length-Technik möglich. (Peters und Paqué<sup>16</sup> 2010) Für die initiale Erschließung von engen Kanälen dominieren Feilen aus gehärtetem Spezialstahl, die bis herab zu 0,06mm Durchmesser produziert werden. Sie sind zugleich relativ frakturresistent, schneidfreudig und flexibel. Sie erlauben das Schaffen eines Gleitpfades bis zum Durchmesser von 0,15mm oder 0,20 mm.<sup>17</sup> Die weitere Aufbereitung etwa ab 0,1mm bis 0,15mm Durchmesser aufwärts übernehmen heute Nickel-Titan-Feilen. Als herausragende positive Eigenschaft weisen sie eine exzellente Flexibilität auf. Mit Nickel-Titan-Feilen können auch stark gekrümmte Kanäle unter Erhalt der Grundform bis zu den für eine effektive Spülung notwendigen Kalibern aufbereitet werden, was so mit Stahlfeilen nicht möglich ist.<sup>8</sup>

Zu den Anforderungen an Wurzelkanalinstrumente zählen:

Gute Schneidleistung, guter Abtransport der Späne, möglichst wenig Transport von Abrieb nach apikal, möglichst geringe Reibung an der Kanalwand, Flexibilität, möglichst gleichmäßiger

Substanzabtrag an Innen- und Außenkurvaturen, möglichst geringe Veränderung des Kanalprofils und nicht zuletzt gute Resistenz gegen Frakturen.<sup>8</sup>

### **1.3. Risiken der Wurzelkanalbehandlung**

Verschiedene unerwünschte Ereignisse können den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen beeinträchtigen: Apikal austretender Debris kann eine latent vorhandene apikale Infektion akut aufflammen lassen oder erst erzeugen. Späne oder Debris oder überschießende Bildung von Dentin können den Wurzelkanal blockieren. Wurzelkanalinstrumente können vom Kanalverlauf abweichen, Stufen erzeugen oder die Kanalwand perforieren. (Lin et al.<sup>18</sup> 2005) Spüllösungen können aus dem Zahninneren austreten und Gewebeschäden an der Mundschleimhaut, im periapikalen Gewebe und in der weiteren Umgebung verursachen, wie Hülsmann und Hahn<sup>19</sup> (2000) analysieren. Wurzelfüllmaterial kann aus dem Kanal in die Umgebung austreten und Fremdkörperreaktionen auslösen.<sup>18</sup> Nach der Wurzelkanalbehandlung kann eine periapikale Entzündung auftreten.<sup>20</sup> Wurzelkanalinstrumente können frakturieren.<sup>21</sup> In Abhängigkeit von der Lage und Größe des Fragmentes schwächt seine Entfernung die Wurzel und erhöht das Risiko für Wurzellängsfrakturen (=WLF)<sup>22</sup>. WLF verursachen mindestens den Verlust einer Wurzel und in den meisten Fällen den Verlust des ganzen Zahnes. Werden WLF zu spät erkannt, entstehen ausgedehnte Knochenverluste.

### **1.4. Instrumentenfrakturen**

Aufbereitungsinstrumente brechen oder deformieren, wenn die angewandte Kraft die Stabilität des Instrumentes übersteigt.<sup>21,23,24</sup> Die Stabilität ist an der dünnen Spitze am geringsten. Eine unbeabsichtigt eingeklemmte Spitze bricht ab, sobald die eingesetzte Kraft die werkstoffspezifische Grenze überschreitet. In gebogenen Kanälen ist die Gefahr hoch, durch fortgesetzte Rotation eine Ermüdungsfraktur auszulösen. (Plotino et al.<sup>25</sup> 2009) Nicht zuletzt weil Instrumentenfragmente radiologisch sichtbar sind, erfahren sie besondere Aufmerksamkeit. „Die abgebrochene Feile im Wurzelkanal ist die röntgenologisch sichtbare Leiche im Keller des Endodontologen“, formulierte Michael Arnold im März 2012 in Heidelberg in seinem Workshop „Fragmententfernung“, und weiter: „Fragmente sind das in Metall gefräste schlechte Gewissen des endodontisch tätigen Zahnarztes.“<sup>26</sup>

Im Gegensatz dazu kann man die hochsprudelnden Emotionen auch beruhigen und ein Instrumentenfragment als eine inerte, biokompatible Wurzelfüllung mit besonders gutem Röntgenkontrast titulieren.

Betroffene Patienten sind oft sehr besorgt und drängen darauf, den sichtbaren Makel der Behandlung schnellstens wieder loszuwerden. Wenn dies nicht gelingt oder negative Folgen hinterlässt, knüpfen sich immer wieder auch juristische Auseinandersetzungen zwischen Arzt und Patient an das ungewollte Ereignis, wie z.B. Björndal und Reit<sup>27</sup> (2008) berichten.

## 2. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist, statt Emotionen den aktuellen Stand der evidenzbasierten Wissenschaft als Entscheidungsgrundlage für den adäquaten Umgang mit IF aufzuarbeiten und dem geneigten Leser anzubieten. Sie soll evidenzbasierte Literatur zu Ursachen von IF, zu Methoden der Entfernung von Instrumentenfragmenten, zur Häufigkeit und zur Lokalisation von IF und von WLF zusammenstellen.

Es sollen mit möglichst hoher Evidenz Antworten aufgezeigt werden, wie sich die Langzeitprognose eines endodontisch behandelten Zahnes verändert durch

- a) eine IF bzw. durch das erfolgreiche Entfernen eines Fragmentes
- b) den mit der Entfernung einhergehenden Substanzverlust und somit das Risiko einer WLF

## 3. Material und Methoden

In der Datenbank Pubmed erfolgten im April/Mai 2012 mehrere Recherchen nach folgenden Keywords:

Instrumentenfrakturen:

"equipment failure"[MeSH Terms] AND ("dental pulp cavity"[MeSH Terms] OR ("dental"[All Fields] AND "pulp"[All Fields] AND "cavity"[All Fields]) OR "dental pulp cavity"[All Fields] OR ("root"[All Fields] AND "canal"[All Fields]) OR "root canal"[All Fields])

Die Suche ergab 450 Treffer.

Entfernung von Instrumenten-Fragmenten:

("fractures, bone"[MeSH Terms] OR ("fractures"[All Fields] AND "bone"[All Fields]) OR "bone fractures"[All Fields] OR "fractured"[All Fields]) AND instrument[All Fields] AND removal[All Fields] AND ("dental pulp cavity"[MeSH Terms] OR ("dental"[All Fields] AND "pulp"[All Fields] AND "cavity"[All Fields]) OR "dental pulp cavity"[All Fields] OR ("root"[All Fields] AND "canal"[All Fields]) OR "root canal"[All Fields])

Die Suche ergab 28 Treffer.

Wurzelstabilität und Wurzellängsfrakturen

((("plant roots"[MeSH Terms] OR ("plant"[All Fields] AND "roots"[All Fields]) OR "plant roots"[All Fields] OR "root"[All Fields]) AND strength[All Fields]) AND (vertical[All Fields] AND ("plant roots"[MeSH Terms] OR ("plant"[All Fields] AND "roots"[All Fields]) OR "plant roots"[All Fields] OR "root"[All Fields]) AND ("fractures, bone"[MeSH Terms] OR ("fractures"[All Fields] AND "bone"[All Fields]) OR "bone fractures"[All Fields] OR "fracture"[All Fields])))

Die Suche ergab 35 Treffer.

Wurzellängsfrakturen im DVT:

("cone-beam computed tomography"[MeSH Terms] OR ("cone-beam"[All Fields] AND "computed"[All Fields] AND "tomography"[All Fields]) OR "cone-beam computed tomography"[All Fields] OR ("cone"[All Fields] AND "beam"[All Fields] AND "computed"[All Fields] AND "tomography"[All Fields]) OR "cone beam computed tomography"[All Fields]) AND (vertical[All Fields] AND ("plant roots"[MeSH Terms] OR ("plant"[All Fields] AND "roots"[All Fields]) OR "plant roots"[All Fields] OR "root"[All Fields]) AND ("fractures, bone"[MeSH Terms] OR ("fractures"[All Fields] AND "bone"[All Fields]) OR "bone fractures"[All Fields] OR "fracture"[All Fields]))

Die Suche ergab 16 Treffer.

Endodontische Prognose

(endodontic[All Fields] AND ("therapy"[Subheading] OR "therapy"[All Fields] OR "treatment"[All Fields] OR "therapeutics"[MeSH Terms] OR "therapeutics"[All Fields])) AND outcome[All Fields]

Die Suche ergab 740 Treffer.

Die nach Durchsicht der Abstracts als relevant eingestuftten Arbeiten wurden im Volltext gelesen und ausgewertet. In den Literaturverzeichnissen der Reviews erfolgte eine manuelle erneute Literatursuche. Die letzte Quelle wurde am 31. Mai 2012 erfasst.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Instrumentenfrakturen

#### 4.1.1 Epidemiologie

Mandel et al.<sup>28</sup> (1999) untersuchten den Einfluss der Erfahrung des Behandlers auf die Frakturrate bei der Aufbereitung. Sie ließen in einem Experiment an artifiziellen Kanälen in Kunststoffblöcken Endodonten und Allgemeinzahnärzte ihre ersten Erfahrungen mit rotierender NiTi-Aufbereitung sammeln. Während die Mehrheit sich schnell auf die Besonderheiten einstellte und nach einigen Versuchen bessere Ergebnisse erreichte, wurden die Ergebnisse und die Frakturraten bei einem Behandler schlechter. Die Frakturrate lag insgesamt bei 16,8% pro Kanal. Wissensstand und Erfahrung spiegelten sich sehr deutlich in den Frakturraten wider.

Parashos et al.<sup>23</sup> (2004) untersuchten 7159 ausrangierte Nickel-Titan-Feilen 8 verschiedener Typen von 14 Endodonten aus vier Ländern. Zwei Behandler benutzten die Feilen solange, bis sie stumpf oder defekt waren, acht Behandler benutzten die Feilen für je 3-5 Fälle, und vier Behandler benutzten die Feilen für nur einen einzigen Fall. Bleibende Deformationen als Vorstufen von Frakturen hatten 12% der Feilen. Weitere 5% der Feilen waren frakturiert, davon 1,5% Torsionsfrakturen und 3,5% Ermüdungsbrüche. Die Verteilung der Frakturen auf die verschiedenen

Instrumentendurchmesser war ungleichmäßig: Größe 15 (13%), 20 (4%), 25 (9%), 30 (2%), 35 (1%) und 40 (4%).

Drei Behandler hatten für insgesamt 930 untersuchte Instrumente durch Kerben an den Schäften die Anzahl der Anwendungen dokumentiert. Davon waren 69 Instrumente frakturiert. Von diesen waren 10% bei der ersten Anwendung frakturiert, wobei statistisch nicht zwischen Frontzähnen mit geradem Kanal und Molaren mit vier stark gekrümmten Kanälen differenziert wurde. 23% der Feilen brachen bei der zweiten Anwendung, 14% bei der dritten, 26% bei der vierten, 7% bei der fünften und die übrigen 20% der Feilen brachen bei der sechsten oder weiteren Anwendungen.

Mit Kerben markierte defekte Instrumente wurden nach durchschnittlich 3,3 Einsätzen, intakte Instrumente nach durchschnittlich 4,5 Einsätzen ausgemustert. Im Durchschnitt traten hier Deformationen nach 3,1, Torsionsfrakturen nach 3,6 und Ermüdungsfrakturen nach 3,8 Anwendungen auf.

Den größten und hoch signifikanten ( $P < 0,001$ ) Einfluss auf die Frakturnrate hatte die Person des Behandlers bzw. sein Modus des Ausmusterens benutzter Feilen. Mit zunehmender Anzahl der Anwendungen stieg die Quote der defekten Feilen steil an, was für Frakturen, für Deformationen und für die Defekte insgesamt galt. Die Frakturnrate variierte nach<sup>22</sup> auf den Behandler bezogen zwischen 0% und 39% der ausrangierten Feilen, die Deformationsrate zwischen 3% und 89%. Unterschiede in den Defektraten zwischen den Instrumententypen wurden ebenfalls registriert, sie waren weit weniger deutlich als die Unterschiede zwischen den Behandlern.

Cheung<sup>21</sup> (2009) bündelte 15 Untersuchungen zur Häufigkeit von IF, siehe Tabelle 1. Die Quoten lagen zwischen 0,25% und 28% je Zahn. Zwischen 44% und 92% der Frakturen waren Ermüdungsbrüche. Je häufiger die Feilen verwendet wurden, desto häufiger wurden Ermüdungsbrüche. Wu et al.<sup>29</sup> (2011) befassten sich mit aussortierten mehrfach benutzten ProTaper®-Feilen (Dentsply Maillefer, Konstanz, Deutschland). Die Bruchrate lag insgesamt bei 2,6%; in mesialen Molarenwurzeln lag sie bei 5,4% je Zahn. da Cunha Peixoto et al.<sup>30</sup> (2010) untersuchten zwei Feilentypen gleicher chemischer Zusammensetzung desselben Herstellers, ProFile GT® und GTX®-Feilen (Dentsply Maillefer). Unterschiede im Feilendesign bewirken, dass GTX®-Feilen eine signifikant höhere Stabilität hinsichtlich Ermüdungsfrakturen aufweisen und zugleich eine signifikant geringere Stabilität gegen Torsionsfrakturen. Cheung et al.<sup>31</sup> (2007) untersuchten insgesamt 736 Pro Taper® Feilen für Handbetrieb und für maschinellen Antrieb. Die Quote der Frakturen war mit je 14% etwa gleich; während die Feilen für Handbetrieb überwiegend Torsionsbrüche aufwiesen, hatten die maschinell betriebenen Feilen signifikant mehr Ermüdungsfrakturen erlitten. Shen et al.<sup>32</sup> (2007) untersuchten 401 aussortierte ProTaper® Handfeilen aus 17 Monaten Behandlung in der endodontischen Klinik Wuhan. Die maximale Zahl der Einsätze pro Feile war auf 4 Molaren oder 10 Prämolaren oder 50 Frontzähne begrenzt. 86 Instrumente (22%) waren defekt, davon 7% deformiert und 14,5% frakturiert, davon 62% mit Torsionsbrüchen.

Plotino et al.<sup>25</sup> (2009) beschrieben eine Versuchsapparatur, die durch individuell sehr exakt mit nur 0,2mm Spiel für jede Feile nach Maß hergestellte Metallführungen den Radius der Biegung im Versuchsablauf reproduzierbar und valide definierte. Damit wurden Messwerte zu Ermüdungsfrakturen erstmals vergleichbar.

Kim et al.<sup>33</sup> (2010) testeten 4 Typen von NiTi-Feilen in der von Plotino et al.<sup>25</sup> entwickelten Apparatur und zählten die Anzahl der Rotationen bis zum Eintritt einer Ermüdungsfraktur bei einem Radius von 6mm und einer Krümmung von 40° für Helix® (Fa. DiaDent, Almere, Niederlande), ProTaper®, F1 RaCe® (Fa. FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz) und Twisted File® (Fa. Sybron Endo, Orange, CA, USA). Die Ermüdungsfraktur trat je Feilentyp nach 235, 410, 514 oder erst nach 731 Umdrehungen auf. Bei den üblichen Aufbereitungsdrehzahlen von 300 UpM entspricht das Überlebensdauern der Feilen von 47 Sekunden bis zu maximal 2 Minuten 26 Sekunden. Die Ergebnisse sind signifikant und werden durch hochwertige rasterelektronenmikroskopische Fotos illustriert. Eine Wärmebehandlung des Feilen-Rohlings zwecks Vergüten ist demnach den Herstellern zu empfehlen. Die Vergütung der Oberfläche durch Elektropolishing erhöhte signifikant die Fraktur-Resistenz der Feile. Die Herstellungsweise durch Verdrillen (Twisted File®) ergab höhere Fraktur-Resistenz als das früher entwickelte Fräsen aus dem vollen Rohling.

Iqbal et al.<sup>34</sup> (2006) untersuchten 4865 endodontische Behandlungen von Postgraduierten-Studenten der Universität Pennsylvania aus den Jahren 2000-2004. Die Frakturnrate lag – bei im Durchschnitt 8maliger Anwendung - für Handfeilen bei 0,25% und für rotierende NiTi-Feilen bei 1,68%; insgesamt waren es 81 IF. Davon befanden sich 67 (82,7%) im apikalen Drittel, 12 (14,8%) im mittleren Drittel und 2 (2,5%) im koronalen Drittel. Die Frakturnrate war am höchsten in den mesialen Wurzeln der unteren (55,5%) und oberen (33,3%) Molaren. Nach Iqbal et al.<sup>34</sup> war die Mehrzahl der IF Ermüdungsbrüche. Die Verwendung eines Motors mit Drehmomentregulation konnte nur den kleinen Anteil von Torsionsbrüchen beeinflussen, und dies vorrangig bei den kleinen Größen 10 bis 20. Der Nutzen eines solchen Antriebs war daher beschränkt. Die Frakturnrate war im ersten und im zweiten Ausbildungsjahr gleich.

Madarati et al.<sup>35</sup> (2008) befragten 170 britische Endodontologen und 330 britische Allgemeinzahnärzte zu ihren Erfahrungen und Ansichten bezüglich IF. 75% der Befragten antworteten, darunter 82,8% der Endodontologen und 70,9% der Allgemeinzahnärzte. 92,6% der Endodontologen und 65% der Allgemeinzahnärzte benutzten rotierende NiTi-Instrumente. 10,4% der Endodontologen und 27% der Allgemeinzahnärzte hatten nicht an praktischen Kursen zur Erlernung der NiTi-Aufbereitungstechniken teilgenommen. Am häufigsten brachen NiTi-Feilen. 94,8% der Endodontologen und 85,1% der Allgemeinzahnärzte hatten IF festgestellt.

Als Ursachen der Frakturen nannten die Befragten in absteigender Rangfolge der Bedeutung an erster Stelle die Häufigkeit der Anwendung derselben Feilen sowie die Erfahrung und Geschicklichkeit des Behandlers, an zweiter Stelle die Kanalanatomie (insbesondere Obliterationen, Blockaden, Krümmungen), an dritter Stelle das Instrumentendesign, an vierter Stelle

herstellerbezogene Gesichtspunkte wie Produktionsbedingungen und Endkontrollen und an fünfter Stelle Randbedingungen der Anwendung wie Kanalspülungen und Sterilisationen der Instrumente.

88,1% der Endodontologen und 55,4% der Allgemeinzahnärzte kontrollierten ihre Feilen während der Aufbereitung. 75,2% der Endodontologen und 42% der Allgemeinzahnärzte kontrollieren zusätzlich ihre Feilen vor Beginn der Aufbereitung. 63,4% der Endodontologen und 20,7% der Allgemeinzahnärzte benutzten immer Lupe oder Mikroskop zur Kontrolle der Feilen.

94,1% der Endodontologen und 56,3% der allgemeinzahnärztlichen Behandler kontrollierte die Zahl der Anwendungen bis zur Entsorgung der Feilen. Defekte Instrumente entsorgt hatten 40% der Endodontologen und 19,4% der Allgemeinzahnärzte, nachdem sie mit optischer Vergrößerung einen Defekt entdeckt hatten.

57,5% der Endodontologen und 32% der Allgemeinzahnärzte entsorgten ihre Feilen nach einmaliger Anwendung. Andererseits benutzten 20,6% aller Behandler ihre Feilen für mehr als sechs Behandlungen.

Teil 2 dieser Studie von Madarati et al.<sup>36</sup> (2008) befasste sich mit dem Umgang der Kollegen mit IF.

#### *Management der Frakturen:*

Im koronalen Drittel würden 94% der Endodontologen und 86,9% der Allgemeinzahnärzte das Fragment zu entfernen suchen. Im mittleren Drittel würden 74,6% der Endodontologen und 48% der Allgemeinzahnärzte das Fragment zu entfernen suchen. 29,6% der Befragten würden versuchen, das Fragment zu passieren. Nur 14,9% der Allgemeinzahnärzte würden anlässlich der IF im mittleren Drittel zum Spezialisten überweisen. Bei einer Fraktur im apikalen Drittel würden 25,9% der Endodontologen und 14% der Allgemeinzahnärzte das Fragment entfernen wollen. Zum Spezialisten überweisen würden 21% der Allgemeinzahnärzte.

#### *Erfolgsraten bei der Entfernung von Fragmenten:*

Folgende Abstufung wurde gemacht: 76-100% Erfolg = sehr gut, 51-75%= gut, 26-50% = befriedigend und 1-25% = bescheiden

Im koronalen Drittel erreichten 89,9% der Endodontologen und 38,7% der Allgemeinzahnärzte sehr guten Erfolg. Mindestens guten Erfolg erreichten 99,2% der Endodontologen und 64,4% der Allgemeinzahnärzte.

Im mittleren Drittel erreichten 36,4% der Endodontologen und 7,5% der Allgemeinzahnärzte sehr guten Erfolg. Mindestens 50% Erfolg erreichten 70,5% der Endodontologen und 20,3% der Allgemeinzahnärzte.

Im apikalen Drittel erreichten 79,1% aller Befragten eine bescheidene Erfolgsrate. Auf der anderen Seite erreichten im apikalen Drittel 3,2% sehr guten Erfolg. Über 50% Erfolg gaben 12% der Endodontologen und 2,8% der Allgemeinzahnärzte an.

### *Entfernungstechniken*

Ein Mikroskop nutzten 85,7% der Endodontologen und 10,5% der Allgemeinzahnärzte. Am häufigsten entfernt wurden Fragmente mittels feinen Ultraschallspitzen. Unter Endodontologen hatte diese Technik über 98% Verbreitung erlangt, unter Allgemeinzahnärzten 75,8%. Die Masserant-Technik wandten noch 35,4% der Behandler an.

Die Möglichkeiten, Risiken und Grenzen der Fragmententfernung waren der Mehrzahl der Behandler bewusst. Von allen Mitwirkenden hatten 40,5% schon ein zweites Instrument im selben Kanal frakturiert, 46,5% hatten schon mindestens eine Perforation verursacht, 67,4% hatten nachträglich die Schwächung der betroffenen Wurzel als Komplikation eingestuft. Ein Instrument aus dem Apex extrudiert hatten 18,6% der Befragten.

### *Vorgehen bei nicht entfernbaren und nicht passierbaren Instrumenten:*

96,9% der Endodontologen und 82,9% der Allgemeinzahnärzte würden ein nicht entfernbare Fragment im Zahn belassen und den Kanal füllen. Eine Wurzelspitzenresektion (=WSR) durchführen oder dafür überweisen würden 16% der Endodontologen und 7% der Allgemeinzahnärzte. Die Unterschiede zwischen Endodontologen und Allgemeinzahnärzten waren ausnahmslos signifikant.

Für die Entfernung von Instrumenten im mittleren und apikalen Drittel erwies sich das Mikroskop als der entscheidende Erfolgsfaktor.

Quelle	Material	% deformiert	% frakturiert	davon % mit plastischer Deformation =Torsionsfraktur	davon % ohne plastische Deformation =Ermüdungsfraktur
Sattapan et al.	378 Quantec über 6 Monate ausrangiert	28	12		9
Arens et al.	786 PF 0,04 Taper (449 Molaren bzw. 1457 Kanäle	4,2	4,6		
Al-Fouzan	449 PF				
Parashos et al.	7159 verschiedene Marken von 14 Endodonten aus 4 Ländern	12	5	1,5	3,5
Peng et al.	122 PT (nur S1) aurangiert	0,87		2	20
Cheung et al.				7	15
Alapati et al.	175 PF ; 595 GT; 52 PT aus einem Graduierten-Lehrgang einer endodontischen Klinik	PF: 22% GT: 7% PT: 19%	8 3 23		
Spili et al.	5103 Kanäle von 1997 – 2003	?	S 0,7% je Kanal N 0,4% je Kanal		
Spanaki-Voreadi et al.	46 „defekte“ PT aus zahnärztlichen Praxen unbekannter Zeit	17		9	74
Shen et al.	166 PF und 325 PT aus 17 Monaten	PF 5,0% PT 0,3%	PF 7% PT 14%		
Di Fiore et al.	6661 Instrumente aus dem Graduiertenprogramm einer Endo-Klinik (3181 Kanäle, 1403 Zähne, 1235 Patienten)	?	0,39		
Iqbal et al.	4865 Zähne im Graduiertenprogramm einer Endo-Klinik	?	S 0,25% N 1,7%		
Wolcott et al.	4652 Wurzelkanäle mit PT in einer Endo-Praxis	?	2,4% der Kanäle		
Cheung et al.	401 PT für Hand, 325 PT für M in 17 Monaten	H: 7 M: 0,3	14 14		H: 38 M: 66
Wei et al.	774 PT	?	12	3	91

PF= ProFile    PT=ProTaper    S= rostfreier Stahl    N=Nickel-Titan    H= Handbetrieb    M= maschineller Antrieb    ?= nicht dokumentiert

#### 4.1.2. Ätiologie

Nach Bergmans et al.<sup>37</sup> (2001) hatten schon im Jahr 2001 rotierende NiTi-Feilen eine dominierende Stellung in der Aufbereitung von Wurzelkanälen erreicht. Ermüdungsbrüche und Torsionsbrüche waren als NiTi-spezifische Besonderheiten bereits bekannt.

Parashos und Messer<sup>24</sup> (2006) gaben einen umfassenden Überblick über die Historie, Prävalenz, Metallurgie der Frakturen, Ursachen, Einfluss auf die Prognose, Entfernungstechniken und juristische Aspekte. Gambarini<sup>38</sup> (2001) testete ProFile® nach 10 Anwendungen am Patienten in einer Testapparatur auf die Anzahl der Rotationen bis zum Ermüdungsbruch. Durch Anwendung eines drehmomentkontrollierten Antriebs konnte das Eintreten der Fraktur signifikant hinausgeschoben werden. Dies lässt schließen, dass zuvor am Patienten durch die Drehmomentkontrolle Deformationen der Feilen vermieden worden waren.

Anderson et al.<sup>39</sup> (2007) untersuchten den Einfluss der Elektropolitur auf ProFile® (Fa. Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz), EndoWave® (Fa. J Morita Corporation, Osaka, Japan) und RaCe® in zwei Varianten: Bei allen Typen wurde sowohl ohne wie mit Elektropolitur die Bruchlast bei Torsion und die Anzahl der Rotationen für 45° und für 90° Biegung der Feile ermittelt. Die Elektropolitur erhöhte die Frakturresistenz gegen Torsion um 20 bis 50%, die Resistenz gegen Ermüdungsfrakturen um 50 bis 100% in Abhängigkeit vom Feilentyp. Die Erklärung liegt darin, dass glattere Oberflächen weniger Ansatzpunkte für die Rissbildung bieten. Rasterelektronenmikroskopische Bilder belegen den Sachverhalt eindrucksvoll.

Roland et al.<sup>17</sup> (2002) zeigen im Experiment an extrahierten Molaren mit gebogenen Kanälen, dass hohe Frakturraten auch mit neuen Instrumenten auftreten, wenn sie ohne sorgfältige Vorbereitung des Kanals zum Einsatz kommen. Das manuelle Preflaring und Schaffen eines Gleitpfades in einer Größe von 0.15 bis 0.20 senkt die Frakturrate beim Einsatz der ersten Feile im Kanal fast auf Null.

Bahia et al.<sup>40</sup> (2006) simulierten den mehrfachen Gebrauch von Feilen durch Rotation im gebogenen Zustand bis auf 50% und 75% der Ermüdungsbruchgrenze. Die Torsionsbruchlast war dadurch gegenüber einer neuen Feile signifikant reduziert. Mit gebrauchten Feilen besteht somit ein wesentlich höheres Frakturrisiko.

Ermüdungsfrakturen an drei Typen von Revisionsfeilen untersuchten Inan und Aydin<sup>41</sup> (2012). Endo R3® (Fa. Micro-Mega, Besançon, Frankreich), ProTaper® D3 und Mtwo® R (Fa. VDW Dental, München, Deutschland) 25.05 Feilen wurden in einem Stahlrohr mit 60° Krümmung mit 5mm Radius bis zur Fraktur rotiert. Sie brachen nach 1180, 538 bzw. 486 Rotationen. Endo R3 Feilen waren signifikant resistenter gegen Ermüdungsfrakturen als die beiden anderen Testteilnehmer.

Mehrfacher Gebrauch der Feilen und die mancherorts angewandte Lagerung von Feilen in NaOCl als Zwischenschritt der hygienischen Aufbereitung steigern die Korrosion. Damit entstehen neue Oberflächenfehler und somit potentielle Startpunkte für Frakturlinien. Peters et al.<sup>42</sup> (2007)

Ob eine hygienische Aufbereitung von endodontischen Feilen angesichts der schon bei erstmaliger Anwendung durch Korrosion in erwärmtem NaOCl entstandenen Oberflächendefekte überhaupt sinnvoll ist, hinterfragen Sonntag und Peters<sup>43</sup> (2007). Sie plädieren für die einmalige Anwendung.

### **Torsionsbruch**

Nach Cheung<sup>21</sup> entsteht ein Torsionsbruch, wenn eine Feile im Kanal eingeklemmt wird, während der Antrieb weiter rotiert. Falls das Drehmoment größer ist als die Elastizitätsgrenze des Metalls, muss die Feile sich bleibend deformieren und dann brechen. Neben einem Torsionsbruch sind daher größere Deformationen zu finden.

Zu Torsionsbrüchen führen nach Cheung<sup>21</sup> hoher Krafteinsatz bei kleinen Größen, das Fehlen eines Gleitpfades, Abweichen von der Crown-Down-Technik, Torsion und ein enger Radius der Kanalkurvatur. Korrosion der NiTi-Feilen durch Kontakt mit der Spüllösung NaOCl äußert sich als Lochfraß an der Oberfläche.

Als nützliche Gegenstrategien zur Vorbeugung gegen Torsionsbrüche nennt Cheung<sup>21</sup>:

- Manuelles Schaffen eines Gleitpfades mit K-Feilen bis zur Größe 15 oder besser 20
- Nutzen eines Drehmoment-kontrollierenden Antriebes
- Langsames Führen der Feilen im Kanal
- Vermeiden von Druck
- Anwenden einer Instrumentensequenz mit wechselnden Tapern, um die Kontaktfläche mit der Kanalwand zu mindern, womit sich zugleich die Reibung und die Torsionsspannung in der Feile reduzieren

### **Ermüdungsbruch**

Ein Ermüdungsbruch entsteht bei fortgesetzten Rotationen einer Feile im gebogenen Kanal. Mit jeder halben Umdrehung wechselt die Belastung von Druck auf Zug und wieder zurück, wodurch sich mit der Zeit minimale Gefügeänderungen ergeben. Ausgehend von mikroskopischen Oberflächenfehlern kommt es zur Rissbildung und damit zur Fraktur. Das typische Bild im Elektronenmikroskop enthält beim Ermüdungsbruch einen oder mehrere Ursprungspunkte, an jedem Ursprungspunkt beginnend Zonen langsamen Wachstums, eine glatte Bruchfläche schnellen Risswachstums, erkennbar an vielen mikroskopisch kleinen Dellen und manchmal am Rand eine leicht deformierte Abrisskante.<sup>21</sup>

**Ermüdungsbrüche** lassen sich gemäß<sup>21</sup> reduzieren durch

- Schaffen eines geradlinigen Zugangs zum apikalen Anteil des Kanals mit weitgehender Elimination vorhandener koronaler Biegungen vor der Aufbereitung
- Meiden rotierender Feilen mit Tapern über 06 bei Biegungen in der Kanalmitte
- Meiden rotierender Feilen in Kurven mit sehr engem Radius
- Wahl einer etwas reduzierten Drehzahl bei der rotierenden Aufbereitung

- Einräumen einer zusätzlichen Sicherheitsmarge bei Anwendung von NaOCl aus Rücksicht auf die Schwächung durch Korrosion
- Meiden des Autoreverse-Modus
- Entsorgen der Instrumente nach einmaliger Anwendung

Im klinischen Gebrauch kommen praktisch immer Kombinationen beider Frakturarten vor, da keine Feile ganz ohne Reibung arbeiten kann und gerade Kanäle ohne Biegemomente die Ausnahme bilden.

#### **4.1.3. Historie der Entfernungsmethoden**

Historische Methoden griffen auf Chemikalien wie Salzsäure und Schwefelsäure zurück, um Stahlfeilen aufzulösen. Für die heutigen rostfreien Instrumente kommt dieser Ansatz ohnehin nicht mehr in Betracht. Die Risiken sind offensichtlich.

Masserann<sup>44</sup> (1966) stellte einen Satz von Trepanbohrern zur Entfernung von Fragmenten vor. Es folgten Endo Extraktor, Canal Finder System, Hohltuben mit Klebetechnik, Umschlingungsmethoden und manche andere. All diesen Methoden gemeinsam war der relativ hohe Verlust an Dentin. Ruddle<sup>45</sup> (2002) stellte ausführlich die heute am meisten verbreitete Entfernungstechnik mit dem Operationsmikroskop und feinen Ultraschallspitzen sowie das IRS-System vor. Ruddle<sup>46</sup> (2004) gibt einen umfassenden Überblick über mögliche Entfernungsmethoden für IF und für Wurzelstifte. Alomairy<sup>47</sup> (2009) verglich die Ultraschalltechnik nach Ruddle mit der IRS-Technik und gab an, dass Ultraschall nicht signifikant schneller als die IRS-Technik zum Erfolg führt. Lage und Länge des Fragmentes, Radius der Krümmung und Gesamtkrümmungswinkel hatten auf das Behandlungsergebnis mehr Einfluss als die Methode der Entfernung. Mehr als 45 bis 60 Minuten sollten laut Alomeiry<sup>47</sup> (2009) nicht auf den Entfernungsversuch verwandt werden, da mit der Zeit die Stabilität des Zahnes und die Erfolgsquote sowohl im Hinblick auf die Entfernung selbst wie auch auf die Langzeitprognose abnimmt.

#### **4.1.4. Erfahrungen mit der Entfernung von Fragmenten**

Hülsmann<sup>48</sup> (1990) konnte mit dem Canal Finder® bei 50 Fällen in rund 50% der Fälle Fragmente entfernen. 7 der Zähne erlitten eine Perforation oder das Fragment wurde über den Apex transportiert. Hülsmann und Schinkel<sup>49</sup> (1999) berichteten, dass sie 81 von 113 Fragmenten aus 105 Zähnen entfernen konnten. Die Zähne wurden danach nicht weiter beobachtet. Ward et al.<sup>50</sup> (2003) beschrieben sowohl experimentell an Plastikblöcken und einigen extrahierten Zähnen<sup>50</sup> als auch klinisch<sup>51</sup> das Entfernen von Instrumentenfragmenten mittels Mikroskop, straight line access und Anlegen einer „staging platform“, bevor sie mit feinen Ultraschallspitzen das Fragment umkreisten und lockerten. Sie setzten sich ein Zeitlimit von 45 Minuten und rieten vom Entfernen von Fragmenten jenseits einer Kurve und im apikalen Drittel ab, weil die dabei gesetzten Schäden meist zu hoch seien und die Prognose verschlechtern anstatt sie zu verbessern.

Souter und Messer<sup>52</sup> (2005) verknüpften in ähnlicher Weise experimentelle und klinische Untersuchungen. Zusätzlich unterzogen sie die extrahierten Zähne Bruchlastmessungen durch

vertikale Kraffteinwirkung in einer nicht näher beschriebenen Prüfmaschine. Je tiefer und je weiter hinter der Krüvatür des Kanals das Fragment lokalisiert war, desto geringer war die Reststabilität des Zahnes. Bei apikalen IF ereigneten sich schon bei 80 N bis 120 N die ersten Wurzelfrakturen, weit weniger als die gängige Kaubelastung. Im Experiment am extrahierten Zahn war die IF-Entfernung im apikalen Drittel zu 73,3% erfolgreich, am Patienten dagegen nur zu 33,3%, wobei als Komplikation noch 46,6% Perforationen zu registrieren waren, darunter einige der prognostisch besonders ungünstigen Strip-Perforationen.

Suter et al.<sup>53</sup> (2005) entfernten 84 von 97 (=87%) der Fragmente in ihrer Praxis. Cujé et al.<sup>54</sup> (2010) konnten mit Mikroskop und Ultraschall von 170 Fragmenten sogar 162 (=95%) entfernen. Die Zähne wurden bei<sup>48 - 54</sup> nicht nachuntersucht. Über die Langzeitprognose der betroffenen Zähne nach der erfolgreichen Entfernung der Fragmente gibt es aus diesen Erfahrungsberichten<sup>48 - 54</sup> keine Informationen.

Fu et al.<sup>55</sup> (2011) untersuchten retrospektiv 102 Fragmententfernungen. Dabei fehlte eine Kontrollgruppe, es gab einen Drop out von 35,3% und sehr ungleich lange Nachuntersuchungsintervalle von 12 - 68 Monaten aus einem 4-jährigen Behandlungsintervall. Mit diesen Einschränkungen kamen die Autoren auf 87,8% entfernte Instrumente bei 14 eingetretenen Perforationen.

In Einzelfällen führten auch unkonventionelle Methoden zum Ziel. Wang et al.<sup>56</sup> (2010) berichtete von der Entfernung eines über den Apex hinaus verschobenen Fragmentes auf chirurgischem Weg. Nach einem ersten erfolglosen Versuch andernorts setzte er ein Computertomogramm (=CT) ein, um das aus dem Zahn 21 stammende Fragment rund 2 cm vom Frakturort entfernt in den Weichteilen oberhalb von 22 zu finden und zu entfernen. Rahimi M und Parashos P<sup>57</sup> (2009) gelang die Entfernung eines 3mm langen Fragmentes aus der Apikalregion eines 36, obwohl es vollständig hinter einer 85° Kanalbiegung lag: sie klebten das Fragment an einem mit Chloroform erweichten Guttaperchastift an und zogen es daran um die Krüve heraus. Zuvor hatten sie das Fragment als lose liegend und die Fraktur als Ermüdungsfraktur erkannt.

#### **4.1.5. Digitale Volumentomographie (=DVT) und Entfernungen von Fragmenten**

Bei chemisch an Hunden induzierten periapikalen Läsionen konnten Özen et al.<sup>58</sup> (2009) mit DVT 30% mehr apikale Läsionen entdecken als mit 2-D Röntgen. Stavropoulos und Wenzel<sup>59</sup> berichteten, dass im Experiment an Schweinekiefern artifiziell geschaffene würfelförmige Defekte von 1mm bzw. 2 mm Kantenlänge signifikant besser mit DVT als mit zweidimensionalem Röntgen erkannt werden konnten.

Nach einer experimentellen Untersuchung von Patel et al.<sup>60</sup> mit artifiziellen Läsionen innerhalb der Spongiosa an UK-Molarenwurzeln deckten 2-D Röntgenaufnahmen nur rund 25% der vorhandenen Läsionen auf, während DVT die Läsionen zu 100% lokalisierte. Lofthag-Hansen et.al.<sup>61</sup> gaben an, dass in 32 von 46 Fällen mit periapikalen Veränderungen das DVT therapeutisch wertvolle zusätzliche Information im Vergleich zum zweidimensionalen Röntgen geben konnte und tatsächlich

gab. Das DVT brachte im Vergleich zum zweidimensionalen Röntgen wesentlich mehr Information über Ausdehnung und Veränderung entzündlicher Prozesse in der Spongiosa sowie vestibulär und oral der Zahnwurzeln.

Lennon et al.<sup>62</sup> zeigten, dass beim DVT ohne Verlust an Information durch eine Beschränkung der Rotation der Strahlenquelle bei der Untersuchung auf 180° anstatt der vom Hersteller empfohlenen 360° die Strahlendosis halbiert werden konnte. Für die Diagnose von apikalen Veränderungen empfiehlt die S1 – Empfehlung der DGZMK<sup>63</sup> ein DVT, wenn 2-D Aufnahmen keine eindeutige Diagnose erlauben. Dies gilt immer dann, wenn die zu untersuchende Veränderung im Strahlengang der 2-D Aufnahme durch orale oder vestibuläre Lage von der Zahnwurzel verdeckt wird und stets auch, wenn die Veränderung sich ausschließlich innerhalb der Spongiosa befindet.

Arnold<sup>64</sup> (2011) berichtete an drei Fallbeispielen vom Einsatz des DVT für die Diagnostik und Behandlungsplanung im Zusammenhang mit IF. An teils multiplen IF und komplexer Wurzelanatomie zeigt er, dass das DVT eine dreidimensionale sehr viel genauere Lokalisation und Vermessung der Wurzelkanäle und der Fragmente erlaubt. Die Prognose konnte genauer beurteilt werden, womit sich aussichtslose IF-Entfernungsversuche und Perforationen vermeiden ließen. Wenn sich nach Analyse aller Informationen ein IF-Entfernungsversuch als Erfolg versprechend darstellte, konnte der geradlinige Zugang dank DVT substanzschonender als bisher angelegt werden. Der angewandte Gates-Bohrer hatte Größe 3 entsprechend 0,9mm Durchmesser. Der Behandler konnte mittels DVT die Ultraschallsonde bevorzugt in den dickeren Sektoren der Kanalwand einsetzen, während er dünne, perforationsträchtige Sektoren gezielt vermied. Dank großer Erfahrung und weit überdurchschnittlicher Geschicklichkeit können entsprechend trainierte Experten heute Instrumentenfragmente aus früher als hoffnungslos eingestuften Lokalisationen schonend entfernen.

## **4.2. Wurzellängsfrakturen (=WLF)**

Reine WLF sind an nicht wurzelgefüllten Zähnen eher selten. In zwölf Jahren (1985 bis 1997) haben Chan et al.<sup>65</sup> (1998) an einer Klinik in Taipeh 64 Fälle gesammelt und analysiert. Symptome waren meist ein dumpfes, lange bestehendes Druckgefühl, Schmerzen beim Kauen und im Röntgenbild eine Erweiterung des Kanallumens. In weiter fortgeschrittenen Stadien kamen isolierte tiefe Taschen in der Umgebung der Fraktur vor. Die im Frakturspalt vorgedrungenen Keime verursachen Knochenabbau, der – früh im DVT, später im Röntgenzahnfilm – als wichtiger diagnostischer Hinweis Beachtung finden sollte. In der Studie war nur bei 20% der WLF eine Dislokation der Fragmente erkennbar und damit eine sichere Röntgen-Diagnose möglich. Unsichere Diagnosen wurden durch explorative Lappenoperation geklärt. 55 Zähne wurden extrahiert, 5 erhielten eine Wurzelamputation, 4 wurden nicht behandelt, sondern nur beobachtet.

Betroffen waren in dieser Studie zu 70% Männer mit kräftigen Kaumuskeln, am häufigsten zwischen 40 und 70 Jahre alt, meist mit vollständigen oder fast vollständigen parodontal gesunden Gebissen

und deutlichen Zeichen der Attrition oder Abrasion. Frakturiert waren überwiegend Molaren, die 6er dreimal mehr als die 7er, im Unterkiefer mehr als im Oberkiefer, und zwar bevorzugt die stark abgeflachten mesialen Wurzeln der UK-Molaren und die mesiobukkalen Wurzeln der OK-Molaren. Warum WLF in China mehr als in anderen Ländern vorzukommen schienen, war unbekannt. Anamnestisch ließen sich oft hohe Kaubelastungen ermitteln, z.B. Kauen auf Eiswürfeln, auf harten Bonbons, auf trockenen Nudeln und Krokant.

Unterschieden werden mussten von WLF Frakturen der Zahnkrone, die sich in den Wurzelbereich ausdehnten. Den Stellenwert von WLF im Gesamtkreis aller Zahnfrakturen beleuchteten Seo et al.<sup>66</sup> (2012) anhand der Gesamtzahl aller Patienten eines Jahres an einer Klinik in Korea. Von 103 Patienten mit Längsfrakturen litten 87 (81,3%) am Cracked tooth Syndrom. Eine WLF erlitten 14 Zähne (=13,1%). Davon hatten 11 Zähne eine Wurzelfüllung (=WF) und 2 einen Wurzelstift. Die Korrelation war signifikant mit  $p < 0,001$ . Eine Vielzahl von Kofaktoren wurde mit untersucht. Für die WLF spielten in dieser Untersuchung Alter, Geschlecht, das Material der Restauration, die Größe und Form der koronalen Substanzdefekte, das Vorhandensein von Schliiffacetten keine Rolle.

Die Therapie einer WLF war meist die Extraktion. Bei Ok-Molaren kam eine Wurzelamputation der frakturierten Wurzel in Betracht, wenn der übrige Zahn erhaltungswürdig war und die verbleibenden Wurzeln gute parodontale Befunde aufwiesen. Bei Unterkiefer-Molaren konnte analog eine Hemisektion erfolgen, sofern die verbleibende Zahnhälfte prothetisch von Nutzen war. Eine Brücke war erforderlich, es sei denn, es wurde die endständige Zahnhälfte entfernt.

Im Experimentalstadium befindet sich die restaurative Therapie von WLF wie z.B. bei Özer et al.<sup>67</sup> (2011). In drei Fällen an Frontzähnen wurden nach Extraktion der Fragmente diese extraoral gereinigt, adhäsiv im Wurzelkanal und im Frakturspalt gefüllt und replantiert. Das DVT zwei Jahre nach der Behandlung zeigte weitgehend normalen Knochen. Über die Langzeitprognose ist nichts bekannt. Es fiel auf, dass die gezeigten Zähne nach dieser Zeit noch keine definitive Restauration trugen und somit auch nicht funktionell belastet wurden.

#### **4.2.1. Epidemiologie von WLF nach endodontischen Behandlungen**

Tsesis et al.<sup>68</sup> (2010) ermittelten an extrahierten endodontisch behandelten Zähnen in 11% - 20% aller Fälle eine WLF. Zur Diagnostik von WLF allgemein fand Tsesis<sup>68</sup> keine evidenzbasierte Literatur, ebenso nicht zu vorangegangenen Entfernungsversuchen von IF. Cohen et al.<sup>69</sup> (2003) fanden bei 36 untersuchten WLF 34 vorangegangene endodontische Behandlungen. Als Frakturursache wurden hauptsächlich überdimensionierte Stiftpräparationen, Überlastungen durch falsch geplante oder okklusal überlastete prothetische Konstruktionen genannt. Eine Fraktur wurde durch übermäßige Kraffteinwirkung bei der endodontischen Behandlung selbst verursacht.

#### 4.2.2. Ätiologie von Wurzellängsfrakturen

Tang et al.<sup>22</sup> (2010) gaben in ihrem Review umfassenden Überblick über Fraktur-Risiken und Möglichkeiten der Vorbeugung bei endodontisch behandelten Zähnen. Von Spannungsspitzen über Mikrorisse führte der Weg zur manifesten Fraktur.

Nicht kontrollierbare Risikofaktoren waren nach Tang et al.<sup>22</sup> z.B. Unfälle, Zwischenfälle mit dem Laryngoskop, Abrasion und Parafunktionen. Kontrollierbare Risiken an wurzelgefüllten Zähnen entstanden durch vermeidbare Substanzverluste und unnötige Schwächungen und Krafteinwirkungen bei Trepanation, Aufbereitung und Spülung des Wurzelkanals, Obturation, Stiftpräparation, Stiftauswahl, bei der Restauration mit Füllungen und Kronen sowie bei nicht angemessener Belastung durch Zahnersatz. Nach Zahnverlusten verkürzte Zahnreihen, iatrogene Ungenauigkeiten in der okklusalen Adjustierung von Füllungen, Kronen und Zahnersatz und überharte, aus Keramik oder Nichtedelmetall angefertigte Funktionsflächen an Zahnersatz erhöhten das Frakturrisiko so weit, dass manchmal auch vitale Zähne betroffen sein konnten.

Shemesh et al.<sup>70</sup> (2011) untersuchten an 200 extrahierten Zähnen nach manueller und maschineller Aufbereitung, Wurzelfüllung und Revision Schnitte durch den Wurzelkanal mikroskopisch und fanden mit jedem Arbeitsschritt fortlaufend mehr und größere Mikrorisse als Folgen der mechanischen Krafteinwirkung. Sie wiesen darauf hin, dass die Rissbildung zur geringeren Erfolgsrate von Revisionen im Vergleich zu Primärbehandlungen beitragen kann. Kim et al.<sup>71</sup> (2010) verglichen ProTaper®, ProFile® und Light speed® (Fa. Sybron Endo, Orange, CA, USA) Instrumente bei der Aufbereitung miteinander in einer Finite Elemente Rechnung. Die höchsten Spannungen an der Kanalwand und somit die höchsten Frakturrisiken ergaben sich bei den mit wenig Spanraum ausgestatteten und zugleich steifen ProTaper®-Instrumenten, wohingegen Light Speed Instrumente über 3,5-mal weniger Spannung hervorriefen.

Zandbiglari et al.<sup>72</sup> (2006) wiesen nach, das größere Taper wie bei GT®-Feilen das Risiko einer Wurzellängsfraktur erhöhen.

Bei der lateralen Kondensation von Guttapercha erzeugen die Spreader innere Spannungen im Wurzelentin. Lertchirakarn et al.<sup>73</sup> (1999) maßen diese Spannungen mit Dehnungsmessstreifen und ermittelten Werte, die teils über der Bruchlast einzelner Zähne lagen. Sie wiesen auch Risse im Dentin nach Anwendung der lateralen Kondensation nach. Madarati et al.<sup>74</sup> (2010) untersuchten die vertikale Bruchlast bis zum Eintreten einer Vertikalfaktur an 75 extrahierten Prämolaren, bei denen zuvor ein 4 mm langes Protaper®-Fragment im apikalen Wurzel Drittel gezielt platziert worden war. Das Fragment selbst reduzierte die Stabilität nicht signifikant. Das Anlegen der Staging Plattform mit einem Gates Gliddenbohrer Gr. 5 (=1,3 mm Ø) reduzierte die Stabilität des Zahnes signifikant.

Madarati et al.<sup>75</sup> (2010) entfernten aus verschiedenen Wurzelabschnitten von Eckzähnen ProTaper® F5 Instrumente und ermittelten den bei der Entfernung eingetretenen Gewichtsverlust an Dentin.

Signifikante Unterschiede zwischen dem apikalen Drittel (46,04 mg), dem mittleren Drittel (27,7 mg) und dem koronalen Drittel (13,5 mg) gingen einher mit ebenso signifikanten Unterschieden in der zur Auslösung einer vertikalen Wurzelfraktur führenden mittleren Kraft von 107,1 N (= 35,5% der Stabilität der Kontrollgruppe) im apikalen Drittel, 152,6 N (=50,6% der Stabilität der Kontrollgruppe) im mittleren Drittel und 283,3 N (=94,0% der Stabilität der Kontrollgruppe) im koronalen Drittel.

#### **4.2.3. DVT bei der Diagnostik von Wurzellängsfrakturen**

Khedmat et al.<sup>76</sup> (2012) erzeugten an 100 extrahierten Zähnen artifizielle Wurzellängsfrakturen. Die Sensitivität in der Diagnostik dieser Frakturen überprüften sie für digitales Röntgen, CT und DVT. Im Laborversuch konnte DVT die Wurzellängsfrakturen am besten identifizieren. In Anwesenheit eines Guttaperchastiftes war die Qualität der Diagnose durch Artefakte reduziert. Das Studiendesign wird nicht exakt beschrieben. Die Studie versucht nicht, Unterschiede in der Diagnose zwischen Experiment und Patient abzuschätzen und zu quantifizieren.

Da Silveira et al.<sup>77</sup> (2012) untersuchten 60 artifizielle Längsfrakturen an einwurzeligen Zähnen mit digitalem Röntgen und mit DVT. Beim DVT setzten sie drei verschiedene Auflösungen mit den Voxel-Größen 0,4 mm, 0,3 mm und 0,2 mm ein. Die Diagnose von WLF gelang ihnen mit beiden Verfahren ähnlich, die Unterschiede waren nicht signifikant. Erst mit der höchsten Auflösung von 0,2 mm Voxelgröße wurde die Aussage im DVT etwas besser. Die Autoren empfahlen für die Diagnostik von WLF zweidimensionales Röntgen und das DVT nur als zusätzliche Möglichkeit in Zweifelsfällen. Bei wurzelgefüllten Zähnen sei die Voxelgröße 0,2 mm, bei nicht wurzelgefüllten Zähnen 0,3 mm vorzuziehen.

Kambungton et al.<sup>78</sup> (2012) führten ein ähnliches in vitro Experiment durch und fanden keine signifikanten Unterschiede in der Sensitivität der Diagnose von konventionellem intraoralem Film, digitalem Röntgen und DVT. Özer<sup>79</sup> (2011) verglich die vier Voxelgrößen 0,4mm, 0,3 mm, 0,2mm und 0,125mm auf ihre diagnostische Präzision hin. Als besten Kompromiss zwischen Strahlenbelastung einerseits und Aussagequalität andererseits empfahl er 0,2mm Voxelgröße. Cotton et al.<sup>80</sup> (2007) gab einen Überblick über die verschiedenen endodontischen möglichen Indikationen von DVT mit je einem Fallbeispiel, darunter eine WLF.

Tang et al.<sup>81</sup> berichteten von zwei klinischen Einzelfällen. Die klinische Untersuchung ergab einen Verdacht auf WLF, der mit konventionellem Röntgen nicht sicher zu klären war. Im DVT war beim nicht wurzelgefüllten Fall 1 die Frakturlinie deutlich zu sehen. Beim wurzelgefüllten Fall 2 war die Frakturlinie eher zu ahnen als zu erkennen. Der Knochenabbau in der Nachbarschaft der Fraktur war im DVT sehr deutlich und wies indirekt auf die Längsfraktur hin. Bei der unmittelbar anschließend durchgeführten Extraktion bestätigte sich die erwartete Längsfraktur.

Edlund et al.<sup>82</sup> (2011) untersuchten an 29 Patienten 32 Zähne mit klinischem Verdacht auf WLF. An der Studie nahmen nur Fälle teil, in denen die Diagnose klinisch und mit traditionellem Röntgen nicht gesichert werden konnte. Die angefertigten zweidimensionalen Röntgenbilder ergaben in rund 25% dieser Fälle einen Verdacht auf WLF. Die DVTs mit einer Auflösung entsprechend teils 125µm Voxel-Größe, teils 80µm Voxel-Größe erlaubten eine sichere radiologische Diagnose. In der

unmittelbar anschließenden chirurgischen Freilegung der Frakturlinie bestätigten sich die Diagnosen weitgehend. Der positive Vorhersagewert betrug 91%, der negative Vorhersagewert 67%, im Gesamtdurchschnitt war die diagnostische Treffsicherheit 84%.

Die beiden verwandten DVT-Geräte wiesen Unterschiede auf: Der negative Vorhersagewert betrug beim iCAT 71%, beim Morita Accutomo nur 50%. Das bedeutet, dass in dem Fall, dass das Accutomo die Abwesenheit einer WLF darstellte, mit 50% Wahrscheinlichkeit dennoch eine WLF vorhanden war.

### **4.3. Prognose nach Instrumentenfraktur / Resultate**

#### **4.3.1. Prognose der Endodontologie allgemein**

Salehrabi und Rotsteins<sup>1</sup> (2004) Untersuchung von 1,462 Millionen endodontischen Erstbehandlungen ergab nach 8 Jahren, dass 97% der Zähne noch vorhanden waren. Bemerkenswert war, dass von den 3% bis zu diesem Zeitpunkt extrahierten Zähnen 85% nicht überkront waren. Sjögren et al.<sup>2</sup> (1990) gaben nach 8 bis 10 Jahren Beobachtungszeit für vitale Zähne und für Zähne mit Pulpanekrose 96% Erfolg an, während bei Vorliegen einer periapikalen Transluzenz die Erfolgsrate auf 86% sank. Ng et al.<sup>3</sup> (2007) fassten in ihrem Review 63 Studien aus den Jahren 1922 bis 2002 zur Erfolgsrate endodontischer Primärbehandlungen zusammen. Die Erfolgsraten lagen bei Anlegen strikter Kriterien zwischen 31% und 96%, bei Anlegen loser Kriterien zwischen 60% und 100%. Die Ausgangsbefunde, die Behandlungsmethodik, die Präzision der Beschreibungen, die Untersuchungskriterien und die Recallraten waren in den Studien sehr heterogen. Aus allen Untersuchungen filterten Ng et al.<sup>4</sup> (2008) folgende Faktoren als signifikant positiv für die Erfolgsrate heraus: Das Fehlen periapikaler Transluzenz, eine Wurzelfüllung ohne Hohlräume mit einer Länge maximal 2 mm vom radiologische Apex entfernt und eine dichte koronale Restauration.

Teil 4 der Torontostudie von de Chevigny et al.<sup>83</sup> (2008) ergab nach 4 bis 6 Jahren eine Erfolgsquote von 88%, wobei die Recallquote nur 23,7% betrug. Selbst mit mehrfachen schriftlichen Einladungen, Telefonaten und dem Angebot, Fahrtkosten und Verdienstausschlag zu ersetzen, gelang es den Organisatoren der Studie nicht, mehr Patienten für die Nachuntersuchung zu gewinnen.

Wu et al.<sup>84</sup> (2009) gaben zu bedenken, dass viele Reviews sich auf niedrige Recallraten stützen. Der Durchschnitt der beurteilten Reviews lag bei 52,7%, der niedrigste Wert bei nur 11%.

Wu et al.<sup>85</sup> (2011) und Wu et al.<sup>86</sup> (2011) forderten, dass die Diagnostik der Parodontitis apikalis sowohl für den Anfangsbefund wie für die Nachuntersuchungen generell diskutiert und überdacht werden müsse. Zugleich gehöre die Bestimmung von Prognosen in der gesamten Endodontologie mit auf den Prüfstand. Die Bewertungsmaßstäbe für das Vorhandensein oder Fehlen, für das Wachsen oder Verkleinern apikaler Entzündungsareale seien mit DVT deutlich abweichend von den althergebrachten Bewertungsmaßstäben mit der 2-D Röntgenaufnahmetechnik.

#### 4.3.2. Prognose von Revisionen

Ng und Gulabivala<sup>87</sup> (2011) befassten sich in ihrem umfassenden Review mit der Prognose von Revisionen. Nach Würdigung von 204 Artikeln und nahezu jedem denkbaren Aspekt und Kofaktor legen die Autoren den Schluss nahe, dass auf der Basis der heutigen hohen Behandlungsstandards eine sehr günstige Prognose zu erwarten sei, welche sich nahezu so gut wie bei einer endodontischen Primärbehandlung darstelle.

Orstavik<sup>88</sup> (1996) untersuchte 732 Zähne mit bis zu 4 Jahren Beobachtungsdauer bei einer vergleichsweise geringen Ausfallrate von 18%. Die Ausheilungsrate periapikaler Parodontitis lag bei 89% und konnte meist nach einem Jahr sicher beurteilt werden. Ebenfalls nach einem Jahr hatte sich bei 6% der zu Behandlungsbeginn periapikal gesunden Zähne eine periapikale Parodontitis entwickelt.

In der Toronto-Studie Teil 1+2 konnten Farzaneh et al.<sup>89</sup> (2004) von ursprünglich 523 Zähnen mit Revisionen nach 4 bis 6 Jahren 103 Zähne (=19,7%) nachuntersuchen, wovon sie 81% als Erfolg verbuchten.

#### 4.3.3. Prognose mit Fragment

Panitvisai et al.<sup>90</sup> (2010) gingen folgender Frage nach: "Verschlechtert sich bei erwachsenen Patienten mit endodontischer Primärbehandlung die Prognose eines Zahnes durch das Verbleiben eines Instrumentenfragmentes im Vergleich zu einem Zahn ohne solch ein Instrumentenfragment?"

In einer umfassenden Literaturrecherche für den Zeitraum 1964 bis 2009 in allen Sprachen und allen verfügbaren Datenbanken fanden sich zu dieser Frage 17 Studien. Den strikten Einschlusskriterien von Panitvisai et al. hielten nur die zwei Studien Spili et al.<sup>91</sup> (2005) sowie Crump und Natkin<sup>92</sup> (1970) stand. Spili et al.<sup>91</sup> (2005) untersuchten das Patientengut zweier endodontischer Spezialistenpraxen mit sieben Behandlern aus dem Zeitraum 1990-2003. Sie fanden bei 8460 Behandlungen 301 Fragmente in 277(=3,3%) Zähnen. Davon waren 143 Patienten mit 146 ein Fragment enthaltenden Zähnen vollständig dokumentiert und wurden über mehr als 1 Jahr nachkontrolliert. Die Fragmente waren zu ca. 78% NiTi-Instrumente, 16% Stahl-Instrumente, 4% Pastenfüller und 2% Spreader. Jedem Zahn wurde ein passender Vergleichszahn gegenübergestellt und eine prospektive Untersuchung konzipiert. Die Prognose der betroffenen Zähne wurde am stärksten beeinflusst durch das Vorhandensein oder Fehlen einer Parodontitis apikalis. Die Prognose mit Fragment war maximal – bei Vorliegen einer periapikalen Veränderung - 6% schlechter als ohne Fragment. Die Gesamt-Erfolgsrate von 91,8% für Zähne mit Fragment ist ein sehr guter Wert. Ohne Fragment erreichte die Prognose 94,5%, also nur 2,7% mehr, was nicht signifikant besser ist. Der Evidenzgrad dieser Studie ist Level 3 und wird von keiner anderen Studie weltweit übertroffen. Die Recallrate lag bei 52,7%.

Die kontrollierte Fallstudie von Crump und Natkin<sup>92</sup> aus dem Jahr 1970 umfasste 53 Patienten. Der Effekt der IF auf die Prognose war hier noch geringer als bei<sup>91</sup>. Der Arbeit von Crump und Natkin<sup>92</sup> kommt ebenfalls Evidenzlevel 3 zu. Strindberg<sup>93</sup> ermittelt aus 4 Misserfolgen einen Prognoseunterschied von 19%, was eine sehr schmale statistische Basis mit etwas unsicherer

Aussage impliziert. Nach Orstavik<sup>88</sup> wird eine Veränderung der Prognose um weniger als 10% als klinisch unbedeutend eingestuft.

Unter den Bedingungen einer Allgemeinpraxis kann nach Ahmad<sup>94</sup> (2009) die Prognose mit einem im Zahn verbliebenen Fragment um wesentlich mehr als 10% verschlechtert sein, wenn der technische Standard der Aufbereitung und/oder der Standard der Desinfektion eingeschränkt sind.

## 5. Diskussion

Das Center of Evidence Based Medicine hat die Levels of Evidence<sup>95</sup> definiert:

I	Systematische Übersicht (Review) auf der Basis randomisierter kontrollierter Studien
II	Artikel über eine randomisierte kontrollierte Studie
III	Kontrollierte Fallstudie
IV	Fallserie
V	Traditioneller Übersichtsartikel, Expertenmeinung ohne transparente Belege, Einzelfallbericht

### 5.1. Diskussion der Instrumentenfrakturen

Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass Laborergebnisse sich nicht 1:1 auf den Patienten übertragen lassen, kommen die in <sup>21, 23, 24, 25, 28 - 43</sup> vorgestellten Untersuchungen zu Instrumentenfrakturen nach Ansicht des Verfassers dennoch alle zu nachvollziehbaren und relevanten Ergebnissen.

<sup>21, 23, 24, 25, 28 - 34, 37 - 43</sup> machen deutlich, dass die Stabilität und Frakturresistenz auch der besten und aktuellsten Feilen endlich ist. Ein geradliniger Zugang zum Kanal, die Elimination der koronalen Kurvaturen und die Schaffung eines Gleitpfades bleiben Eckpfeiler erfolgreicher Endodontie. Nach Cheung<sup>21</sup> trennt ein Faktor von über 100 die höchsten, also schlechtesten Frakturrisiken (28%) von den niedrigsten und somit besten (0,25%). Frakturrisiken lassen sich reduzieren, aber nicht eliminieren. Die in der Metallurgie des Nickel-Titan <sup>24,33</sup> begründete schnelle Materialermüdung bringt jede Feile in absehbarer kurzer Zeit (Kim<sup>33</sup> und Plotino<sup>25</sup>) an den Rand der Fraktur. So leicht und so schnell ein Instrument frakturiert, so mühsam ist die Entfernung des Bruchstücks.

Die Umfrage in Großbritannien <sup>35,36</sup> machte deutlich, dass ein hoher Anteil der Allgemeinzahnärzte und ein sehr kleiner Anteil der Endodontologen zum Zeitpunkt der Umfrage aus ungeklärten Gründen an frakturträchtigen Praktiken festhielten, obwohl ihnen nach den eigenen Antworten bekannt sein musste, dass sie bei ihrer täglichen Arbeit vermeidbare Risiken eingehen. Dazu gehören Verzicht auf das Mikroskop, Verzicht auf Kontrollen der Instrumente, Verzicht auf Fortbildung und fortgesetzte Nutzung von gebrauchten Instrumenten mit hohem Frakturrisiko. Die befragten britischen Allgemeinzahnärzte überwiesen trotz der eigenen geringen Erfolgsraten bei der Entfernung von Instrumenten in weniger als der Hälfte aller Fälle zum Spezialisten, wenn Sie selbst keinen Erfolg erzielen konnten. Da viele Fragmente in den am häufigsten betroffenen gebogenen

Kanälen der ersten Molaren nur 0,5 bis 1,5 mm kurz sind, braucht man zum sofortigen und sicheren Erkennen eines Fragmentes das Mikroskop. Da nur 10% der Allgemeinzahnärzte mit Mikroskop arbeiten, ist es sehr wahrscheinlich, dass nicht alle Frakturen erkannt wurden. Führt man erneut ohne Kenntnis der IF ein rotierendes NiTi-Instrument in denselben Kanal ein, verhaken sich die Schneiden am Fragment und ein Torsionsbruch ist vorprogrammiert. 40,5% der Behandler gaben an, ein zweites Instrument im selben Kanal frakturiert zu haben.

Die Zahlen von <sup>23, 28, 35, 36</sup> beweisen, dass der Behandler der entscheidende Faktor für die Häufigkeit der IF ist.

Mit dem einfachen Entschluss, die endodontischen Instrumente sofort nach Behandlungsende zu entsorgen, sind IF im Alltag seltener. Dass in Großbritannien die hygienische Aufbereitung und erneute Verwendung endodontischer Instrumente verboten ist, hindert viele Behandler nicht daran, Instrumente mehrfach zu verwenden und sich dazu zu bekennen<sup>35</sup>. Mehr als Verbote kann die Einsicht helfen, dass die Entsorgung der Feilen nach jeder Behandlung mehr nutzt als sie kostet. Zeitaufwendige und riskante Fragment-Entfernungsversuche mit den entsprechenden Folgeschäden, also Perforationen, Stufen, WLF und das apikale Verschieben von Fragmenten werden damit reduziert.

Die Erfolgsbilanzen mit hohen Entfernungsquoten von IF lassen nicht erkennen, dass auf die Langzeitprognose des Zahnes und das Risiko von WLF Rücksicht genommen wurde. Da jegliche Nachuntersuchung fehlt, sind <sup>48 bis 54</sup> auf Evidenzlevel 4 einzuordnen. Auch die Fallberichte von Fu et al.<sup>55</sup> erreichen Evidenzlevel 4. Wir wissen nicht, ob die Fragmententfernung den Patienten nicht etwa mehr geschadet als genutzt hat.

Die hier vorgestellte Artikel <sup>56 bis 62, 64</sup> zu DVT rangieren in den niedrigen Evidenzleveln 4 und 5. Für Evidenzlevel 3 wäre eine Kontrollgruppe erforderlich, in der allerdings alle Patienten unbehandelt und ohne individuellen Nutzen der Strahlung des DVT ausgesetzt würden.

## **5.2. Diskussion der Wurzellängsfrakturen**

<sup>68</sup> und <sup>69</sup> lassen keinen Zweifel, dass die WLF die gravierendste und zugleich eine der häufigeren Komplikationen nach endodontischen Behandlungen darstellt. Das Risiko einer WLF kann der Behandler nach<sup>71</sup> reduzieren, indem er Feilentyp und Feilensequenz so auswählt, dass die Reibung an der Kanalwand minimiert wird. Aus den Feststellungen von <sup>72</sup> leitet sich die Empfehlung ab, den Taper der Aufbereitung nicht zu groß zu wählen. Die Risiken der lateralen Kondensation <sup>15, 73</sup> sollte man meiden und warmen Fülltechniken den Vorzug geben, weil sie mit weniger Kraft eine dichtere WF ergeben.

Wenn ein Instrument trotz aller Vorsicht im apikalen Drittel der Wurzel frakturiert, braucht der Behandler nicht befürchten, dass durch das Fragment die Gefahr einer WLF steigt<sup>75</sup>. Er sollte sich aber dessen bewusst sein, dass mit dem Anlegen eines geradlinigen Zugangs zum Fragment der

Zahn erheblich geschwächt wird. Mit dem bei <sup>75</sup> im Experiment mit Fragment im apikalen Drittel verwandten Gates Bohrer Gr. 5 blieben dem Testzahn gerade 30% seiner Stabilität übrig. Das ist eine extreme Verschlechterung der Langzeitprognose. Ein einziges Mal kräftig zubeißen kann danach für den Patienten den Zahnverlust nach sich ziehen. Bevor man den Zahn so sehr schwächt, sollte man lieber auf den Entfernungsversuch verzichten. Wenn in 6-Monatsabständen Röntgenkontrollen erfolgen, spricht auch nichts dagegen, den Entfernungsversuch zurückzustellen. Wenn sich eine apikale Parodontitis entwickelt, kann immer noch zwischen einer WSR und der Fragmententfernung abgewogen werden.

Unter der Voraussetzung, dass ein sehr gutes Mikroskop und sehr schlanke Ultraschallansätze verfügbar sind, reicht für den Zugang und die Fragmententfernung auch ein Gates Bohrer Größe 3 statt Größe 5. Damit wird nur knapp 50% der Dentinmenge entfernt wie mit Größe 5, womit sich der Handlungsspielraum für eine Fragmententfernung vergrößert.

Der Erstbehandler hat für die Langzeitprognose des Zahnes eine besonders hohe Verantwortung. Er hat als einziger die Chance, intaktes Dentin ohne Risse zu behandeln und es zumindest weitgehend frei von Rissen zu halten. Dass der Schutz des Zahnes vor späteren Frakturen und die dauerhafte Elimination der mikrobiellen Infektion gleichrangige oberste Behandlungsziele sind, bekräftigt der Verfasser. Tang et al.<sup>22</sup> reichten von der Trepanation bis zur Endkontrolle der Restauration eine umfassende lange Liste von Erfolgsfaktoren für eine gute Langzeitprognose auf. Dazu gehören:

- Ggf. ein stabilisierender adhäsiver präendodontischer Aufbau
- Die Lage und angemessene Größe der Trepanationsöffnung<sup>22</sup>
- der geradlinige Zugang zu allen Kanälen
- das Schaffen eines Gleitpfades mit mindestens Größe 0.15<sup>17</sup>
- eine Crown Down Technik<sup>24</sup>
- die Anwendung intakter, flexibler und scharfer NiTi-Feilen mit genügend Spanraum mit immer respektvollem Abstand von den bekannten Frakturgrenzen<sup>21, 23, 24, 25, 28 – 34, 37 - 43</sup>
- Die Aufbereitungsgröße soll nicht mehr als der Durchmesser der Spülkanüle plus 0,1mm betragen
- beim Spülen ist die richtige Balance zwischen Desinfektion und Erhalt der Dentinstruktur zu halten<sup>10</sup>
- bei der Wurzelfüllung ist einer warmen Technik der Vorzug zu geben<sup>15, 73</sup>
- unmittelbar nach der Wurzelfüllung sind die Kanaleingänge adhäsiv zu verschließen<sup>14</sup>
- Aufbauten sind adhäsiv zu verankern<sup>14</sup>
- Teilkronen oder Kronen sind möglichst bald nach der Wurzelfüllung einzugliedern, wenn größere Substanzdefekte vorliegen.<sup>1</sup>
- Die Krone soll immer – gerade auch in Kombination mit Wurzelstiften - mindestens 1,5 mm hoch gesundes Dentin umfassen.
- Die Indikation für Wurzelstifte ist zu beschränken auf Zähne mit großen Substanzdefekten

- Die Präparation für Wurzelstifte soll mit minimalem Verlust an Dentin erfolgen.
- Wurzelstifte sollen adhäsiv befestigt werden.
- Die Okklusion und Artikulation sind präzise zu adjustieren
- Etwaige Parafunktionen sind als Gefahrenquelle zu berücksichtigen
- Der Belastung durch Zahnersatz sind Grenzen zu setzen; insbesondere horizontale, abziehende und rotierende Kräften durch abnehmbaren Zahnersatz, durch lange Brücken und durch Anhängerbrücken sind zu meiden.

Ausbildung und Training des Behandlers und seines Teams, Zeit und Konzentration, ein strukturiertes Behandlungskonzept und Qualitätsmanagement, die Auswahl der besten Methoden, Instrumente und Materialien gehören dazu. Auch wenn in einer Behandlung fast alles perfekt ablief - eine Sekunde der Unachtsamkeit kann – wann auch immer im Behandlungsprotokoll sie sich ereignet –die Langzeitprognose dramatisch verschlechtern oder gar zum Zahnverlust führen.

Wenn eine Revision erforderlich wird, bleibt der zweite Behandler in Unkenntnis darüber, wie viele Risse im Dentin ihm der Vorbehandler hinterlassen hat und wie viel Manipulation der Zahn noch sicher ertragen kann. Shemesh et al.<sup>70</sup> bringen es auf den Punkt. Ihre Fotos sollte jeder Behandler gesehen haben.

Eine unbekannte Quote der WLF ereignet sich erst mehrere Jahre nach der endodontischen Behandlung. Um mehr Information über WLF zu erhalten, sind längere Nachbeobachtungen von z.B. 5 oder 10 Jahren wünschenswert.

Für die Langzeitprognose des Zahnes ist nach Naumann et al.<sup>96</sup> die Qualität der Prothetischen Versorgung noch wichtiger als der endodontische Erfolg; 60 bis 80% der Frakturen und Zahnverluste gehen in dieser prospektiven 10-Jahresstudie auf das Konto von versagenden Stiftverankerungen und versagenden Kronen. Die Bedeutung einer guten Restauration für die Langzeitprognose unterstreicht auch die Feststellung von Salehrabi und Rotstein<sup>1</sup> (2004), dass von den nach endodontischer Behandlung extrahierten Zähnen 85% keine Krone erhalten hatten.

### **5.3. Diskussion der Prognosen und Therapien nach Instrumentenfraktur**

Torabinejad et al.<sup>97</sup> (2005) untersuchten 306 wissenschaftliche Artikel zu endodontologischen Primärbehandlungen mit Aussagen über Erfolg und Misserfolg. Davon erreichten nur 6 Artikel Level 1 und 26 Artikel Level 2. 13 Artikel erreichten Level 3, während 261 Artikel sich in den wenig aussagefähigen Evidenzlevels 4 und 5 fanden. Zu orthograden Revisionen ermittelten Paik et al.<sup>98</sup> (2004), dass von allen 37 klinischen Studien, die sie aus der Zeit von 1970 bis 2004 finden konnten, keine Studie Level 1, nur 4 Studien Level 2 und zwei Studien Level 3 erreichten.

Sorgfältig geplante randomisierte klinische Studien bzw. deren Reviews erreichen mit den Evidenzgraden 1 und 2 die höchste Überzeugungskraft. Die Fraktur eines Wurzelkanalinstruments

ist ein ungeplanter Zwischenfall im Ablauf der endodontischen Behandlung. Aus ethischen Gründen sind somit die Evidenzgrade 1 und 2 für Aussagen über Instrumentenfrakturen generell nicht erreichbar. Die beste mögliche Validität erreichen für die Fragestellung, wie sich die Langzeitprognose eines endodontisch behandelten Zahnes durch die Fraktur eines Instrumentes ändert, kontrollierte prospektiv angelegte Fallstudien.

Die umfangreiche Torontostudie schneidet mit ihrer Recallrate von insgesamt 19,7% schlecht ab. Bei über 80% Ausfallquote ist theoretisch jede beliebige andere Aussage statt der gemachten möglich und nicht auszuschließen.

Die Studie von Strindberg<sup>93</sup> (1956) ist zwar auf hohem Niveau, hat einen Prognose-Unterschied von 19% bei einer sehr kleinen Fallzahl, wo nur vier Fälle das Endergebnis entscheidend beeinflussen und die Aussagekraft einschränken. Zudem sind seit der Veröffentlichung 56 Jahre vergangen.

Orstavik<sup>88</sup> hatte seine mit 82% sehr gute Recallrate nur erreicht, indem er vom ursprünglichen Plan, die Patienten vier Jahre lang jedes Jahr zu sehen abrückte und sich damit zufrieden gab, nur eine einzige Kontrolle irgendwann innerhalb der vier Jahre vorzunehmen. Die Rechtfertigung lieferte er, indem er an den wenigen Patienten mit mehrfachen Kontrollen demonstrierte, dass sich die Mehrzahl (über 95%) der Diagnosen nach einem Jahr Abstand von der Behandlung nicht mehr änderte. Für die Beurteilung der Erfolgsrate zur Ausheilung oder Verhütung der Parodontitis apikalis spricht viel dafür, dieser Auffassung zu folgen. Für die Frage, wie wahrscheinlich eine WLF als Spätfolge ist, ist Orstaviks<sup>88</sup> Methode der Nachuntersuchung unzureichend. Unterschiedlich lange Kontrollabstände führen zum Verlust der Vergleichbarkeit der Daten. Für eine evidente Aussage zur Wahrscheinlichkeit von WLF nach IF-Entfernung sind gleichmäßige Kontrollzeitpunkte für alle Patienten notwendig. Die Studie hat keine Kontrollgruppe und ist schon 16 Jahre alt. Sie erhält Evidenzlevel 4.

Die bisher einzigen kontrollierten Fallstudien sind die beiden von Crump u. Natkin<sup>92</sup> aus dem Jahr 1970 und diejenige von Spili et al.<sup>91</sup> aus dem Jahr 2004. Nur diesen ist das Evidenzlevel 3 zuzuordnen.

Die Studie von Crump und Natkin<sup>92</sup> ist gut kontrolliert, hat aber mit 53 Fragmenten eine schmale statistische Basis und ist schon 42 Jahre alt, womit sie zu den heutigen Techniken keine Aussage mehr machen kann.

Die Studie von Spili et al.<sup>91</sup> (2005) ist aktuell und gut kontrolliert, aber die Recallquote ist nur 52,7%. Die berichtete Erfolgsquote von 91,8% mit IF und 94,5% ohne IF steht daher auf einem dünnen Fundament. Warum ist die Zahl an WLF bei Spili so viel kleiner als die Angabe von Tsesis? Es kann sein, dass die 7 Behandler in Melbourne so viel erfolgreicher als der Durchschnitt der Endodontologen gearbeitet haben. Wenn aber ein größerer Teil der nicht wieder erschienenen

Patienten unerkannt oder nicht dokumentiert eine WLF oder eine Parodontitis apikalis erlitten haben sollte, so sähe die Bilanz möglicherweise sehr viel schlechter aus.

Das ungünstigste Szenario sähe so aus: Über 131 nicht vollständig dokumentierte Patienten ist nichts bekannt, außer dass sie eine IF erlitten. Es gibt bei Spili et al. keinen Beweis dafür, dass in Wahrheit für die gesamte Patientenschar von 8460 Behandlungen die Erfolgsquote der trotz IF erhaltenen Zähne nicht bei den deklarierten 134 von 146 =91,8% Erfolg liegt, sondern etwa nur bei 134 von insgesamt 277 Zähnen liegt, was nur noch 48,4% Erfolg bedeuten würde. Nach den Kriterien des Center of Evidence based Medicine<sup>95</sup> wäre eine Recallquote von 80% erforderlich gewesen, um eine gesicherte Aussage zu machen. Dennoch bleibt festzuhalten: Die Studie von Spili et al.<sup>91</sup> (2005) ist das bisher Beste, was die Wissenschaft zum richtigen Umgang mit Instrumentenfrakturen zu sagen hat.

Nach Auffassung des Verfassers erfüllt somit keine der aufgeführten Studien alle Kriterien einer validen evidenzbasierten Untersuchung. Neue gut kontrollierte Studien mit einem umfassend beschriebenen Versuchsprotokoll, mit genügend großen Fallzahlen und besonders auch mit hohen Recallraten (über 80%) sind notwendig, um zuverlässige Aussagen zu machen und unser gesichertes Wissen zu erweitern. Die Planung neuer Studien wird sich neben dem eigentlichen Studiendesign viele Gedanken darum machen müssen, wie Patienten lange Zeit nach der Behandlung motiviert werden können, sich für die Untersuchung zur Verfügung zu stellen.

#### **5.4. Verbesserung der Diagnostik durch DVT?**

Für die Diagnose, Indikationsstellung oder den begründeten Verzicht auf einen Entfernungsversuch und für die Planung einer Fragmententfernung an einem Molar kann ein gutes DVT sehr hilfreich sein<sup>64</sup>. Vor der Anfertigung eines DVT muss sich der Behandler fragen, welche relevante zusätzliche Information er von der Aufnahme erwartet.

Für die Diagnostik von WLF bleibt trotz DVT die explorative Lappenoperation mit Freilegung, Anfärben und mikroskopischer Untersuchung der vermuteten Längsfraktur der Goldstandard. Der noch weit von 100% entfernte negative Vorhersagewert der heutigen DVT-Geräte<sup>82</sup> gestattet noch nicht, mit genügender Sicherheit WLF auszuschließen und dem Patienten die explorative Lappenoperation zu ersparen. Die Artikel<sup>76 bis 81</sup> sind im Evidenzlevel 5, <sup>82</sup> im Level 4 einzuordnen.

In bis zu 30% der Fälle kann mittels DVT eine Parodontitis apikalis diagnostiziert werden, die mit zweidimensionalen Röntgenbildern unerkannt bliebe. Die Erfolgsraten der meisten Reviews wären demnach nach unten zu korrigieren. Andere Therapieempfehlungen als bisher wären nur dann daraus abzuleiten, wenn die Prognosen verschiedener Behandlungen in unterschiedlichem Maß von den Korrekturen betroffen wären.

Therapieentscheidungen stützen sich oft auf Prognose-Unterschiede von nur 10% oder wenig mehr.

Alle wissenschaftlichen Untersuchungen mit zweidimensionalem Röntgen als diagnostischem Kriterium und alle Untersuchungen mit dem PAI als Messlatte wären neu zu überprüfen, wenn uns das DVT künftig andere Prognose-Unterschiede zwischen verschiedenen Therapien gäbe als bisher. Wären alle Therapien gleichermaßen davon betroffen, dass die Nachkontrolle im DVT mehr Entzündungen ermittelt, würde sich nur die allgemeine Erfolgsbilanz aller endodontischen Therapien schlechter darstellen. Eine flächendeckende Diagnostik mit DVT anstatt mit zweidimensionalem Röntgen würde für wissenschaftliche Zwecke die Aussagekraft der Untersuchungen deutlich erhöhen. Der Forderung von <sup>85,86</sup> steht jedoch <sup>63</sup> und in Deutschland die Röntgenverordnung<sup>99</sup>, insbesondere §2a entgegen.

Für die tägliche Behandlung in der Allgemeinpraxis wie auch in der Spezialistenpraxis ist die Indikation des DVT sehr viel zurückhaltender zu sehen als für wissenschaftliche Zwecke. Wenn mehrere DVT für die Verlaufskontrollen einer Parodontitis apikalis angefertigt werden, vervielfacht sich die Strahlenbelastung. Zugleich übersteigen die Kosten der Diagnostik dann nicht selten die Kosten der Behandlung, ohne dass dem Patienten daraus ein Nutzen erwächst.

Die Diagnostik sollte sich für jede Fragestellung auf die bestmögliche Information stützen und dabei dem Patienten so wenig wie möglich schaden. Somit gebührt dem Operationsmikroskop in der endodontischen Diagnostik und Therapie der Vorrang, weil es eine Auflösung von ca. 10µm erreicht und ohne Schaden kontinuierlich vor, während und nach der Behandlung eingesetzt werden kann.

An zweiter Stelle steht die ebenfalls absolut unschädliche und beliebig oft einsetzbare elektrometrische Längenmessung.

An dritter Stelle steht das zweidimensionale Röntgen, weil es mit sehr wenig Strahlenbelastung unverzichtbare Information, Dokumentation und zugleich juristische Absicherung gibt. Die besten Röntgenbilder ergeben eine Auflösung von ca. 50µm.

An vierter Stelle steht DVT immer dann, wenn komplexe anatomische Strukturen sich überlagern und eine Diagnose mit keiner der drei ersten Optionen gestellt werden kann. Wenn DVT eingesetzt wird, ist zur Reduktion der Strahlenbelastung des Patienten auf eine Eingrenzung des Field of View zu achten. Die besten Geräte erreichen heute bei einem Field of View von 4x4x4 cm eine Auflösung von ca. 80µm, während zugleich Geräte mit einem Field of View von 16x16x16 cm, einer für die Endodontie unbrauchbaren Auflösung von 400µm und einer mehr als 100fach erhöhten Strahlenbelastung im Einsatz sind. Vorhandene Wurzelfüllungen, Stifte und Kronen schränken die Aussage des DVT generell ein.

Abzuwägen ist, inwieweit intraoperativ mit dem Operationsmikroskop Informationen gewonnen werden können, die Kosten und Strahlenbelastung des DVT überflüssig machen. Am entscheidenden Punkt hilft das DVT nicht weiter; der Behandler muss im Mikroskop das Fragment sehen können, um seinen Ultraschallansatz richtig anzusetzen und es zu lockern. Dass er sich von Furkationen und Innenkurven wegen der dort geringen Wandstärke so weit wie möglich fernzuhalten hat, weiß ein erfahrener Behandler auch ohne DVT. Eine Passage der IF ebenso wie eine

Lockerung der IF ist in ovalen Wurzeln generell bukkal bzw. oral sinnvoll, entweder in einem natürlicherweise vorhandenen zweiten Kanal oder im Bereich der größten Dentinstärke.

Ein wissenschaftlicher Beleg dafür, dass ein erfahrener Behandler mit einem guten Operationsmikroskop Wurzelkanäle übersieht, die das DVT nachträglich zusätzlich aufspüren kann, ist bisher nicht erbracht. Die meisten endodontischen Behandlungen werden auch künftig mit den bekannten Behandlungsprotokollen und dem üblichen Instrumentarium einschließlich Operationsmikroskop, Elektrometrie und zweidimensionalem Röntgen zu einem guten Ergebnis führen.

## 6. Schlussfolgerungen

Oft genug werden Behandler vor der Frage stehen, ob sie ein Fragment im Zahn belassen oder einen Entfernungsversuch beginnen sollen. Aus den vorgestellten Untersuchungen ergibt sich das Resümee, dass Chancen und Risiken des Entfernungsversuchs realistisch in der Weise abgewogen werden sollten, dass für die im – nicht immer sicheren - Erfolgsfall mögliche geringe Verbesserung der Prognose durch das Entfernen des Fragmentes auch nur ein überschaubares kleines Risiko in Kauf genommen werden sollte. Wenn ein Fragment passiert werden kann, lässt sich damit in vielen Fällen das mikrobiologische Ziel der Behandlung mit wenig Substanzverlust und entsprechend wenig Risiko zufriedenstellend erreichen. Hauptziele der endodontischen Behandlung bleiben immer – mit wie ohne Fragment – die Desinfektion des gesamten Kanalsystems, der Erhalt der Zahnschubstanz und der Schutz vor Reinfektion sowie auf lange Sicht der Schutz vor Frakturen und die Gewährleistung einer guten kariesprotektiven Mundhygiene. Wer mit einem Fragment konfrontiert ist, sollte diese Hauptziele stets im Auge behalten.

Stabilitätsverluste wie die von Madarati et al.<sup>74,75</sup> errechneten Schwächungen der Wurzel im mittleren und apikalen Drittel lassen sich für die Entfernung eines Fragment in der Regel nicht rechtfertigen.

Wird ein Fragment belassen, sollte eine radiologische Kontrolle in 6-Monatsintervallen für die ersten zwei Jahre und danach in 2-Jahresintervallen erfolgen. So kann für den Fall, dass sich eine parodontitis apikalis entwickelt, rechtzeitig die geeignete Therapie begonnen werden.

In Betracht kommen hierfür von orthograd ein erneuter Versuch der Passage des Fragmentes in Verbindung mit einer Revision oder die Entfernung des Fragmentes. Von retrograd kann im Verlauf einer WSR ein kleines apikal gelegenes Fragment entfernt werden. Größere Fragmente können von apikal mit einer retrograden Aufbereitung bis zum Fragment und retrograder WF bei reduzierter Prognose im Wurzelkanal eingeschlossen werden. Alternativ kann bei günstiger anatomischer Situation auch eine ganze Wurzel eines OK-Molaren mitsamt dem Fragment amputiert werden.

Bei UK-Molaren kann in Einzelfällen eine Hemisektion prothetisch von Nutzen sein.

Im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen ist eine Vielfalt an Gesichtspunkten:

Die spezielle Anatomie des Zahnes, die verbleibende Menge, Qualität, Verteilung und Wandstärke des Dentins, Belastungen durch Funktion und etwaige Parafunktionen, die Stellung im Zahnbogen unter Berücksichtigung von Nachbarzähnen, Antagonisten, vorhandenem und geplantem Zahnersatz sind einige Aspekte.

Das Spektrum der technischen Möglichkeiten, die Qualität des Mikroskops und der Beleuchtung, das operative Geschick und die Erfahrung des einzelnen Behandlers haben ebenfalls großen Einfluss darauf, wo bei jedem einzelnen Patienten die Grenze zwischen Belassen und Entfernen eines Instrumentenfragmentes zu ziehen ist.

## 7. Literaturangaben

1. Salehrabi R, Rotstein I. Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod.* 2004;30(12):846-50.
2. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.
3. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J.* 2007;40(12):921-39.
4. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J.* 2008; 41(1):6-31
5. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott KH. Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J Endod.* 2003 Oct;29(10):638-43.
6. [No authors listed]. Evidenced-based review of clinical studies on non-surgical endodontic treatment. *J Endod.* 2009; 35(8):1139-44. Review.
7. Hülsmann M, Barthel C. Probleme beim Zugang zum Wurzelkanalsystem. In: *Probleme in der Endodontie*, S.163-194, Quintessenz Verlag Berlin Deutschland 2007
8. Peters OA., Peters CI. Cleaning and shaping of the root canal system. In: *Pathways of the Pulp*, Chapter 9; 283-348; Elsevier St.Louis USA 2011
9. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221-30
10. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
11. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod.* 2006;32:389-98
12. van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *Int Endod J.* 2007;40(5):356-61.
13. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J.* 2010;43(1):2-15.

14. Johnson WT, Kulid JC. Obturation of the cleaned and shaped Root canal system. In: Pathways of the Pulp, Chapter 10;349-388; Elsevier St.Louis USA 2011
15. Peters CI, Sonntag D, Peters OA. Homogeneity of root canal fillings performed by undergraduate students with warm vertical and cold lateral techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;110(3):e41-9.
16. Peters OA, Paque F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. *Quintessence Int.* 2010;41(6):479-88.
17. Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28(7):543-5.
18. Lin LM, Rosenberg PA, Lin J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? *J Am Dent Assoc.* 2005;136(2):187-93; quiz 231.
19. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
20. Haapasalo M., Shen Y., Ricucci D. Reasons for persistent and emerging post-treatment endodontic disease. *Endodontic Topics* 2011;18:31-50
21. Cheung G.S.P.: Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes *Endodontic Topics* 2009,16,1-26
22. Tang W, Wu Y, Smales RJ. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J Endod.* 2010;36(4):609-17
23. Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod.* 2004;30(10):722-5.
24. Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod.* 2006;32(11):1031-43.
25. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35(11):1469-76.
26. Persönliche Mitteilungen von Michael Arnold am 3. März 2012: a) „Die abgebrochene Feile im Wurzelkanal ist die röntgenologisch sichtbare Leiche im Keller des Endodontologen“, b) „Fragmente sind das in Metall gefräste schlechte Gewissen des endodontisch tätigen Zahnarztes.“
27. Bjørndal L, Reit C. Endodontic malpractice claims in Denmark 1995-2004. *Int Endod J.* 2008;41(12):1059-65.
28. Mandel E, Adib-Yazdi M, Benhamou LM, Lachkar T, Mesgouez C, Sobel M. Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *Int Endod J.* 1999;32(6):436-43.
29. Wu J, Lei G, Yan M, Yu Y, Yu J, Zhang G. Instrument separation analysis of multi-used ProTaper Universal rotary system during root canal therapy. *J Endod.* 2011;37(6):758-63.
30. da Cunha Peixoto IF, Pereira ES, da Silva JG, Viana AC, Buono VT, Bahia MG. Flexural fatigue and torsional resistance of ProFile GT and ProFile GT series X instruments. *J Endod.* 2010;36(4):741-4.
31. Cheung GS, Bian Z, Shen Y, Peng B, Darvell BW Comparison of defects in ProTaper hand-operated and engine-driven instruments after clinical use. *Int Endod J.* 2007;40(3):169-78

32. Shen Y, Bian Z, Cheung GS, Peng B. Analysis of defects in ProTaper hand-operated instruments after clinical use. *J Endod.* 2007;33(3):287-90.
33. Kim HC, Yum J, Hur B, Cheung GS. Cyclic fatigue and fracture characteristics of ground and twisted nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2010;36(1):147-52.
34. Iqbal MK, Kohli MR, Kim JS. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study. *J Endod.* 2006 Nov;32(11):1048-52.
35. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJ. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intracanal fracture of endodontic instruments: Part 1. *Int Endod J.* 2008;41(8):693-701.
36. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJ. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intra-canal fracture of endodontic instruments. Part 2. *Int Endod J.* 2008;41(12):1079-87.
37. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent.* 2001;14(5):324-33.
38. Gambarini G. Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments after clinical use with low- and high-torque endodontic motors. *J Endod.* 2001;27(12):772-4.
39. Anderson ME, Price JW, Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 2007;33(10):1212-6.
40. Bahia MG, Melo MC, Buono VT. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(5):675-80.
41. Inan U, Aydin C. Comparison of cyclic fatigue resistance of three different rotary nickel-titanium instruments designed for retreatment. *J Endod.* 2012;38(1):108-11.
42. Peters OA, Roehlike JO, Baumann MA. Effect of immersion in sodium hypochlorite on torque and fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2007;33(5):589-93
43. Sonntag D, Peters OA. Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces. *J Endod.* 2007;33(4):442-6.
44. Masserann J. L'extraction des fragments de tenons intraradiculaires. *Actualites Odontostomatologiques* 1966; 75; 392-420
45. Ruddle CJ. Broken instrument removal. The endodontic challenge. *Dent Today.* 2002;21(7):70-2, 74, 76 passim.
46. Ruddle CJ. Nonsurgical retreatment. *Endod.* 2004;30(12):827-45.
47. Alomairy KH. Evaluating two techniques on removal of fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(4):559-62
48. Hülsmann M. Removal of silver cones and fractured instruments using the Canal Finder System. *J Endod.* 1990;16(12):596-600.
49. Hülsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15(6):252-8.

50. Ward JR, Parashos P, Messer HH Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an experimental study. *J Endod.* 2003;29(11):756-63.
51. Ward JR, Parashos P, Messer HH Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: clinical cases. *J Endod.* 2003;29(11):764-7.
52. Souter NJ, Messer HH. Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique. *J Endod* 2005;31:450–452.
53. Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals. *Int Endod J.* 2005;38(2):112-23.
54. Cujé J, Bargholz C, Hülsmann M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice. *Int Endod J.* 2010;43(7):545-54.
55. Fu M, Zhang Z, Hou B. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: a retrospective analysis of treatment outcome. *J Endod.* 2011;37(5):619-22
56. Wang H, Ni L, Yu C, Shi L, Qin R. Utilizing spiral computerized tomography during the removal of a fractured endodontic instrument lying beyond the apical foramen. *Int Endod J.* 2010;43(12):1143-51.
57. Rahimi M, Parashos P. A novel technique for the removal of fractured instruments in the apical third of curved root canals. *Int Endod J.* 2009 Mar;42(3):264-70.
58. Ozen T, Kamburoğlu K, Cebeci AR, Yüksel SP, Paksoy CS. Interpretation of chemically created periapical lesions using 2 different dental cone-beam computerized tomography units, an intraoral digital sensor, and conventional film. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(3):426-32.
59. Stavropoulos A, Wenzel A. Accuracy of cone beam dental CT, intraoral digital and conventional film radiography for the detection of periapical lesions. An ex vivo study in pig jaws. *Clin Oral Investig.* 2007;11(1):101-6.
60. Patel S, Dawood A, Mannocci F, Wilson R, Pitt Ford T. Detection of periapical bone defects in human jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography. *Int Endod J.* 2009;42(6):507-15.
61. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114-9.
62. Lennon S, Patel S, Foschi F, Wilson R, Davies J, Mannocci F. Diagnostic accuracy of limited-volume cone-beam computed tomography in the detection of periapical bone loss: 360° scans versus 180° scans. *Int Endod J.* 2011;44(12):1118-27.
63. DGZMK: S1-Empfehlung Dentale Volumetomografie (DVT) *Endodontie* 2011;20(4):389-398
64. Arnold M. Minimalinvasive Fragmententfernung mithilfe der digitalen Volumetomographie. *Endodontie* 2011,20,403-13

65. Chan CP, Tseng SC, Lin CP, Huang CC, Tsai TP, Chen CC. Vertical root fracture in nonendodontically treated teeth--a clinical report of 64 cases in Chinese patients. *J Endod.* 1998;24(10):678-81.
66. Seo DG, Yi YA, Shin SJ, Park JW. Analysis of factors associated with cracked teeth. *J Endod.* 2012;38(3):288-92
67. Özer SY, Ünlü G, Değer Y Diagnosis and treatment of endodontically treated teeth with vertical root fracture: three case reports with two-year follow-up. *J Endod.* 2011;37(1):97-102
68. Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod.* 2010;36(9):1455-8.
69. Cohen S, Blanco L, Berman L. Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *J Am Dent Assoc.* 2003;134(4):434-41.
70. Shemesh H, Roeleveld AC, Wesselink PR, Wu MK. Damage to root dentin during retreatment procedures. *J Endod.* 2011;37(1):63-6.
71. Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod.* 2010 Jul;36(7):1195-9. Epub 2010 Mar 15.
72. Zandbiglari T, Davids H, Schäfer E. Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(1):126-31.
73. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod.* 1999;25(2):99-104.
74. Madarati AA, Qualtrough AJ, Watts DC. Effect of retained fractured instruments on tooth resistance to vertical fracture with or without attempt at removal. *Int Endod J.* 2010;43(11):1047-53.
75. Madarati AA, Qualtrough AJ, Watts DC: Vertical fracture resistance of roots after ultrasonic removal of fractured instruments. *Int Endod J.* 2010;43(5):424-9
76. Khedmat S, Rouhi N, Drage N, Shokouhinejad N, Nekoofar MH. Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J.* 2012; 6. doi: 10.1111/j.1365-2591.2012.02062.x. [Epub ahead of print]
77. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HL, Montagner F, da Silveira HE. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography - an in vitro analysis. *Dent Traumatol.* 2012 Mar 13. doi: 10.1111/j.1600-9657.2012.01126.x. [Epub ahead of print]
78. Kambungton J, Janhom A, Prapayastok S, Pongsiriwet S. Assessment of vertical root fractures using three imaging modalities: cone beam CT, intraoral digital radiography and film. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012;41(2):91-5.
79. Özer SY. Detection of vertical root fractures by using cone beam computed tomography with variable voxel sizes in an in vitro model. *J Endod.* 2011 ;37(1):75-9
80. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007;33(9):1121-32.

81. Tang L, Zhou XD, Wang Y, Zhang L, Zheng QH, Huang DM. Detection of vertical root fracture using cone beam computed tomography: report of two cases. *Dent Traumatol.* 2011;27(6):484-8
82. Edlund M, Nair MK, Nair UP. Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. *J Endod.* 2011;37(6):768-72
83. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study--phase 4: initial treatment. *J Endod.* 2008;34(3):258-63
84. Wu MK, Shemesh H, Wesselink PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J.* 2009;42(8):656-66
85. Wu MK, Wesselink P, Shemesh H. New terms for categorizing the outcome of root canal treatment. *Int Endod J.* 2011;44(11):1079-80
86. Wu MK, Shemesh H., Wesselink P., Radiografie und Digitale Volumentomografie (CBCT) – Zeit für eine Neubewertung? *Endodontie* 2011,20(4),399-401
87. NG YL, Gulabivala K. Outcome of non-surgical re-treatment. *End. Topics* 2011,18,3-30
88. Orstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J.* 1996;29(3):150-5.
89. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod.* 2004;30(9):627-33
90. Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, Messer HH. Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2010;36(5):775-80
91. Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod.* 2005;31(12):845-50.
92. Crump MC, Natkin E. Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: a clinical investigation. *J Am Dent Assoc.* 1970;80(6):1341-7
93. Strindberg I.Z. The dependence of the results of pulp therapy on certain factors. An analytic study based on radiographic and clinical follow-up examinations. *Acta Odontol Scand,* 1956,14, 1-175
94. Ahmad IA. Rubber dam usage for endodontic treatment: a review. *Int Endod J.* 2009;42(11):963-72.
95. Levels of Evidence; Center of Evidence Based Medicine [www.cebm.net](http://www.cebm.net); abgerufen am 29. Mai 2012
96. Naumann M, Koelpin M, Beuer F, Meyer-Lueckel H. 10-year Survival Evaluation for Glass-fiber-supported Postendodontic Restoration: A Prospective Observational Clinical Study. *J Endod.* 2012;38(4):432-5.
97. Torabinejad M, Kutsenko D, Machnick TK, Ismail A, Newton CW. Levels of evidence for the outcome of nonsurgical endodontic treatment. *J Endod.* 2005;31(9):637-46.
98. Paik S, Sechrist C, Torabinejad M. Levels of evidence for the outcome of endodontic retreatment. *J Endod.* 2004;30(11):745-50.
99. Deutsche Röntgenverordnung  
[http://www.gesetze-iminternet.de/bundesrecht/r\\_v\\_1987/gesamt.pdf](http://www.gesetze-iminternet.de/bundesrecht/r_v_1987/gesamt.pdf) ; abgerufen am 28.Mai 2012

## **8. Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die Masterthese selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen als Hilfsmittel benutzt habe.

Unterschrift

## **9. Danksagung**

Herrn PD Dr. Christian Gernhardt gilt mein besonderer Dank für die Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten und für die hervorragende Betreuung.

Die freundschaftliche Zusammenarbeit und wertvolle Anregungen haben mir bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit sehr geholfen.